

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO
ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA
CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN
LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO
2017-2020**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA HIDRÁULICA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

TESISTA:

CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO

ASESOR:

ING. PAUCAR Y MONTENEGRO, CLIFTON

HUÁNUCO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis abuelos y madre, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi carrera académica. Su paciencia y ánimo han sido fundamentales para completar esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al centro de investigación y tecnología del agua (CITA-UTEC) que a través del proyecto "Evaluación científica de la forma y el caudal de los ríos: información de referencia para las directrices de infraestructura en la Amazonía peruana (Grant ID: GBMF7711)" financiado por la Fundación Gordon and Betty Moore; proyecto del cual fui parte, lo cual permitió el desarrollo de ésta investigación.

Agradezco a la Fundación Gordon and Betty Moore por incentivar la investigación realizando financiamiento para investigaciones en conservación ambiental lo cual abarca múltiples áreas de la ingeniería.

Al Ing. Cifton Paucar y Montenegro por ser mi asesor interno y así ayudarme a cumplir esta etapa pendiente en mi carrera profesional. Su conocimiento y experiencia han sido de gran importancia para mí. Agradezco su dedicación y tiempo en la revisión de ésta investigación

Al M.Sc. Leo Guerrero Raymundo Asmad actual candidato a PhD. por "Louisiana State University", quien fué una pieza clave para ésta investigación, su valiosa contribución como asesor externo en mi tesis. Su experiencia y conocimientos han sido una fuente inestimable de aprendizaje y guía para mí. Aprecio mucho su dedicación y paciencia en revisar y brindar recomendaciones en mi investigación.

Agradezco al PhD. Patrick V. Zoro, actual director del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC), por su valioso apoyo. Su colaboración en la facilitación de todos los permisos y requerimientos necesarios, incluyendo el permiso de uso de datos, ha sido fundamental para el éxito de esta investigación. Estoy muy agradecido por su tiempo, dedicación y compromiso como investigador y promotor de la generación de conocimiento.

Al PhD. Ricardo Szupiany y al PhD. Lucas Dominguez Ruben, por su valiosa contribución de conocimientos y experiencia en los campos de sedimentología, hidráulica fluvial e hidroacústica. Lo cual es plasmado en sus publicaciones, las cuales han sido invaluable en mi desarrollo como investigador. Y del cual he aprendido a desarrollar habilidades de investigación críticas y rigurosas, lo que me ha permitido abordar los desafíos en mi campo de estudio con confianza y eficacia.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al PhD. Horacio Toniolo y al PhD. Kensuke Naito por su invaluable guía y apoyo durante mi crecimiento profesional. Su experiencia y conocimientos en sus respectivos campos de estudio han sido fundamentales para adquirir el suficiente expertiz y tener éxito en esta investigación.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento al PhD. Jorge D. Abad por inculcar en mí la semilla de la investigación y la curiosidad científica durante su estadía como director del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Sus enseñanzas y su ejemplo

como investigador han sido una inspiración para mí en todo momento.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que colaboraron en este proyecto de investigación. En primer lugar, agradezco a Leo Raymundo Guerrero Asmad, Yulissa Estrada Terrel, Henry Hazaña Valverde, Bryan Santillan Tello y Flor de Maria Fuentes Bendezú, por su valioso trabajo en recolección de muestras. Además, deseo expresar mi gratitud al equipo de laboratorio del CITA-UTEC, conformado por Yulissa Estrada Terrel, Maby Gavilan Abanto, Grecia Valdivia Vergaray, Flor de Maria Fuentes Bendezú y Paula Gianina Sisniegas Ochoa, por su excelente trabajo en el análisis de las muestras. Sin su profesionalismo y experiencia, este proyecto no habría sido posible. También quisiera agradecer a los coordinadores del equipo SIG del CITA-UTEC, Jesus Marin Diaz, Gabriela Flores Flores y todo su equipo, por su destacado trabajo en la caracterización planimétrica mediante sensoramiento remoto en los ríos Amazónicos. Su dedicación y profesionalismo fueron fundamentales para el éxito de esta investigación.

Finalmente agradezco a todos mis compañeros de investigación del Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC), por sus útiles aportes y amistad durante mi proceso de investigación. Su colaboración y apoyo han sido esenciales para el éxito de esta investigación. Asimismo agradezco a todas las personas que de alguna manera han contribuido a la realización de esta investigación, muchas gracias por su valiosa ayuda.

LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XIX
SUMMARY	XX
INTRODUCCION	XXI
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3.1 Problema general	5
1.3.2 Problemas específicos	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA	7
1.5.1 Justificación	7
1.5.2 Importancia	8
1.6 LIMITACIONES	9
1.6.1 En recolección de datos	9
1.6.2 En tiempo	9
1.6.3 En espacio o territorio	9
1.6.4 En recursos	9
1.6.5 En resultados	10
1.7 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS	11
1.7.1 Hipótesis	11
1.7.1.1 Hipótesis general	11
1.7.1.2 Hipótesis específicas	11
1.8 VARIABLES	11
1.8.0.1 Variable dependiente	11
1.8.0.2 Variables independientes	11
1.9 DEFINICIÓN TEÓRICA Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	12
1.9.1 Definición teórica	12

1.9.1.1	Variable dependiente	12
1.9.1.2	Variable independiente	12
CAPÍTULO II:	MARCO TEÓRICO	14
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
2.1.1	Antecedentes Internacionales	14
2.2	BASES TEÓRICAS	17
2.2.1	Morfología fluvial	17
2.2.1.1	Clasificación morfológica fluvial	17
2.2.1.2	Parámetros morfológicos	21
2.2.1.3	Dinámica morfológica de los ríos	23
2.2.2	Hidrodinámica	27
2.2.2.1	ADCP en la caracterización hidrodinámica fluvial:	27
2.2.2.2	VMT como herramienta para determinar el patrón de velocidades primarias y secundarias:	30
2.2.3	Sedimentología	39
2.2.3.1	Ciclo sedimentológico	39
2.2.3.2	Clasificación de sedimentos suspendidos	41
2.2.3.3	Caracterización de las propiedades de los sedimentos	42
2.2.3.4	Tipos de transporte de sedimentos	46
2.2.3.5	Técnicas para caracterización de sedimentos	48
2.2.4	Régimen de lluvia	52
2.2.4.1	Uso de modelos de precipitación para obtención de régimen de lluvia:	52
2.2.5	Hidroacústica	55
2.2.5.1	Revisión de las consideraciones teóricas de la hidroacústica usada por los ADCPs para la medición de sedimentos en suspensión:	55
2.2.5.2	ASET como herramienta para conversión de señales de retrodispersión acústica a valores de concentración de sedimentos suspendidos:	61
2.2.6	Estadística	62
2.2.6.1	Principales métodos estadísticos para correlación de variables	63
2.2.7	Métodos para validación de Hipótesis	68
2.3	BASES CONCEPTUALES	70
2.3.1	Bases conceptuales de morfología fluvial	70
2.3.1.1	Meandro	70
2.3.1.2	Semimeandro	70
2.3.1.3	Ángulos de bifurcación	70
2.3.1.4	Sinuosidad	70
2.3.1.5	Migración	71
2.3.1.6	Ancho de valle	71
2.3.1.7	Ancho del cauce	71
2.3.1.8	Factor de confinamiento	71

2.3.1.9	Pendiente	71
2.3.1.10	Planicies aluviales	71
2.3.1.11	Llanura de inundación	72
2.3.1.12	Bifurcación	72
2.3.1.13	Desembocadura	72
2.3.1.14	Dinámica multitemporal	72
2.3.1.15	Thalweg	72
2.3.1.16	Paleocauce	72
2.3.2	Bases conceptuales de Hidrodinámica	73
2.3.2.1	Caudal	73
2.3.2.2	Patrón de velocidades de flujo primario	73
2.3.2.3	Patrón de velocidades de flujo secundario	73
2.3.2.4	Turbulencia	73
2.3.2.5	Vórtice fluvial	73
2.3.2.6	Erosión fluvial	73
2.3.3	Bases conceptuales de Sedimentología	73
2.3.3.1	Sedimento suspendido	74
2.3.3.2	Tamaño de partícula	74
2.3.3.3	Concentración de sedimentos	74
2.3.3.4	Sedimentos cohesivos	74
2.3.3.5	Sedimentos no cohesivos	74
2.3.3.6	Depósito fluvial	74
2.3.3.7	Erosión fluvial	75
2.3.3.8	Floculos en suspensión	75
2.3.3.9	Alicuota	75
2.3.3.10	Coloide	75
2.3.3.11	Tamiz	75
2.3.3.12	Difracción láser	75
2.3.4	Bases conceptuales de Régimen de lluvia	76
2.3.4.1	Precipitación	76
2.3.4.2	Área de drenaje	76
2.3.4.3	Estaciones Pluviométricas	76
2.3.5	Bases conceptuales de Hidroacústica	76
2.3.5.1	retrodispersión acústica (Backscatter)	76
2.3.5.2	Intensidad de potencia emitida	77
2.3.5.3	Intensidad de potencia recibida	77
2.3.5.4	Intensidad de retrodispersión volumétrica	77
2.3.5.5	Corrección de retrodispersión volumétrica	77
2.3.5.6	Ruido del instrumento y ambiente	77
2.3.5.7	Señal reflejada por sedimento suspendido	78
2.3.6	Bases conceptuales de Estadística	78
2.3.6.1	Número de pares de datos	78
2.3.6.2	Error aleatorio	78
2.3.6.3	Variable dependiente	78
2.3.6.4	Variable independiente	79
2.3.6.5	Coeficientes de regresión	79

2.3.6.6	Término de error	79
2.3.6.7	Media global	79
2.3.6.8	Probabilidad	79
2.3.6.9	Media de la variable de conteo	79
2.3.6.10	Correlación canónica	80
2.3.6.11	Matriz de covarianza	80
2.3.6.12	Vectores de peso canónicos	80
2.3.6.13	Valor de componente principal	80
2.3.6.14	Peso de variable	80
2.3.6.15	Variable discriminante	80
2.3.6.16	Variable original	81
2.3.6.17	Coeficientes de combinación lineal	81
2.3.6.18	Mediana	81
2.3.6.19	Media	81
2.4	BASES EPISTEMIOLÓGICAS	82
CAPÍTULO III: ESTADO DE ARTE		84
3.1	INVESTIGACIONES MÁS RELEVANTES PARA ÉSTA INVESTIGACIÓN	86
3.1.1	Investigaciones de morfología fluvial en:	86
3.1.1.1	Dinámica fluvial	86
3.1.1.2	Parámetros morfométricos (Sinuosidad, Ancho, Pendiente, Profundidad, etc)	90
3.1.1.3	Paleocauces	94
3.1.2	Investigaciones de Hidrodinámica en:	95
3.1.2.1	Caudal	95
3.1.2.2	Patrón de flujo de velocidades primarias y secundarias	96
3.1.3	Investigaciones de Sedimentología en:	101
3.1.3.1	Concentración de sedimentos	101
3.1.3.2	Transporte de sedimentos suspendidos	104
3.1.3.3	Diámetro de sedimentos	109
3.1.4	Investigaciones de Régimen de lluvia en:	111
3.1.4.1	Precipitación	111
3.1.4.2	Modelos climáticos	113
3.1.5	Investigaciones de Hidroacústica en:	114
3.1.5.1	Concentración de sedimentos	114
3.2	ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO	128
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA		129
4.1	ÁMBITO	129
4.2	POBLACIÓN	130
4.3	MUESTRA	131
4.4	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	132
4.4.1	Tipo de Investigación	132
4.4.2	Nivel de Investigación	132

4.5	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	133
4.5.1	Esquema metodológico general	133
4.6	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	134
4.6.1	Métodos	134
4.6.2	Técnicas	135
4.6.2.1	Técnicas de recopilación de datos:	135
4.6.2.2	Técnicas de tabulación y codificación de datos:	135
4.6.2.3	Técnicas de análisis e interpretación de datos:	135
4.6.2.4	Técnicas de evaluación:	135
4.6.2.5	Técnicas de proyección o pronóstico de datos:	136
4.6.3	Instrumentos	137
4.6.3.1	Instrumentos usados para el análisis de los datos de morfología fluvial	137
4.6.3.2	Instrumentos usados para el análisis de los datos de Hidrodinámica	138
4.6.3.3	Instrumentos usados para análisis de datos Sedimentológicos	138
4.6.3.4	Instrumentos usados para obtención y análisis de datos del régimen de lluvia	139
4.6.3.5	Instrumentos usados para análisis Hidroacústico	139
4.6.3.6	Instrumentos usados para análisis Estadístico	140
4.6.3.7	Instrumentos usados para redacción de ésta investigación	140
4.7	VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO	141
4.7.1	Validación	141
4.7.2	Confiabilidad	141
4.8	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	143
4.8.1	Área de estudio	143
4.8.2	Detalle de los procedimientos del flujograma de la investigación	144
4.8.2.1	Hidroacústica	145
4.8.2.2	Morfología fluvial	147
4.8.2.2.1	Preprocesamiento de imágenes satelitales	147
4.8.2.2.2	Procesamiento de imágenes satelitales	147
4.8.2.2.3	Post-procesamiento de polígonos de valle y río	148
4.8.2.2.4	Cálculo de métricas de parámetros morfológicos	149
4.8.2.2.5	Verificación de la influencia de la morfología fluvial en la SSC	150
4.8.2.3	Hidrodinámica	151
4.8.2.3.1	Planeamiento de mediciones hidrodinámicas	151
4.8.2.3.2	Mediciones hidrodinámicas con ADCP	151
4.8.2.3.3	Procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP	152
4.8.2.3.4	Verificación de la influencia de la hidrodinámica en la SSC	155
4.8.2.4	Sedimentología	156
4.8.2.4.1	Procesos iniciales	156

4.8.2.4.2	Muestreo de sedimentos suspendidos y fondo	156
4.8.2.4.3	Proceso de filtrado en laboratorio de campo para se- dimentos suspendidos	159
4.8.2.4.4	Procesos de laboratorio para obtención de concen- tración y granulometría	161
4.8.2.4.5	Verificación la influencia de las características sedi- mentológicas de los SS medidos respecto a la dis- tribución de SSC	162
4.8.2.5	Régimen de lluvia	164
4.9	CONSIDERACIONES ÉTICAS	165
CAPÍTULO V: RESULTADOS		166
5.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS	166
5.2	TRATAMIENTO DE DATOS	167
5.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	168
5.3.1	Resumen de datos crudos usados	168
5.3.1.1	Morfología fluvial	168
5.3.1.2	Hidrodinámica	171
5.3.1.3	Sedimentología	174
5.3.1.4	Régimen de lluvia	179
5.3.1.5	Hidroacústica	184
5.3.2	Tratamiento de datos atípicos	186
5.3.2.1	Morfología fluvial	186
5.3.2.2	Sedimentología	187
5.3.2.3	Régimen de lluvia	200
5.4	RESULTADOS PRINCIPALES	206
5.4.1	Morfología fluvial	206
5.4.2	Hidrodinámica	207
5.4.3	Sedimentología	210
5.4.4	Régimen de lluvia	216
5.4.5	Hidroacústica	221
CAPÍTULO VI: DISCUSIONES		230
6.1	MORFOLOGÍA FLUVIAL	230
6.2	HIDRODINÁMICA	232
6.3	SEDIMENTOLOGÍA	234
6.4	RÉGIMEN DE LLUVIA	235
6.5	HIDROACÚSTICA	239
6.6	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	244
CONCLUSIONES		245
RECOMENDACIONES		246

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	247
ANEXOS	268
ANEXO 01: CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS OTORGADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)	268
ANEXO 02: DECLARACIÓN JURADA DE NO INTERESES DE DATOS	269
ANEXO 03: CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO ADCP, PROPORCIONADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)	270
ANEXO 04: CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA MUESTREO DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS USADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)	271
ANEXO 05: CONSTANCIA DE CALIDAD DE DATOS OBTENIDOS DE LOS PROCESOS DE LABORATORIO RELACIONADOS A LA CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS PROPORCIONADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)	272
ANEXO 06: MATRIZ DE CONSISTENCIA	273
ANEXO 07: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	274
ANEXO 08: BOXPLOTS DE DISTRIBUCIÓN DE D50 Y SSC DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS PRESENTADOS POR RÉGIMEN FLUVIAL PARA LOS RÍOS EN ESTUDIO, PARA LOS 5 EJES Y LAS 6 PROFUNDIDADES RELATIVAS MEDIDAS	275
ANEXO 09: DETALLE DE TÉCNICA DE RETROSPECCIÓN ACÚSTICA PARA CADA SECCIÓN DE ESTUDIO PRESENTADA EN ESTA INVESTIGACIÓN	319
ANEXO 10: CODIGO R, OBTENCIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA AREAL	356
ANEXO 11: CODIGO PYTHON, VISUALIZACIÓN DE RETRODISPERSIÓN ESTÁTICA PARA CALIBRACIÓN	358
ANEXO 12: CODIGO PYTHON, OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE MEDICIÓN ADCP	361
ANEXO 13: CODIGO PYTHON, OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA DE MEDICIÓN ADCP	363

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1	<i>Características morfológicas de los principales tipos de ríos</i>	19
Tabla N° 2.2	<i>Resumen de criterios para la clasificación de Rosgen (1994)</i>	20
Tabla N° 2.3	<i>Principales parámetros morfológicos estudiados en ríos de Amazonía Peruana</i>	22
Tabla N° 2.4	<i>Tabla de consideraciones, buenas prácticas, restricciones, ventajas y desventajas del uso de ADCP en grandes ríos</i>	28
Tabla N° 2.5	<i>Características de los ADCP más utilizados</i>	29
Tabla N° 2.6	<i>Principales características de la herramienta QRev</i>	30
Tabla N° 2.7	<i>Principales usos de la herramienta "VMT"</i>	31
Tabla N° 2.8	<i>Comparación de los principales métodos para determinar el patrón de velocidades primario y secundario</i>	38
Tabla N° 2.9	<i>Escala sedimentológica de Udden-Wentworth</i>	45
Tabla N° 2.10	<i>Clasificación de carga de sedimentos</i>	47
Tabla N° 2.11	<i>Análisis por cada tipo de sedimentos</i>	48
Tabla N° 2.12	<i>Tipos de análisis para obtención de la distribución granulométrica</i>	49
Tabla N° 2.13	<i>Cantidad de muestra necesaria por cada método de análisis</i>	50
Tabla N° 2.14	<i>Ventajas y desventajas de los principales métodos para determinar la concentración de sedimentos suspendidos</i>	51
Tabla N° 2.15	<i>Características de los principales modelos de precipitación</i>	54
Tabla N° 2.16	<i>Comparación de los principales métodos estadísticos para encontrar la relación entre dos variables.</i>	67
Tabla N° 2.17	<i>Comparación de los principales métodos de validación de hipótesis</i>	69
Tabla N° 3.1	<i>Principales parámetros de estudio para ríos amazónicos desde el punto de vista de la hidrología, hidráulica fluvial y sedimentología</i>	85
Tabla N° 3.2	<i>Principales estudios existentes en el área de estudio</i>	128
Tabla N° 4.1	<i>Instrumentos usados para análisis de datos de Morfología Fluvial</i>	137
Tabla N° 4.2	<i>Instrumentos usados para análisis de datos de Hidrodinámica</i>	138
Tabla N° 4.3	<i>Instrumentos usados para análisis de datos Sedimentológicos</i>	139
Tabla N° 4.4	<i>Instrumentos usados para obtención y análisis de datos del régimen de lluvia</i>	139
Tabla N° 4.5	<i>Instrumentos usados para análisis Hidroacústico</i>	140
Tabla N° 4.6	<i>Instrumentos usados para Estadística de los datos</i>	140
Tabla N° 4.7	<i>Instrumentos usados para redacción de ésta investigación</i>	140
Tabla N° 4.8	<i>Intervalo de años de estudio para los diferentes tipos de ríos</i>	149
Tabla N° 4.9	<i>Años de disponibilidad de datos de los satélites Landsat 5, 7 y 8.</i>	150

Tabla N° 5.1	<i>Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Ucayali</i>	168
Tabla N° 5.2	<i>Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Huallaga</i>	169
Tabla N° 5.3	<i>Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Marañón</i>	169
Tabla N° 5.4	<i>Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Amazonas</i>	170
Tabla N° 5.5	<i>Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Ucayali</i>	171
Tabla N° 5.6	<i>Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Huallaga</i>	172
Tabla N° 5.7	<i>Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Marañón</i>	172
Tabla N° 5.8	<i>Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Amazonas</i>	173
Tabla N° 5.9	<i>Resumen de datos de concentración de sedimentos suspensivos</i>	174
Tabla N° 5.10	<i>Resumen de datos de diámetros característicos de sedimentos suspendidos No Cohesivos</i>	175
Tabla N° 5.11	<i>Resumen de datos de diámetros característicos de sedimentos suspendidos Cohesivos</i>	175
Tabla N° 5.12	<i>Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Ucayali</i>	182
Tabla N° 5.13	<i>Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Huallaga</i>	182
Tabla N° 5.14	<i>Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Marañón</i>	183
Tabla N° 5.15	<i>Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Amazonas</i>	183
Tabla N° 5.16	<i>Resumen de datos de concentración de sedimentos suspendidos medidos en las secciones donde se tienen mediciones de backscatter</i>	184
Tabla N° 5.17	<i>Resumen de datos de D50 de sedimentos suspendidos no cohesivos que se tienen en las secciones de backscatter medidos</i>	185
Tabla N° 5.18	<i>Resumen de datos de D50 de sedimentos suspendidos cohesivos que se tienen en las secciones de backscatter medidos</i>	185
Tabla N° 5.19	<i>Intensidad de fenómeno del niño y fenómeno de la niña (1982-2016)</i>	216
Tabla N° 5.20	<i>Relación entre los años de precipitación anual máxima y los años del fenómeno del Niño y de la Niña</i>	220

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1	<i>Clasificación de ríos aluviales según Schumm</i>	18
Figura N° 2.2	<i>Principales categorías de patrones de canales</i>	18
Figura N° 2.3	<i>Vistas longitudinales, transversales y en planta de los principales tipos de ríos según la clasificación de Rosgen</i>	19
Figura N° 2.4	<i>Principales características morfológicas de ríos</i>	20
Figura N° 2.5	<i>Principales tipos de ríos de la Amazonía peruana</i>	21
Figura N° 2.6	<i>Principales parámetros morfológicos estudiados por cada tipo de río en la Amazonía Peruana</i>	22
Figura N° 2.7	<i>Parámetros morfológicos</i>	23
Figura N° 2.8	<i>Dinámica del río Ucayali - Puerto de Pucallpa</i>	23
Figura N° 2.9	<i>Tipos de cortes presentados en ríos meándricos</i>	24
Figura N° 2.10	<i>Dinámica multitemporal característico de un río meándrico</i>	24
Figura N° 2.11	<i>Ejemplo de río multicanal Trenzado</i>	25
Figura N° 2.12	<i>Ejemplo de río multicanal Anabranching</i>	26
Figura N° 2.13	<i>Objetivos de la hidrodinámica en estudios fluviales</i>	27
Figura N° 2.14	<i>Detalle del método: Streamwise and Transverse</i>	33
Figura N° 2.15	<i>Detalle del método: Primary and Secondary (ZSD)</i>	35
Figura N° 2.16	<i>Detalle del método: Primary and Secondary (ROZ)</i>	37
Figura N° 2.17	<i>Aporte de agua y sedimentos en la cuenca amazónica</i>	39
Figura N° 2.18	<i>Ciclo sedimentológico y cambios morfológicos asociados en una cuenca hidrográfica</i>	40
Figura N° 2.19	<i>Clasificación de sedimentos suspendidos</i>	41
Figura N° 2.20	<i>Clasificación de forma de sedimento</i>	42
Figura N° 2.21	<i>Distribución de tamaño de grano</i>	45
Figura N° 2.22	<i>Tipos de transporte de sedimentos</i>	47
Figura N° 4.1	<i>Metodología de investigación propuesta</i>	133
Figura N° 4.2	<i>Área de estudio de la presente investigación</i>	143
Figura N° 4.3	<i>Detalle de metodología de investigación propuesta</i>	144
Figura N° 4.4	<i>Flujograma de trabajo para la técnica de retrodispersión acústica (backscatter)</i>	145
Figura N° 4.5	<i>Ventana de calibración en ASET de datos de retrodispersión acústica con datos de SSC medidos</i>	146
Figura N° 4.6	<i>SSC interpolado a partir de datos de backscatter calibrados con datos medidos de SSC</i>	146
Figura N° 4.7	<i>Flujograma de preprocesamiento de imágenes satelitales</i>	147

Figura N° 4.8	<i>Flujograma de procesamiento de imágenes satelitales para obtención de polígonos de valle y río</i>	148
Figura N° 4.9	<i>Flujograma de post-procesamiento de polígonos de valle y río</i>	148
Figura N° 4.10	<i>Flujograma de cálculo de métricas de parámetros morfológicos</i>	149
Figura N° 4.11	<i>Flujograma de verificación de influencia de parámetros morfológicos sobre la SSC</i>	150
Figura N° 4.12	<i>Flujograma de planeamiento de mediciones hidrodinámicas</i>	151
Figura N° 4.13	<i>Flujograma de mediciones hidrodinámicas con ADCP</i>	152
Figura N° 4.14	<i>Medición de ADCP</i>	152
Figura N° 4.15	<i>Flujograma de procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP</i>	153
Figura N° 4.16	<i>Vistas, escalas y opciones de visualización del software VMT</i>	153
Figura N° 4.17	<i>Patrón de flujo secundario</i>	154
Figura N° 4.18	<i>Distribución en planta de la velocidad de flujo superficial y promedio vertical del patrón de velocidades primarias del río St. Clair (MI, EE. UU.)</i>	154
Figura N° 4.19	<i>Flujograma de procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP</i>	155
Figura N° 4.20	<i>Flujograma de procesos iniciales</i>	156
Figura N° 4.21	<i>Flujograma de procesos de muestreo de sedimentos suspendidos y de fondo</i>	157
Figura N° 4.22	<i>Esquema de puntos de medición de sedimentos suspendidos y medición de material de fondo</i>	158
Figura N° 4.23	<i>Muestreador para medición de sedimentos suspendidos</i>	158
Figura N° 4.24	<i>Muestreador para medición de sedimentos de fondo</i>	159
Figura N° 4.25	<i>Flujograma de procesos de laboratorio de campo</i>	160
Figura N° 4.26	<i>Filtrador de sedimentos cohesivos y no cohesivos</i>	160
Figura N° 4.27	<i>Filtrador portátil de sedimentos suspendidos usado por el CITA-UTEC</i>	161
Figura N° 4.28	<i>Flujograma de procesos de laboratorio</i>	161
Figura N° 4.29	<i>LISST-Portable XR para obtención de distribución granulométrica de SS</i>	162
Figura N° 4.30	<i>Flujograma de procesos de laboratorio</i>	163
Figura N° 4.31	<i>Flujograma para verificación de la influencia del régimen de lluvia sobre la SSC</i>	164
Figura N° 5.1	<i>Mapa de localización de aforos de ADCP</i>	171
Figura N° 5.2	<i>Mapa de localización de medición de sedimentos suspendidos</i>	174
Figura N° 5.3	<i>Número de muestras de sedimentos suspendidos cohesivos de los cuales se obtuvo sus diámetros característicos</i>	176

Figura N° 5.4	<i>Número de muestras de sedimentos suspendidos no cohesivos de los cuales se obtuvo sus diámetros característicos</i>	177
Figura N° 5.5	<i>Número de muestras de sedimentos suspendidos de los cuales se obtuvo su CC</i>	178
Figura N° 5.6	<i>Áreas de drenaje de los principales afluentes de los ríos de estudio</i>	179
Figura N° 5.7	<i>Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Ucayali</i>	180
Figura N° 5.8	<i>Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Huallaga</i>	180
Figura N° 5.9	<i>Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Marañón</i>	181
Figura N° 5.10	<i>Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Amazonas</i>	181
Figura N° 5.11	<i>Mapa de localización de las secciones de backscatter medidos</i>	184
Figura N° 5.12	<i>Valores atípicos de sinuosidad de los ríos de estudio</i>	186
Figura N° 5.13	<i>Valores atípicos de los diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos de los ríos de estudio</i>	187
Figura N° 5.14	<i>Valores atípicos de los diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos de los ríos de estudio</i>	188
Figura N° 5.15	<i>Valores atípicos de SSC no cohesivos, Ucayali</i>	189
Figura N° 5.16	<i>Valores atípicos de SSC no cohesivos, Huallaga</i>	190
Figura N° 5.17	<i>Valores atípicos de SSC no cohesivos, Marañón</i>	191
Figura N° 5.18	<i>Valores atípicos de SSC no cohesivos, Amazonas</i>	192
Figura N° 5.19	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Ucayali</i>	193
Figura N° 5.20	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Huallaga</i>	194
Figura N° 5.21	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Marañón</i>	195
Figura N° 5.22	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Ucayali</i>	196
Figura N° 5.23	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Huallaga</i>	197
Figura N° 5.24	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Marañón</i>	198
Figura N° 5.25	<i>Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Amazonas</i>	199
Figura N° 5.26	<i>Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Ucayali (1981-2016)</i>	200
Figura N° 5.27	<i>Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)</i>	200
Figura N° 5.28	<i>Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)</i>	201

Figura N° 5.29	<i>Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)</i>	201
Figura N° 5.30	<i>Valores de precipitación diaria presentados por mes, Ucayali (1981-2016)</i>	202
Figura N° 5.31	<i>Valores de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)</i>	203
Figura N° 5.32	<i>Valores de precipitación diaria presentados por mes, Marañón (1981-2016)</i>	204
Figura N° 5.33	<i>Valores de precipitación diaria presentados por mes, Amazonas (1981-2016)</i>	205
Figura N° 5.34	<i>Comparación de la variación de las sinuosidades de los ríos de estudio</i>	206
Figura N° 5.35	<i>Sinuosidad a lo largo del eje longitudinal del valle</i>	206
Figura N° 5.36	<i>Distribución de caudal medido por régimen fluvial</i>	207
Figura N° 5.37	<i>Distribución de datos obtenidos por ADCP</i>	208
Figura N° 5.38	<i>Distribución de patrón de velocidades primarias y secundarias, Sección backscatter: 03_UBS_UCAYALI01</i>	209
Figura N° 5.39	<i>Distribución del diámetro característico D50 por eje y profundidad de datos de sedimentos suspendidos medidos</i>	210
Figura N° 5.40	<i>Distribución de concentración para diferentes profundidades y ejes de medición para cada río de estudio</i>	211
Figura N° 5.41	<i>Distribución del diámetro característico D50 para muestras de sedimentos suspendidos NO COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial.</i>	212
Figura N° 5.42	<i>Distribución del diámetro característico D50 de sedimentos suspendidos COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial</i>	213
Figura N° 5.43	<i>Distribución de SSC NO COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial</i>	214
Figura N° 5.44	<i>Distribución de SSC COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial</i>	215
Figura N° 5.45	<i>Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Amazonas</i>	217
Figura N° 5.46	<i>Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Huallaga</i>	217
Figura N° 5.47	<i>Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Marañón</i>	218
Figura N° 5.48	<i>Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Ucayali</i>	218
Figura N° 5.49	<i>Frecuencia de los meses de máxima precipitación areal</i>	219

Figura N° 5.50	<i>Curvas de distribución granulométrica de sedimentos de lecho</i>	221
Figura N° 5.51	<i>Distribución en vertical del diámetro medio (D50) de los diferentes ejes con medición backscatter por cada profundidad relativa</i>	222
Figura N° 5.52	<i>Distribución en vertical de SSC de los diferentes ejes con medición backscatter por cada profundidad relativa</i>	222
Figura N° 5.53	<i>Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 01_UBS UCA01</i>	223
Figura N° 5.54	<i>Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 03_UBS_UCAYALI01</i>	223
Figura N° 5.55	<i>Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 05_UBS-UHS_Maranon01</i>	224
Figura N° 5.56	<i>Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 06_UHD_MARA01_OA23112019_0</i>	224
Figura N° 5.57	<i>Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0</i>	225
Figura N° 5.58	<i>Resumen de calibración de secciones estáticas de backscatter</i>	225
Figura N° 5.59	<i>Distribución de SSC a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01</i>	226
Figura N° 5.60	<i>Distribución de SSC a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0</i>	226
Figura N° 5.61	<i>Distribución de velocidades a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01</i>	227
Figura N° 5.62	<i>Distribución de velocidades a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0</i>	227
Figura N° 5.63	<i>Distribución de transporte de sedimentos suspendidos a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01</i>	228
Figura N° 5.64	<i>Cálculo de transporte de sedimentos suspendidos, sección: 01_UBS UCA01</i>	228
Figura N° 5.65	<i>Distribución de transporte de sedimentos suspendidos a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0</i>	228
Figura N° 5.66	<i>Cálculo de transporte de sedimentos suspendidos, sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0</i>	229
Figura N° 6.1	<i>Influencia de la variable morfológica sobre la SSC</i>	231
Figura N° 6.2	<i>Influencia de la sinuosidad en la deposición de sedimentos y biodiversidad acuática</i>	231
Figura N° 6.3	<i>Influencia de la variable hidrodinámica sobre la SSC</i>	232
Figura N° 6.4	<i>Influencia del patrón de velocidades primarias y secundarias del flujo sobre la distribución de concentración de sedimentos suspendidos en la sección transversal</i>	233
Figura N° 6.5	<i>Influencia de las características sedimentológicas sobre la SSC</i>	234
Figura N° 6.6	<i>Influencia del régimen de lluvias sobre la SSC</i>	235

Figura N° 6.7	<i>Influencia de fenómenos climáticos (fenómeno del niño y fenómeno de la niña) sobre el régimen de lluvia en Amazonía peruana</i>	236
Figura N° 6.8	<i>Comparación de las tendencias del régimen fluvial durante los años neutrales, El Niño y La Niña, tanto en las épocas lluviosas como en las épocas secas en la Amazonía peruana</i>	237
Figura N° 6.9	<i>Secciones de retrodispersión acústica de los cuales se obtuvo una adecuada calibración</i>	239
Figura N° 6.10	<i>Resultados de calibración de todas las secciones de retrodispersión acústica medidas</i>	240
Figura N° 6.11	<i>Distribución de diámetro medio D50 y SSC de cada sección de retrodispersión acústica medida</i>	241
Figura N° 6.12	<i>Relación entre el transporte de sedimentos obtenido mediante la técnica de retrodispersión acústica y el sedimentograma de transporte de sedimentos suspendidos de la estación Borja del proyecto SO-HYBAM del IRD.</i>	242
Figura N° 6.13	<i>Inventario de obras de infraestructura planificadas sobre el río Marañón</i>	244

RESUMEN

Esta investigación determina la importancia de la retrodispersión acústica obtenida como derivado de las mediciones de caudal mediante el uso de instrumentos acústicos como el ADCP (Perfilador Acústico Doppler de Corrientes) para obtener la concentración de sedimentos suspendidos de secciones transversales completas del río. Esto justifica su uso como alternativa para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana. Asimismo, se estudia la influencia de las principales variables (morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia) sobre la concentración de sedimentos suspendidos (SSC).

El caso de estudio corresponde a los ríos amazónicos nororientales de Perú (Hualлага, Marañón, Ucayali y Amazonas). Los datos utilizados en esta investigación sobre la variable de morfología fluvial provienen de estudios realizados por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) mediante sensoramiento remoto en 2017. Mientras que los datos correspondientes a las variables sedimentológicas, hidrodinámicas y retrodispersión acústica (backscatter) se obtuvieron a través de mediciones realizadas por el mismo centro entre 2017 y 2020. Los datos sobre el régimen de lluvia de cada cuenca de los principales afluentes de cada río en estudio se obtuvieron a partir del producto PISCO de SENAMHI.

Para la estimación de sedimentos, se utilizó la herramienta ASET ([Ruben et al., 2020](#)), que permitió transformar los datos de retrodispersión acústica en datos de concentración de sedimentos suspendidos después de su calibración con datos medidos de concentración de sedimentos suspendidos. Gracias a la adecuada calibración de las mediciones de sedimentos suspendidos y retrodispersión acústica estática, se logró ajustar los valores de retrodispersión y convertirlos en valores de concentración de sedimentos suspendidos.

En conclusión, esta investigación encontró que las principales variables estudiadas tienen influencia en la dinámica de distribución de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana. Se concluye que la obtención de la concentración de sedimentos suspendidos en secciones transversales es posible solo si se calibran mediante datos medidos de retrodispersión homogénea, lo cual representa las características naturales del río. Por lo tanto, no se deben usar mediciones de retrodispersión acústica y SSC medidos donde se obtuvieron datos atípicos o dispersos, los cuales representan eventos puntuales.

Palabras Claves: Morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología, retrodispersión acústica, hidrología.

SUMMARY

This research determines the importance of acoustic backscatter obtained as a derivative of flow measurements using acoustic instruments such as ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) to obtain the concentration of suspended sediments from complete cross-sections of rivers. This justifies its use as an alternative for continuous monitoring of suspended sediment concentration in the rivers of the Peruvian Amazon. Furthermore, the influence of the main variables (river morphology, hydrodynamics, sedimentology, and rainfall regime) on suspended sediment concentration (SSC) is studied.

The case study corresponds to the northeastern Amazonian rivers of Peru (Huellaga, Marañón, Ucayali, and Amazonas). The data used in this research on the river morphology variable come from studies carried out by the Water Research and Technology Center (CITA-UTEC) through remote sensing in 2017. While data corresponding to sedimentological, hydrodynamic, and acoustic backscatter variables were obtained through measurements made by the same center between 2017 and 2020. Data on the rainfall regime of each basin of the main tributaries of each river under study were obtained from SENAMHI's PISCO product.

For sediment estimation, the ASET ([Ruben et al., 2020](#)) tool was used, which allowed transforming acoustic backscatter data into suspended sediment concentration data after calibration with measured suspended sediment concentration data. Thanks to the adequate calibration of suspended sediment and static acoustic backscatter measurements, it was possible to adjust the backscatter values and convert them into suspended sediment concentration values.

In conclusion, this research found that the main variables studied have an influence on the distribution dynamics of suspended sediment concentration in the rivers of the Peruvian Amazon. It is concluded that obtaining suspended sediment concentration in cross-sections is possible only if they are calibrated with homogeneous backscatter data measured, which represents the natural characteristics of the river. Therefore, acoustic backscatter and SSC measurements should not be used where atypical or scattered data were obtained, which represent punctual events.

Keywords: Fluvial morphology, hydrodynamics, sedimentology, acoustic backscatter, hydrology.

INTRODUCCION

La concentración de sedimentos suspendidos en ríos es un factor importante a considerar en la gestión del agua y medio ambiente (Cloern et al., 2016; Cunjak y Newbury, 2005). Los sedimentos en suspensión (SS) son un componente natural de los sistemas fluviales, compuestos por material orgánico e inorgánico transportado en el agua (Bridge, 2003; Fryirs y Brierley, 2012) los cuales tienen un impacto significativo en los procesos morfológicos y ecológicos (Haregeweyn et al., 2006; Jerolmack y Paola, 2010; Van Rijn et al., 1993; Ver-cruysse, Grabowski, y Rickson, 2017), así como en las condiciones del agua y del medio circundante debido a su influencia en la hidrodinámica. Altas concentraciones de sedimentos suspendidos afectan la calidad del agua, la salud del ecosistema acuático (Boyd, 2019; Suedel, Lutz, Clarke, y Clarke, 2012) así como la productividad de las actividades humanas que dependen del agua, como la agricultura y la industria (Amoudry y Souza, 2011; Thorne y Meral, 2008). En consecuencia, determinar la cantidad de sedimentos en suspensión en los ríos siempre ha sido un asunto relevante en investigaciones tanto de laboratorio como de campo (Nikora y Goring, 2002; Voulgaris y Meyers, 2004).

La alta concentración de sedimentos suspendidos tiene un impacto en la salud del ecosistema acuático (Collins y Anthony, 2008) obstruyendo la luz del sol y afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Courtice, Bauer, Cahill, Naser, y Paul, 2022).

En los últimos años, varios métodos de medición de la concentración de sedimentos, como el método eléctrico (Mishra, Bore, Jiang, Scheuermann, y Li, 2018), método acústico (Gartner, 2004; Thorne y Hurther, 2014; Xavier et al., 2014), método óptico (Minella, Merten, Reichert, y Clarke, 2008; Pavanelli y Bigi, 2005; Whinney, Jones, Duckworth, y Ridd, 2017) y método de imágenes (Qi et al., 2017; Shen y Maa, 2016; X. Zou, Song, Wang, y Ma, 2016), han logrado grandes avances (Felix, Albayrak, y Boes, 2016, 2018; J. R. Gray y Gartner, 2009; Rai y Kumar, 2015). De los cuales los que más aceptación tienen son el método óptico el cual es usado por turbidímetros (Campbell, Laycak, Hoppes, Tran, y Shi, 2005; J. Downing, 2006; Holliday, Rasmussen, y Miller, 2003; Maa, Xu, y Victor, 1992) y el método acústico el cual es usado por ADCP's (Gartner, 2004; Ha, Maa, Park, y Kim, 2011; Rai y Kumar, 2015), la principal diferencia entre ambos es que el método óptico proporciona valores puntuales y el método acústico proporciona valores de concentración a lo largo de toda la sección de estudio, lo cual es mejor para un monitoreo continuo de sedimentos en grandes ríos (C.-J. Huang, Fan, Hsueh, Shi, y Bian, 2018; Pomázi y Baranya, 2020)

Teniendo en consideración lo ya mencionado, conocer la distribución de sedimentos en un río es importante por lo siguiente:

1. Los ingenieros fluviales utilizamos la distribución de sedimentos para diseñar estructuras como diques, vertederos y puentes; los cuales deben soportar las fuerzas del

agua y sedimentos ([GUIDE, 2019](#); [Roy y Sahu, 2017](#)).

2. La distribución de sedimentos suspendidos en un río es importante para evaluar la estabilidad del lecho, prevenir la erosión y sedimentaciones excesivas. Esto es especialmente importante para diferentes estructuras hidráulicas existentes o proyectadas sobre el cauce como también en el contexto de obras de corredores fluviales o hidrovías, ya que estas obras pueden afectar la dinámica del río y su capacidad para transportar sedimentos ([Antoine, Camenen, Jodeau, Némery, y Esteves, 2020](#); [Z. Dai y Liu, 2013](#); [Ha y Maa, 2009](#); [Van Manh et al., 2015](#); [Yang, Zhao, y Belkin, 2002](#)).
3. La distribución de sedimentos de un río es importante para la gestión de la calidad del agua, ya que los sedimentos pueden actuar como vectores de contaminantes y afectar la calidad del agua ([Schoellhamer, Mumley, y Leatherbarrow, 2007](#)).
4. La distribución de sedimentos de un río es importante para la modelización y simulación de sistemas fluviales, lo cual permite predecir el comportamiento de los ríos para así tomar decisiones informadas sobre la gestión y conservación de los recursos hídricos. Esto es importante en el contexto de obras de corredores fluviales o hidrovías ([Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\), 2021b](#); [Zounemat-Kermani et al., 2020](#)).

En resumen, conocer la dinámica de sedimentos de un río es importante desde el punto de vista de la ingeniería debido a su impacto en el diseño de estructuras fluviales, estabilidad del lecho, transporte de sedimentos, calidad del agua, modelización y simulación de sistemas fluviales.

Este estudio tiene como objetivo verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica para monitoreo continuo de sedimentos suspendidos para grandes ríos de la Amazonia peruana, esto debido a que nos proporciona mayor información acerca de la distribución de concentración de sedimentos.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA

Muchos procesos morfológicos y ecológicos están asociados con el transporte de sedimentos en suspensión (Haregeweyn et al., 2006; Van Rijn et al., 1993; Vercruyssen et al., 2017). La concentración de sedimentos en suspensión tiene una gran influencia en la hidrodinámica circundante y el entorno acuático (Mehta, Hayter, Parker, Krone, y Teeter, 1989; Mehta et al., 1989). Por lo tanto, la medición de la concentración de sedimentos en suspensión siempre ha sido un tema importante en las investigaciones de laboratorio y de campo (Nikora y Goring, 2002; Voulgaris y Meyers, 2004).

A pesar de ser una parte indispensable del sistema fluvial, los sedimentos suspendidos también están relacionados con una serie de problemas relacionados como la contaminación, degradación ecológica, inundaciones y daños a la infraestructura en un mundo cada vez más urbanizado (Bilotta y Brazier, 2008; Horowitz, 2009; Taylor y Owens, 2009). Para desarrollar estrategias de gestión adecuadas, debemos ser capaces de cuantificar el transporte de sedimentos suspendidos y vincular estas dinámicas de transporte con los impulsores tanto dentro del canal como en la cuenca más amplia para poder predecir con precisión el transporte de sedimentos suspendidos (SS) en los ríos en escalas de tiempo relevantes para la gestión (Gao, 2008; Garcia-Ruiz et al., 2015; Taylor y Owens, 2009; Vanmaercke, Poesen, Verstraeten, de Vente, y Ocakoglu, 2011). Aunque se han llevado a cabo décadas de investigación, todavía no se han identificado ni comprendido completamente las dimensiones espaciales y temporales de los factores y las interacciones de los procesos que influyen en el transporte de SS (Vercruyssen et al., 2017).

El transporte y acumulación de sedimentos tiene un impacto generalizado en los arroyos, cuerpos de agua y topografía. En éste sentido se requiere conocer el aporte de sedimentos suspendidos de una corriente para determinar su aporte de sedimentos finos a toda la cuenca fluvial aguas abajo (Mano, Nemery, Belleudy, y Poirel, 2009; Navratil et al., 2011). Asimismo, en las centrales hidroeléctricas, la mitigación de la erosión hidroabrasiva y la sedimentación del embalse requieren datos de sedimentos en suspensión frecuentes y de alta calidad relacionados con los parámetros de los sedimentos en suspensión como la concentración de sedimentos suspendidos (SSC), distribución del tamaño de las partículas (PSD), forma de las partículas y composición mineral (Bishwakarma y Støle, 2008; Boes, 2009; Felix, Albayrak, Abgottspon, Boes, y Gruber, 2012).

La alta variación del flujo de sedimentos en suspensión dificulta la medición de concentración de sedimentos suspendidos (SSC). El método tradicional de monitoreo de SSC implica la recolección de muestras de agua del sitio de estudio y medición de las propiedades de los sedimentos suspendidos en el laboratorio. Para cuencas montañosas y regiones

de pendientes pronunciadas, la producción de sedimentos a menudo ocurre rápidamente como resultado de eventos de lluvia intensa (Mano et al., 2009). La medición de las variaciones de SSC a lo largo de la duración de un evento de tormenta, utilizando el método tradicional de monitoreo de SSC, requiere una gran cantidad de muestras (Navratil et al., 2011). Esto hace que el método tradicional de monitoreo de SSC sea costoso, laborioso y peligroso debido a las condiciones inaccesibles del sitio ya sea que se mida en Amazonia o montaña (J. Gray, Glysson, y Edwards, 2008; J. R. Gray y Gartner, 2009; J. R. Gray et al., 2010; Hsu y Cai, 2010). Además, frecuentemente se usa una variedad de muestreadores de sedimentos acorde a las características del sedimento y condiciones hidráulicas de cada río (Basile, 2018; Davis, 2005; Garcia, 2008; J. R. Gray y Gartner, 2009; J. R. Gray et al., 2010; Ruben et al., 2020). Los resultados de éstos métodos tradicionales son temporales y espacialmente limitados, especialmente en ríos con lecho de arena donde la fracción gruesa puede ser muy variable en profundidad y sección transversal, así como a lo largo del tiempo. Este es un factor crítico que ha impedido una comprensión completa de la dinámica y el manejo de los ríos, especialmente en los grandes sistemas fluviales donde la dinámica de los sedimentos es poco conocida. Debido a todas estas limitaciones de los métodos tradicionales, el número de estaciones tradicionales de monitoreo de sedimentos operadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) se ha reducido alrededor de un 75 % entre 1982 y 2008 (J. R. Gray y Gartner, 2009).

Quizás el factor más importante para la comunidad de investigación geomorfológica y sedimentaria, respecto a los métodos tradicionales de muestreo de SSC es la baja resolución espacio-temporal obtenida lo cual obstaculiza la comprensión de la interacción de flujo y transporte de sedimentos así como la comprensión de la dinámica morfológica existente en los sistemas fluviales (Szupiany et al., 2019).

En consecuencia durante las últimas dos décadas, se han propuesto una variedad de tecnologías nuevas basadas en principios ópticos, láser, diferencia de presión y retrodispersión acústica; esto con motivo de subsanar las carencias tecnológicas, económicas y de seguridad (J. R. Gray et al., 2010). Aunque la aplicación exitosa de éstas nuevas tecnologías para cuantificación de SSC depende de su calibración con datos medidos (J. R. Gray et al., 2010).

Entre todas éstas nuevas tecnologías, la retrodispersión acústica usada en los perfiladores de corriente acústicos Doppler (ADCP's) es uno de los métodos más prometedores para la estimación de concentración de sedimentos suspendidos en ambientes marinos y fluviales (Ruben et al., 2020; Szupiany et al., 2019).

1.2 FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Amazonía peruana es una región importante en términos de biodiversidad y recursos naturales, pero también es vulnerable a la contaminación y la degradación ambiental (Castello et al., 2013). El monitoreo continuo de la concentración de sedimentos en suspensión (SSC) es esencial para comprender la dinámica del sistema fluvial y evaluar su integridad (Ruben et al., 2020; Szupiany et al., 2019), también es importante para la gestión de recursos hídricos, planificación de proyectos de desarrollo y mitigación de impactos ambientales (Schoellhamer et al., 2007). A pesar de su importancia, el monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonía peruana es un desafío debido a la lejanía y dificultad para acceder a los sitios de muestreo, así como la falta de infraestructura y recursos.

La técnica de retrodispersión acústica (backscatter) es una alternativa prometedora para el monitoreo continuo de la SSC en ríos de lecho de arena (Szupiany et al., 2019), ya que permite la medición continua y no invasiva de la SSC. Sin embargo, la fiabilidad y validez de esta técnica en la Amazonía peruana no está completamente establecida.

El problema principal de esta investigación se centra en verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica como alternativa para el monitoreo continuo de la SSC en los ríos de la Amazonía peruana. Además, se busca investigar la influencia de la morfología fluvial, la hidrodinámica y las características sedimentológicas de los sedimentos en suspensión en la variabilidad de la SSC, lo cual puede afectar la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Por lo tanto, es fundamental investigar la influencia de dichas variables en la variabilidad de la SSC en los ríos de la Amazonía peruana. Adicionalmente, también se busca investigar la influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes de los ríos de estudio sobre la SSC.

La comprensión de estos factores permitirá una evaluación más precisa de la validez y fiabilidad de la técnica de retrodispersión acústica como alternativa para el monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonia peruana.

Considerando la relevancia de ésta investigación para la carrera profesional de Ingeniería Civil se tienen los siguientes aspectos.

- i) La técnica de retrodispersión acústica es una alternativa prometedora para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos de lecho de arena. Este enfoque innovador es importante para la gestión de recursos hídricos, la planificación de proyectos de desarrollo y la mitigación de impactos ambientales en la Amazonía peruana. Por lo tanto, la implementación de esta técnica en la práctica profesional de ingeniería civil podría mejorar significativamente la eficacia y eficiencia del monitoreo de sedimentos en suspensión, lo que permitiría una mejor comprensión de la dinámica del sistema fluvial y una evaluación más precisa de su integridad.

ii) Ésta investigación destaca la influencia de las principales variables (morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia) sobre la concentración de sedimentos suspendidos. Esta información es fundamental para el diseño de proyectos de infraestructura, como la construcción de presas, puentes y carreteras, que deben considerar la sedimentación como un factor importante. Además, la comprensión de la relación entre la concentración de sedimentos suspendidos y las variables hidrodinámicas puede ayudar a predecir el comportamiento de los ríos en eventos de inundaciones y sequías, lo que es relevante para la gestión de riesgos de desastres naturales. En resumen, los hallazgos de esta investigación son valiosos para la formación de profesionales de Ingeniería Civil, ya que proporcionan información importante sobre la dinámica fluvial en la Amazonía peruana y permiten el desarrollo de soluciones más efectivas y sostenibles para el manejo de recursos hídricos y la mitigación de impactos ambientales.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Problema general

- ¿Es confiable el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para el monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonia peruana?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Existe influencia de la morfología fluvial en la variabilidad de SSC en ríos de la Amazonía peruana?
- ¿Existe influencia de la hidrodinámica sobre la SSC en ríos de la Amazonía peruana?
- ¿Existe influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC?
- ¿Existe influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la SSC en ríos de la Amazonia peruana

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa confiable para monitoreo continuo de SSC en ríos de la Amazonia peruana.

1.4.2 Objetivos específicos

- Verificar la influencia de la morfología fluvial en la SSC en ríos de la Amazonía peruana.
- Verificar la influencia de la hidrodinámica en la SSC en ríos de la Amazonía peruana.
- Verificar la influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC en ríos de la Amazonía peruana.
- Verificar la influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la SSC en ríos de la Amazonía Peruana.

1.5 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

1.5.1 Justificación

Verificar en la Amazonía peruana el uso de una técnica de muestreo alternativa a las técnicas tradicionales de muestreo de SSC es necesario. Szupiany et al. (2019) y Ruben et al. (2020) nos mencionan que a pesar de que existe muchas investigaciones sobre el tema de sedimentos suspendidos, aún falta una comprensión completa de los factores que influyen en el transporte de sedimentos en suspensión. Por lo tanto, son necesarias nuevas investigaciones para comprender detalladamente la dinámica del transporte de sedimentos.

Además, el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) en el estudio de SSC en ríos puede ser de gran utilidad ya que permite obtener mediciones de manera rápida y sencilla. Lo cual puede ser especialmente útil en zonas de difícil acceso o con un régimen hidrológico cambiante; asimismo la tecnología backscatter permite realizar mediciones continuas y en tiempo real. Szupiany et al. (2019) nos menciona que a pesar de las ventajas y facilidades de la tecnología backscatter, éste debe usarse en conjunto con otros métodos dado la necesidad de su calibración.

Adicionalmente la justificación de verificación de una técnica de muestreo alternativa de SSC para obtener datos mas detallados radica en la importancia de su necesidad en el ámbito ingenieril y ambiental, tal como muestra a continuación:

- a) Desde el punto de vista de la ingeniería, el muestreo y estudio detallado de la SSC en ríos amazónicos puede proporcionar una comprensión más profunda de la dinámica de los ríos. Ya que, altas concentraciones de sedimento suspendido pueden interferir en el funcionamiento de estructuras hidráulicas como presas y diques, lo que puede tener implicaciones para la gestión del agua y protección de la infraestructura hidráulica.
- b) Desde el punto de vista ambiental, el muestreo y estudio detallado de la SSC es necesario dado que el sedimento suspendido es un indicador clave de la calidad del agua, lo cual puede afectar la biodiversidad y el ecosistema acuático de los ríos amazónicos. Altas concentraciones de sedimento suspendido pueden obstaculizar la luz que penetra en el agua, lo cual puede tener un impacto en la producción de oxígeno y la supervivencia de peces. Asimismo el sedimento suspendido es un indicador clave en el transporte de contaminantes y determinación del impacto de la deforestación que se da en Amazonía.

Los resultados de esta investigación pueden proporcionar una base científica para la implementación de políticas y regulaciones para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad en la Amazonía peruana. Además, el uso de la técnica de retrodispersión acústica puede mejorar significativamente la capacidad de

monitorear y evaluar la calidad del agua en ríos de la región, lo que es relevante para la salud pública y el bienestar de las comunidades locales. Por lo tanto, la investigación propuesta no solo tiene implicaciones para la carrera profesional de Ingeniería Civil, sino también para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible en la Amazonía peruana.

1.5.2 Importancia

La importancia de los resultados de ésta investigación al verificar la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para monitoreo continuo de SSC en ríos de Amazonía peruana, radica en subsanar la baja resolución espacio temporal de datos de SSC obtenida por métodos tradicionales de muestreo. Lo cual como menciona [Szupiany et al. \(2019\)](#) es uno de los principales obstáculos en la comprensión de la interacción de flujo y transporte de sedimentos. Subsanar ésta brecha espacio temporal con mediciones obtenidas por retrodispersión acústica nos permitirá obtener datos de SSC a lo largo de secciones transversales completas, lo cual nos proporciona una visión mas detallada de la interacción entre los sedimentos y los patrones de flujo primario y secundario del río. Éste nivel de detalle de SSC pueden utilizarse para desarrollar estrategias de gestión adecuadas, minimizar los impactos negativos en la infraestructura hidráulica, protección de biodiversidad y ecosistema acuático. Así como también nos permitirá el desarrollo de modelos mas reales para la predicción de la dinámica fluvial.

1.6 LIMITACIONES

La investigación es un proceso complejo que requiere un enfoque riguroso y cuidadoso. Aunque los objetivos y las hipótesis de una investigación pueden ser claros y concisos, también es importante considerar las limitaciones que pueden surgir durante el proceso de investigación. En este capítulo, se discuten las limitaciones encontradas en la investigación. Se describen las limitaciones en la recolección de datos, tiempo, espacio o territorio, recursos y resultados; los cuales fueron un desafío importante durante ésta investigación. Este capítulo brindará una comprensión más profunda de las limitaciones encontradas y cómo estas limitaciones pueden afectar los resultados y las conclusiones de la investigación.

1.6.1 En recolección de datos

La recolección de datos es un proceso crucial en cualquier investigación y es importante considerar las limitaciones que pueden surgir en este proceso. En el caso de esta investigación, una de las limitaciones puede ser la disponibilidad de los datos de concentración de sedimentos suspendidos. La técnica backscatter es una herramienta relativamente nueva y puede haber limitaciones en la disponibilidad de datos para su calibración y verificación.

1.6.2 En tiempo

El tiempo es un factor limitante en muchas investigaciones, incluyendo esta tesis. La recolección de datos, el análisis y la interpretación de los resultados pueden llevar mucho tiempo, especialmente cuando se trata de una investigación que implica la utilización de instrumentos acústicos y análisis de laboratorio. Además, el período de tiempo durante el cual se recolectaron los datos de sedimentos suspendidos (2017-2020) podría no ser suficiente para obtener resultados sólidos y concluyentes.

1.6.3 En espacio o territorio

El territorio o el espacio donde se realiza la investigación también puede ser una limitación. En este caso, la investigación se realiza en ríos de la Amazonía peruana, lo que puede presentar desafíos en la accesibilidad y disponibilidad de datos y recursos. Además, la remotidad de la zona de estudio es un obstáculo para la recolección de datos precisos y fiables.

1.6.4 En recursos

La disponibilidad de recursos es otra limitación importante en esta investigación. Los instrumentos acústicos, como el ADCP, son costosos y puede haber limitaciones en la disponibilidad de los mismos en la Amazonía peruana. Además, el análisis de los resultados puede requerir recursos especializados tanto de software como personal calificado, lo que podría presentar desafíos en términos de accesibilidad y costos.

1.6.5 En resultados

Por último, las limitaciones en los resultados son una preocupación importante en cualquier investigación. La técnica retrodispersión acústica (backscatter) es una herramienta nueva y es posible que los resultados obtenidos no sean concluyentes o precisos debido a la falta de experiencia y datos previos disponibles. Además, el análisis de los resultados podría estar limitado por la cantidad de datos disponibles y la calidad de los mismos, lo que podría afectar los resultados obtenidos.

1.7 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS

1.7.1 Hipótesis

1.7.1.1 Hipótesis general

- La técnica de retrodispersión acústica es una alternativa confiable para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos de la Amazonía peruana, y su uso está influenciado por las variables de morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia.

1.7.1.2 Hipótesis específicas

- La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana está influenciada positivamente por la variabilidad de la morfología fluvial, medida a través de la sinuosidad.
- La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana está influenciada positivamente por la variabilidad de la hidrodinámica, medida a través del caudal, velocidades de flujo primario y secundario.
- La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana está influenciada positivamente por la variabilidad sedimentológica, medida a través de diámetros y clasificación.
- La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana está influenciada positivamente por el régimen de lluvia, medida a través de la cantidad y distribución de las precipitaciones.

1.8 VARIABLES

1.8.0.1 Variable dependiente

- **Y1:** Relación de mediciones de SSC con datos de retrodispersión acústica obtenidos por ADCP.

1.8.0.2 Variables independientes

- **X1:** Morfología fluvial
- **X2:** Hidrodinámica
- **X3:** Características sedimentológicas
- **X4:** Régimen de lluvia

1.9 DEFINICIÓN TEÓRICA Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.9.1 Definición teórica

1.9.1.1 Variable dependiente

Y1: Es la relación entre mediciones de la concentración de sedimentos suspendidos (SSC) y datos de retrodispersión acústica obtenidos por un perfilador acústico Doppler en el río. Tiene dos subvariables: la distribución en sección de la SSC medida en el campo y la distribución en sección de la retrodispersión acústica. La dimensión de esta variable es la ingeniería de sedimentos e hidroacústica, y los indicadores incluyen la cantidad de material sólido presente en una solución (generalmente agua) en forma de partículas suspendidas y la intensidad de la señal acústica medida en decibeles (dB). La unidad de medida de esta variable es mg/L para la SSC y dB para la retrodispersión acústica.

1.9.1.2 Variable independiente

X1: Es la morfología fluvial, y tiene una subvariable de sinuosidad. La dimensión de esta variable es la geomorfología, y el indicador es el grado de curva por unidad de longitud. La unidad de medida para esta variable no está especificada en la tabla.

X2: Es la hidrodinámica y tiene tres subvariables: caudal, velocidad y profundidad. La dimensión de esta variable es la hidráulica, y los indicadores incluyen la cantidad de agua que fluye a través de un punto en un período de tiempo determinado, la velocidad a la que fluye el agua y la distancia vertical desde la superficie del agua hasta el fondo del río. Las unidades de medida para estas subvariables son m^3/s , m/s y m, respectivamente.

X3: Es la sedimentología y tiene tres subvariables: concentración, diámetros, clasificación. La dimensión de esta variable es la ingeniería de sedimentos, y los indicadores incluyen la cantidad de material sólido en suspensión en una muestra de agua, dimensión de las partículas de sedimento suspendido, clasificación del tipo de sedimento suspendido acorde a su tamaño. Las unidades de medida de estas subvariables son mg/L, μm

X4: Corresponde a régimen de lluvia, que hace referencia a las características del clima y los patrones de precipitación en la zona de estudio, presenta 3 subvariables que son: precipitación, área de drenaje y raster multitemporal de precipitaciones diarias. La dimensión de esta variable es la hidrología, y los indicadores incluyen la cantidad de lluvia que cae en un área específica durante un periodo de tiempo determinado, extensión de superficie que drenaje de cuenca, cantidad de lluvia que cae en un área

específica durante un periodo de tiempo determinado. Las unidades de medida de estas subvariables son mm, m^2 y mm

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Es importante destacar que el objetivo de esta investigación es verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa confiable para el monitoreo continuo de SSC en ríos de la Amazonia peruana. Sin embargo, tras una exhaustiva revisión de antecedentes nacionales y regionales, se constató la ausencia de investigaciones que aborden este tema. Es por ello que, con el fin de llenar esta brecha de conocimiento, se presenta a continuación una revisión de los antecedentes internacionales más relevantes en este ámbito.

Asimismo, dado que esta investigación requiere no solo el estudio de la hidroacústica, sino también de las variables de morfología fluvial, sedimentología, hidrodinámica y régimen fluvial, fué necesario incluir el capítulo III como parte de la estructura de la investigación. Este capítulo de Estado de Arte servirá para profundizar la investigación y así tener las herramientas necesarias para abordar esta investigación de manera efectiva.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

En esta sección se presentan los principales antecedentes internacionales relacionados con la medición de la concentración de sedimentos suspendidos en ambientes acuáticos utilizando técnicas acústicas y ópticas. Se destacan las investigaciones que han utilizado la técnica de retrodispersión acústica a través del uso del perfilador acústico de Doppler (ADCP) para la estimación de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos. Además, se presenta una nueva herramienta basada en fibra óptica miniatura para la medición de la concentración de sedimentos naturales. Las investigaciones han demostrado el potencial de estas técnicas para la monitorización precisa y continua de la concentración de sedimentos suspendidos. Sin embargo, se menciona que se necesitan más investigaciones para evaluar la precisión de los resultados y comprender mejor los efectos de la dispersión múltiple en diferentes condiciones.

Una investigación reciente ([Ruben et al., 2020](#)) propone el uso de la técnica de retrodispersión acústica para la obtención de concentración de sedimentos. Esta investigación desarrolló una herramienta que mide la retrodispersión acústica de partículas de sedimentos suspendidos y establece una relación entre la concentración de sedimentos y la intensidad de retrodispersión acústica. Los resultados de ésta investigación nos indican que la técnica de retrodispersión acústica puede proporcionar mediciones precisas y continuas de la concentración de sedimentos suspendidos sin la necesidad de una calibración previa para secciones medidas en la misma área de estudio, una vez que se obtenga la calibración de la sección de estudio.

La investigación de [Szupiany et al. \(2019\)](#) utilizó un perfilador acústico de Doppler (ADCP) para estimar la concentración de sedimentos suspendidos en ríos. La investigación describió un método de calibración para relacionar los datos del ADCP con la concentración de sedimentos suspendidos, que implicaba la recolección de muestras de sedimento concurrentes con las mediciones del ADCP. Los resultados nos presentan el potencial del uso del ADCP para estimar y visualizar la concentración de sedimentos suspendidos con alta resolución espacial, lo cual es relevante para el objetivo de evaluar la precisión y comparar la técnica de retrodispersión acústica con otras técnicas de monitoreo de la concentración de sedimentos suspendidos.

La investigación de [R. Huang y Zhang \(2021\)](#) desarrolló un nuevo instrumento de medición de concentración de sedimentos naturales basado en fibra óptica miniatura. La investigación estableció dos relaciones unificadas para obtener la concentración de sedimentos sin necesidad de calibración y propuso un concepto para caracterizar la propiedad de retrodispersión óptica. Este nuevo método es más conveniente para la medición de concentración de sedimentos naturales si se conoce la distribución de tamaño de partículas. Esta investigación es relevante para el objetivo ya que evalúa una técnica diferente para monitoreo de concentración de sedimentos suspendidos.

La investigación de [Sirabahenda, St-Hilaire, Courtenay, y Van Den Heuvel \(2019\)](#) revela el potencial del método de retrodispersión acústica para una monitorización no intrusiva de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos con altas cargas de sedimentos. Esta investigación es relevante para el objetivo de evaluar la precisión y las ventajas de la técnica de retrodispersión acústica en condiciones de alta carga de sedimentos, que son comunes en los ríos de la Amazonía peruana.

La investigación de [\(M. Guerrero y Di Federico, 2018\)](#) también presenta un método acústico novedoso para la estimación de la concentración de sedimentos suspendidos en ambientes acuáticos que utiliza la medición de la atenuación del sonido y el backscatter. Este método fue validado en pruebas de laboratorio y mostró una mayor precisión en la estimación de la concentración de partículas suspendidas que van desde arcilla hasta arena fina. Esta técnica acústica para laboratorio se alinea con el objetivo general de esta investigación, que es evaluar la técnica de retrodispersión acústica como alternativa para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana.

La investigación de [R. Huang y Zhang \(2021\)](#) desarrolló un nuevo instrumento de medición de concentración de sedimentos naturales basado en fibra óptica miniatura. La investigación estableció dos relaciones unificadas para obtener la concentración de sedimentos sin necesidad de calibración y propuso un concepto para caracterizar la propiedad de retrodispersión óptica. Si bien esta investigación utiliza una técnica diferente a la de retrodispersión acústica, ambos métodos tienen como objetivo medir la concentración de sedimentos suspendidos. Por lo tanto, esta investigación es relevante para el objetivo de evaluar

diferentes técnicas de monitoreo de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana.

En general, estas investigaciones muestran que tanto las técnicas acústicas como las ópticas tienen un gran potencial para la monitorización precisa y continua de la concentración de sedimentos suspendidos en ambientes acuáticos, incluyendo ríos y cuerpos de agua. Esto es coherente con los objetivos de esta investigación, que busca evaluar la precisión y viabilidad de la técnica de retrodispersión acústica para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana.

2.2 BASES TEÓRICAS

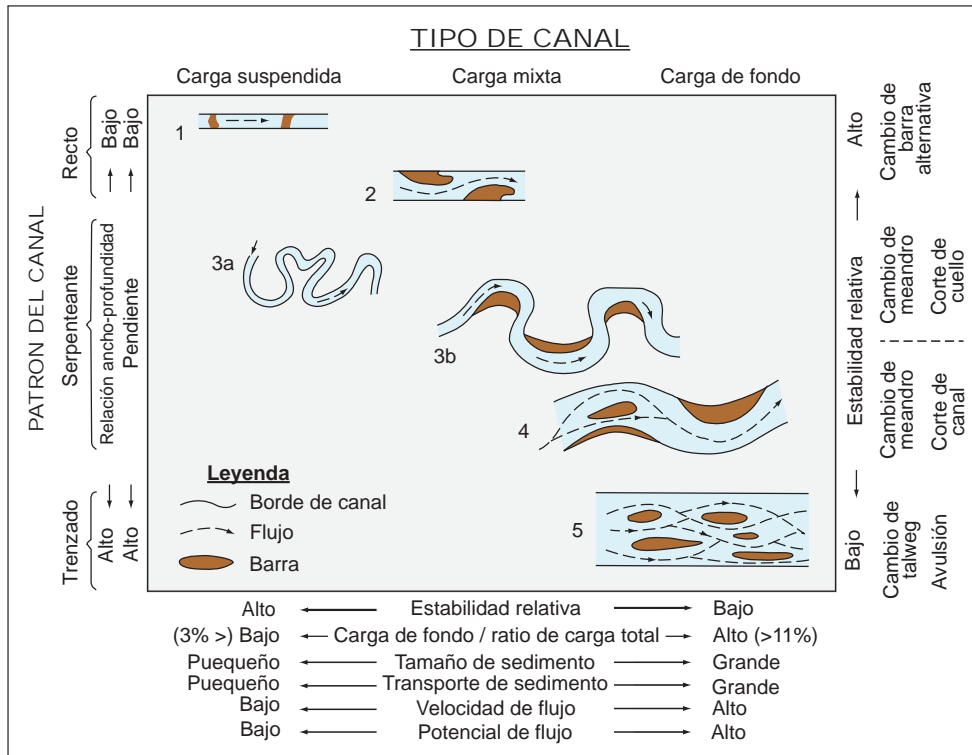
2.2.1 Morfología fluvial

2.2.1.1 Clasificación morfológica fluvial

Schumm (1963, 1977, 1981, 1985) clasifica los ríos en 5 tipos de canales, los cuales son presentadas en la figura 2.1 y detallados a continuación.

1. El primer canal mostrado es recto debido a su valor de sinuosidad igual a 1, dicho canal muestra un ancho relativamente estable, predominancia del sedimento suspendido. Asimismo, presenta baja relación entre su ancho y profundidad y baja pendiente. Éste tipo de canal es inexistente en la naturaleza, creado solo en laboratorios con propósitos científicos.
2. El segundo canal recto mostrado presenta carga de sedimentos mixta (suspendido y fondo), presencia de canal profundo (thalweg) y canal relativamente estable.
3. El tercer tipo de canal es mostrado por 2 sub patrones del tipo meándrico y un solo canal, presentando ambos una pendiente baja y factor de confinamiento alto $C \gg 1$ ($C = \frac{\text{Ancho del valle}}{\text{Ancho del río}} \gg 1$) lo cual les proporciona una estabilidad relativa en tiempo ya que los meandros poseen alta tasa de migración debido a la gran amplitud del valle por donde pueden desplazarse. Es por eso que dichos canales meándricos, como parte de su proceso natural de evolución presentan corte de canal (chute cutoff) o corte de cuello (Neck cutoff)
 - 3a) Muestra un tipo canal meándrico con alto grado de sinuosidad, el cual presenta predominantemente transporte de sedimento suspendido.
 - 3b) Muestra un tipo canal meándrico con carga sedimentaria mixta (fondo y suspendido) con presencia de zonas de erosión y deposición.
4. El cuarto tipo de canal muestra la transición entre el canal meándrico y trenzado. Muestra carga sedimentaria alta siendo predominante el transporte de sedimentos de fondo. El ancho del canal principal es cambiante y muy superior en comparación con su profundidad.
5. Finalmente el quinto canal es multicanal de tipo trenzado con presencia de islas (barras) no consolidadas, presenta canal principal cambiante y pendiente baja. Éste tipo de canal usualmente es predominante en zonas de planicies aluviales y deltas con morfología no estable.

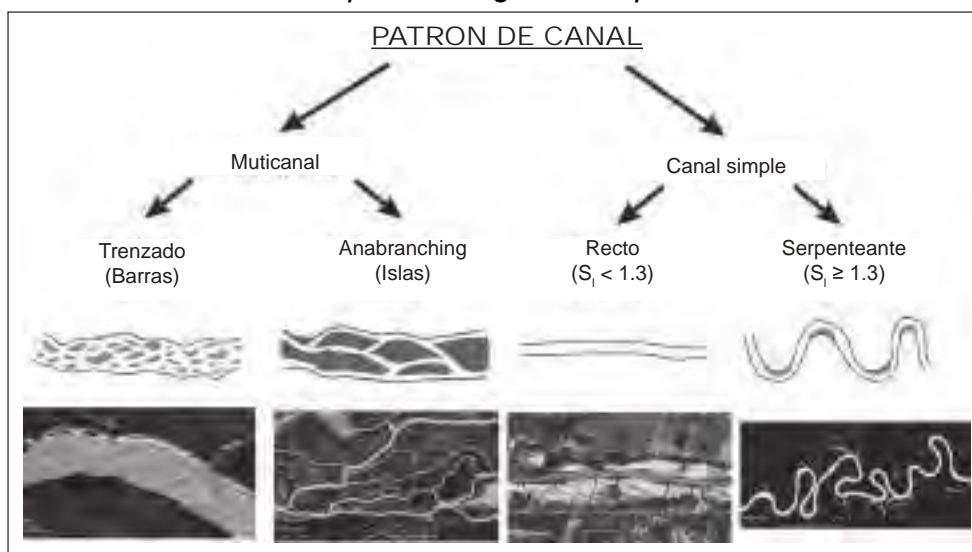
FIGURA N° 2.1: Clasificación de ríos aluviales según Schumm



Nota: Adaptado de Buffington y Montgomery (2013), "Clasificación Geomórfica de los Ríos" (cap. 9.36, p. 732).

Rhoads (2020) además nos indica que los ríos multicanal se dividen en ríos del tipo trezado con islas inestables y ríos del tipo anabranching con islas estables o consolidadas. Dicha clasificación es presentada en la figura 2.2.

FIGURA N° 2.2: Principales categorías de patrones de canales

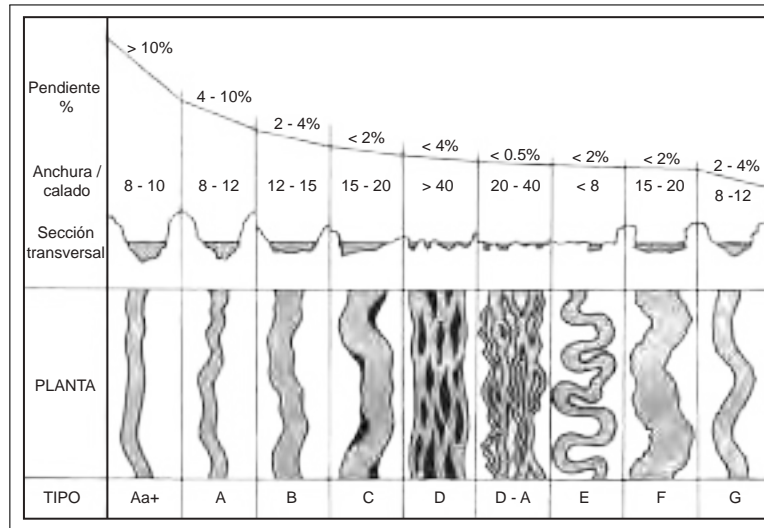


Nota: Adaptado de Rhoads (2020), "Dinámica del río: geomorfología para apoyar la gestión" (p. 187).

Rosgen (1994, 2006) en la figura 2.3 nos presenta las vistas en planta y sección de

los diferentes ríos existentes para así detallar sus características morfológicas principales.

FIGURA N° 2.3: *Vistas longitudinales, transversales y en planta de los principales tipos de ríos según la clasificación de Rosgen*



Nota: Adaptado de [González del Tánago y García de Jalón \(2006\)](#), "Propuesta de caracterización jerárquica de los ríos españoles para su clasificación según la Directiva Marco de la Unión Europea" (p. 697)

La tabla 2.1 nos menciona y describe cada característica presentada en la figura 2.3.

TABLA N° 2.1: *Características morfológicas de los principales tipos de ríos*

Tipo	Características	Descripción
Aa^+	Ríos rectos o ríos ideales	Sinuosidad igual a 1, canal estable, alta pendiente, predominancia de transporte de sedimentos suspendidos
A	Pasos de río o cascadas	Zonas tranquilas y erosión, alta energía, bajo almacenamiento de sedimentos, estable
B	Zonas turbulentas y rápidas	Presencia de algunas zonas de erosión, rara presencia de barras, estables
C	Secuencias de zonas tranquilas y turbulentas	Serpenteantes, zonas puntuales de barras, llanuras de inundación bien desarrolladas, bancos estables o inestables
D	Trenzado	Múltiples canales, barras cambiantes, deposición, alto suministro de sedimentos, bancos erosionables
D-A	Anabranching (Trenzado y entrelazado)	Múltiples canales, zonas tranquilas, llanura de inundación, llanura de inundación con vegetación, humedales, bancos estables
E	Meandros de montaña	Llanura de inundación definida, zonas tranquilas y turbulentas, alto transporte relativo de sedimentos
F	Meandros de valles	Incrustado en valles, pobre llanura de inundación, zonas tranquilas y turbulentas, bancos estables o inestables
G	Quebradas	Alto suministro de sedimentos, bancos inestable, pasos de piscina

Nota: Adaptado de [Bunte y Abt \(2001\)](#), "Muestreo de superficie y subsuperficie de distribuciones de tamaño de partículas en arroyos vadeables con lechos de grava y guijarros para análisis en transporte de sedimentos, hidráulica y monitoreo del lecho del arroyo" (pp. 7-11).

Adicionalmente [García \(2008\)](#) nos proporciona en la tabla 2.2 los valores de limitación de la clasificación de [Rosgen \(1994\)](#).

TABLA N° 2.2: Resumen de criterios para la clasificación de Rosgen (1994)

Tipo de corriente	Ratio de estrechamiento	ancho / profundidad	Sinuosidad	Pendiente	(Ancho de la franja de meandro) / (Ancho a nivel de banco lleno)	Material dominante de lecho
Aa+	<1.4	<12	1.0 - 1.1	>0.10	1 - 3	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla
A	<1.4	<12	1.0 - 1.2	0.04 - 0.10	1 - 3	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla
B	1.4 - 2.2	>12	>1.2	0.02 - 0.039	2 - 8	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla
C	>2.2	>12	>1.2	<0.02	4 - 20	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla
D	—	>40	—	<0.04	1 - 2	Guijarros, grava, arena, limo/arcilla
D-A	>2.2	variable	variable	<0.005	—	Grava, arena, limo/arcilla
E	>2.2	<12	>1.5	<0.02	20 - 40	Guijarros, grava, arena, limo/arcilla
F	<1.4	>12	>1.2	<0.02	2 - 10	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla
G	<1.4	<12	>1.2	<0.039	2 - 8	Lecho rocoso, roca, guijarros, grava, arena, limo/arcilla

Nota: Adaptado de Garcia (2008), "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 6, p. 378).

Asimismo es importante recalcar que los ríos de tipo meándricos no solo existen en zonas de Amazonía sino que es el factor de confinamiento el que define éste tipo de río. Tal como lo muestra Rosgen (1994, 2006) en la figura 2.3 y el cual también es evidenciado por la figura 2.4 que corresponde a meandros de montaña existentes en la cabeceras de cuenca de los ríos.

FIGURA N° 2.4: Principales características morfológicas de ríos

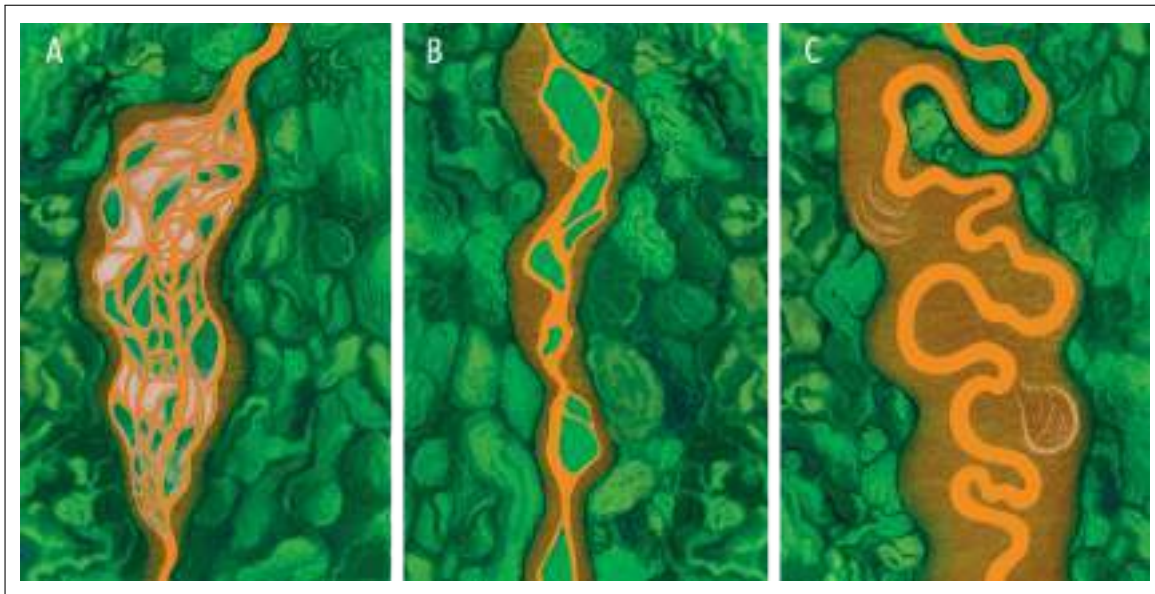


Nota: Fotografía obtenida durante la campaña de medición en la cabecera de la cuenca del río Marañón realizada por el CITA-UTEC (07/08/2019). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Adicionalmente el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022) a partir de los estudios de morfología fluvial realizados entre los años 2017 al 2021 indican que la Amazonía peruana presenta tres tipos principales de ríos. Los cuales son presentados por la figura 2.5 y se detallan a continuación:

- A) Ríos multicanal del tipo trenzados, los cuales se caracterizan por presentar islas inestables.
- B) Ríos multicanal del tipo anabranching, los cuales se caracterizan por presentar islas estables y reducida dinámica multitemporal.
- C) Ríos Meándricos, los cuales poseen un solo canal principal, con valores de sinuosidad usualmente mayores a 1.3

FIGURA N° 2.5: Principales tipos de ríos de la Amazonía peruana



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 77).

2.2.1.2 Parámetros morfológicos

El [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#). En sus estudios presentan los parámetros morfológicos de un río clasificado en estáticos y dinámicos, esto debido a que los parámetros estáticos pueden ser obtenidos para un año específico y no requiere dependencia en comparación con otro año para determinar sus valores. Asimismo, menciona que dichos valores no están asociados a un punto específico en el tiempo sino que corresponde a la variación de de métricas en un rango temporal.

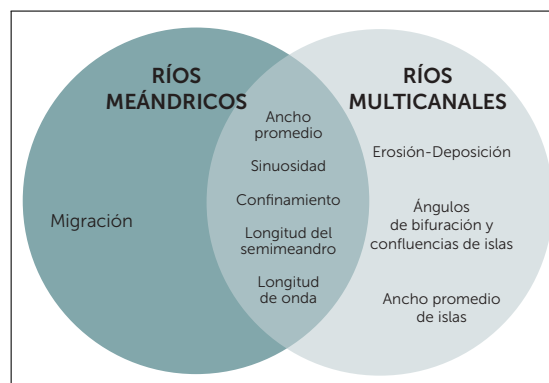
TABLA N° 2.3: Principales parámetros morfológicos estudiados en ríos de Amazonía Peruana

Parámetros estáticos	Parámetros dinámicos
Longitud de semimeandro	Migración
Longitud de onda	Erosión-deposición
Amplitud	
Ancho promedio del canal principal	
Sinuosidad	
Confinamiento	
Ancho promedio de islas	
Ángulos de bifurcación y confluencia de islas	

Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 82).

La figura 2.6 nos presenta la relación entre los principales parámetros estáticos y dinámicos presentados en la tabla 2.3 agrupados para ríos meándricos y multicanal. Cabe mencionar que a pesar de que los parámetros de migración y erosión-deposición está presente en ambos tipos de ríos. Dicha figura asigna la migración a los ríos meándricos debido a que éste fenómeno tiene mayor predominancia en éste tipo de ríos debido a su gran amplitud de valle y alta sinuosidad, asimismo asigna el parámetro de erosión-deposición a los ríos multicanales debido a su gran significancia en cantidad respecto a los ríos meándricos.

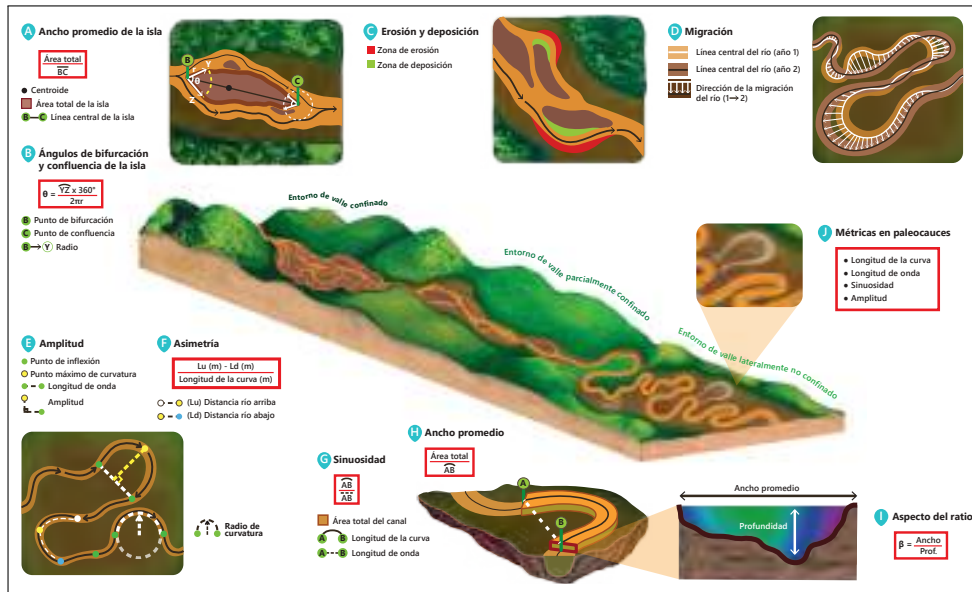
FIGURA N° 2.6: Principales parámetros morfológicos estudiados por cada tipo de río en la Amazonía Peruana



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 82).

La figura 2.7 nos presenta esquemáticamente los 3 tipos de ríos mencionados anteriormente por la figura 2.5, asimismo nos presenta los parámetros morfológicos principales mencionados, adicionando los parámetros de asimetría y métricas de paleocauces.

FIGURA N° 2.7: *Parámetros morfológicos*



Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022)*, "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 83).

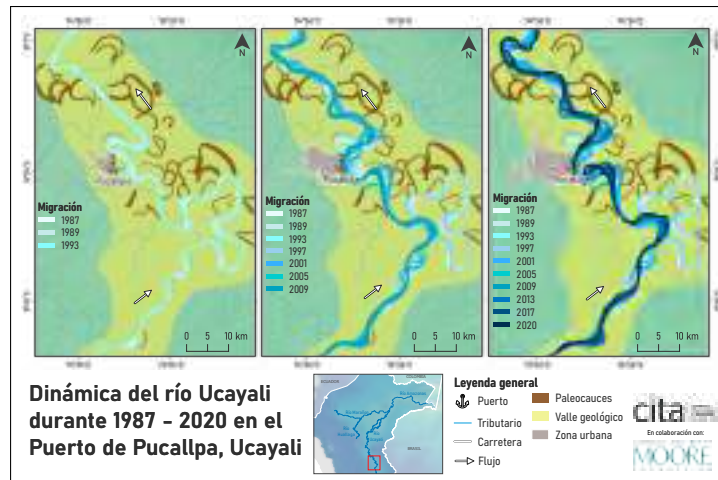
2.2.1.3 Dinámica morfológica de los ríos

a) Dinámica de ríos meándricos:

Los ríos meándricos presentan elevada tasa de migración debido a su alta sinuosidad, baja pendiente y alto grado de confinamiento tal como lo menciona Schumm (1963, 1977, 1981, 1985) en sus investigaciones.

En la figura 2.8 podemos apreciar la dinámica del río Ucayali para diferentes periodos de años, lo cual evidencia las altas tasas de migración de un río meándrico.

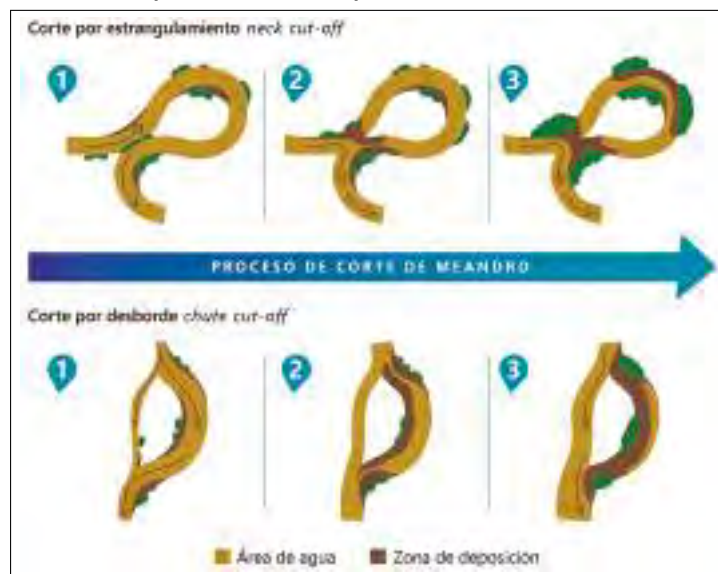
FIGURA N° 2.8: *Dinámica meándrica del río Ucayali - Puerto de Pucallpa*



Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2021a)*, "Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en ríos de las cuencas Andino-Amazonicas" (p. 25).

Dépret, Riquier, y Piégay (2017), Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022) y Abad et al. (2022) nos mencionan que la alta tasa de migración de un río meándrico no solo genera desplazamiento a lo largo del ancho del valle, sino también genera paleocauces producto del corte por cambio de canal principal y posterior abandono de canal principal antiguo (chute cutoff) y corte por estrangulamiento de meandro (neck cutoff) lo cual es consecuencia del proceso natural de éste tipo de ríos, dichos tipos de corte de canal meandrico son presentado en la figura 2.9

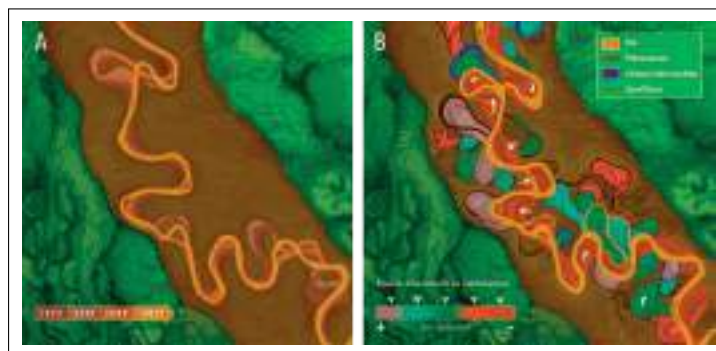
FIGURA N° 2.9: *Tipos de cortes presentados en ríos meándricos*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 79).

Teniendo en cuenta lo ya mencionado, la figura 2.10 nos muestra los patrones de migración a lo largo de 24 años espaciados cada 8 años, así también como la antigüedad de los sucesos de paleocauces generados a una escala de tiempo mucho mas grande.

FIGURA N° 2.10: *Dinámica multitemporal característico de un río meándrico*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 78).

b) Dinámica de ríos multicanal Trenzado:

El libro de "Fundamentos de geomorfología fluvial" de [Charlton \(2007\)](#) nos menciona que los ríos multicanal trezados se caracterizan por canales anchos, relativamente poco profundos en comparación con su ancho, flujos que se dividen y se reúnen alrededor de bancos e islas tal como se evidencian en las figuras 2.1 y 2.3. También nos menciona que la apariencia de ríos multicanal Trenzado varía con los cambios en las condiciones de flujo. Asimismo menciona que durante flujos altos muchos de las islas inestable se sumergen parcial o totalmente dando la apariencia de un canal de ancho único, en contraste durante los flujos bajos se exponen amplias áreas de superficie de islas. Ésta presencia de islas inestables generan patrones complejos de flujo dentro del río multicanal del tipo trezado. Nos menciona también que para la formación de éstas islas, se requiere un abundante suministro de sedimentos de fondo y que gran parte de éste sedimento es suministrado desde la cuenca alta, con aporte de sedimentos adicionales producto de la erosión de las márgenes a lo largo del río.

[Eaton, Millar, y Davidson \(2010\)](#) nos dice que los ríos trezados están asociados con altas tasas de gasto de energía lo cual se involucra en el transporte de grandes volúmenes de sedimento. Asimismo, el libro de [Charlton \(2007\)](#) nos menciona que a menudo éste tipo de ríos presentan altas pendientes, aunque hay varios ejemplos de ríos trezados de gran tamaño que fluyen sobre pendientes bajas, como la desembocadura del río Brahmaputra en India y Bangladesh.

FIGURA N° 2.11: *Ejemplo de río multicanal Trenzado*



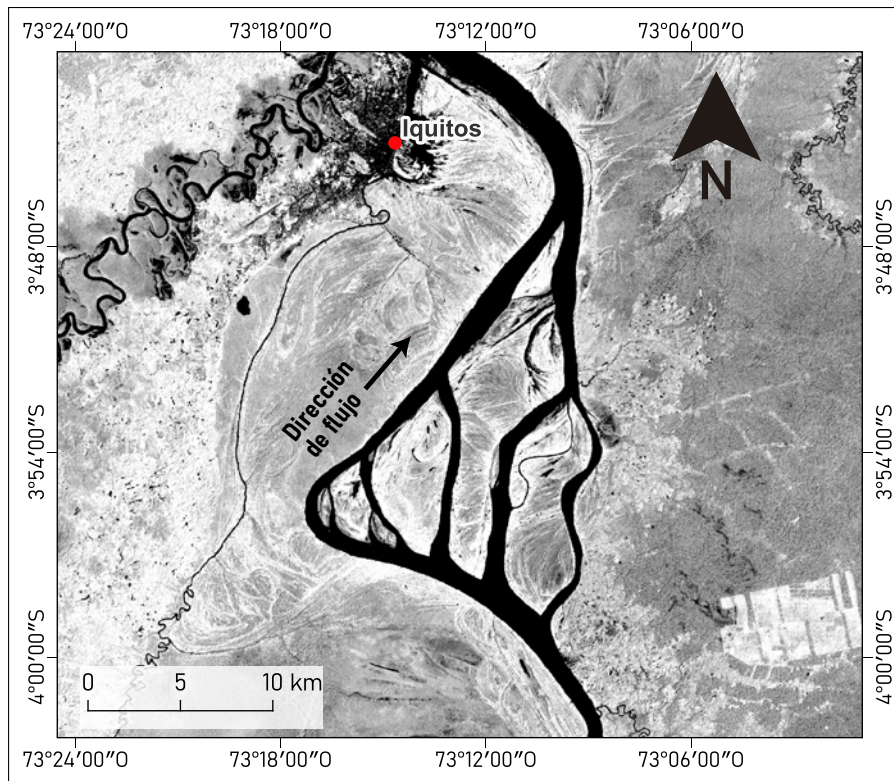
Nota: Adaptado de [Charlton \(2007\)](#), "Fundamentos de geomorfología fluvial" (p. 136d).

c) Dinámica de ríos multicanal Anabranching:

El libro de "Fundamentos de geomorfología fluvial" de [Charlton \(2007\)](#) nos menciona

que los ríos multicanal Anabranching presentan flujo que se dividen en 2 o más canales. Y que a diferencia de los canales trenzados presentan tasas de migración lateral muy bajas. Asimismo se caracteriza por presentar islas estables y que dependiendo de las condiciones éstas islas pueden presentar vegetación. Sin embargo, también menciona que se pueden crear nuevos canales cuando las aguas de inundación rompen el límite del canal y desborran la llanura de inundación.

FIGURA N° 2.12: *Ejemplo de río multicanal Anabranching*



Nota: Tramo de canal multicanal Anabranching en el río Amazonas. Mapa de elaboración propia basado en el mosaico compuesto por imágenes satelitales Sentinel 2 del año 2021.

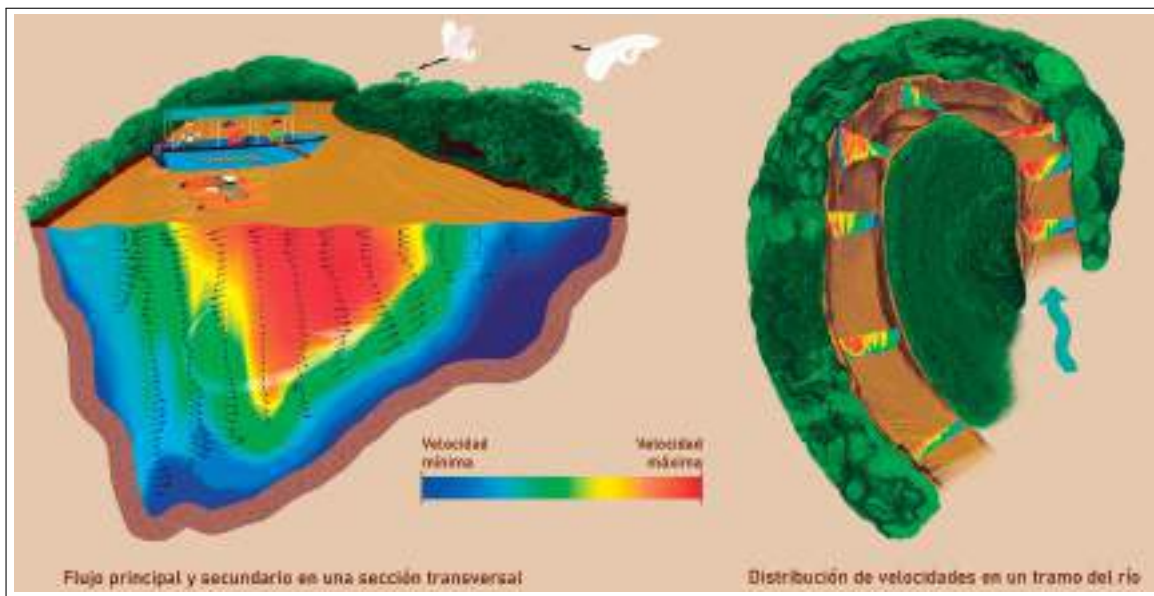
2.2.2 Hidrodinámica

La hidrodinámica es una disciplina fundamental en el estudio de los ríos y cuerpos de agua, su aplicación en la ingeniería fluvial es de gran importancia (Dey, 2014).

El objetivo de esta sección es la caracterización del flujo de agua del río. Centrándose en la determinación del caudal, patrón de velocidades del flujo primario y patrón de velocidades del flujo secundario, los cuales son esquematizados en la figura 2.13. Estos parámetros son esenciales para la comprensión de la hidráulica fluvial y formulación de modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento de un río para diferentes condiciones.

En esta sección, se describen los métodos y técnicas utilizadas para la medición de estas variables hidrodinámicas.

FIGURA N° 2.13: *Objetivos de la hidrodinámica en estudios fluviales*



Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 138).*

2.2.2.1 ADCP en la caracterización hidrodinámica fluvial:

El método del perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) consiste en la transmisión de señales acústicas a través del agua y posterior recepción de los ecos reflejados por las partículas en suspensión de la corriente. La diferencia entre la frecuencia de la señal acústica transmitida y los ecos reflejados se utiliza para calcular la velocidad de las partículas de sedimentos suspendidos lo cual se relaciona con el patrón de velocidades en cada posición de partícula de sedimento medido (Costa et al., 2006, 2000).

Cuando se monta en un bote, el ADCP es capaz de ofrecer un perfil vertical cuasi-continuo de la sección de la corriente (Chauhan, Kumar, Dikshit, y Dwivedi, 2014; Muste, Yu, y Spasojevic, 2004). Asimismo, el ADCP puede medir la velocidad y dirección del bote

al rastrear el fondo del río con lo cual puede compensar su movimiento en el cálculo de las velocidades del agua (Oberg y Mueller, 2007).

Los ADCP se pueden clasificar en dos categorías según las técnicas utilizadas para configurar y procesar la señal acústica, según esto pueden ser de banda estrecha y banda ancha (Lee, Mukai, Lee, y Iida, 2014; Lu y Lueck, 1999). Asimismo, el ADCP es capaz de medir el caudal del agua más rápido y con mayor precisión debido a que mide una porción mucho mayor de la columna de agua donde se mide (Mueller, Wagner, Rehmel, Oberg, y Rainville, 2009). A pesar de que ésta técnica no es invasiva, es costosa y requiere de personal capacitado; ya que si se utilizan técnicas inapropiadas puede dar resultados inexactos. (Flener et al., 2015; Visbeck, 2002).

La tabla 2.4 resume los principales aspectos de uso de ADCP en mediciones fluviales.

TABLA N° 2.4: *Tabla de consideraciones, buenas prácticas, restricciones, ventajas y desventajas del uso de ADCP en grandes ríos*

Aspectos	Descripción
Importancia	Los ADCP son una herramienta importante para medir el flujo de agua de forma precisa y eficiente en grandes ríos.
Consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> - Es importante considerar las condiciones hidrológicas y meteorológicas, ya que pueden afectar la precisión y confiabilidad de las mediciones. - El tipo de río y profundidad también son factores importantes a considerar, ya que pueden influir en la calidad de los datos recopilados.
Buenas prácticas	<ul style="list-style-type: none"> - Es recomendable hacer varias pasadas en la misma sección del río para mejorar la precisión y confiabilidad de las mediciones (mínimamente 2 transectos buenos en cada sentido). - Es importante calibrar el equipo antes de cada uso (calibración de brújula y consideraciones respecto al tipo de soporte). - Es importante medir la temperatura del agua ya que esto afecta la velocidad del sonido, que es la base de las mediciones de velocidad del ADCP. - Es importante medir la distancia de los márgenes no medidas durante una medición con ADCP ya que esto nos permite una interpolación de área para así obtener el caudal de toda la sección medida. - Se recomienda llevar a cabo pruebas de campo para verificar la precisión del equipo y del método de medición a usar.
Restricciones de uso	<ul style="list-style-type: none"> - Las mediciones pueden ser afectadas por la presencia excesiva de sedimentos asimismo por la presencia de escombros en el agua. - Los ADCP no son adecuados para mediciones en aguas poco profundas y en zonas con obstáculos. - Los ADCP pueden tener dificultades para medir la velocidad del agua en zonas con flujos complejos como remolinos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten medir el flujo de agua de manera más precisa y eficiente que los métodos tradicionales. - Permiten recopilar datos de manera continua y en tiempo real. - Son portátiles y fáciles de usar.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de equipo. - Requiere personal calificado para su calibración y operación. - La calidad de los datos puede verse afectada por la falta de estandarización en mediciones y análisis de datos.

Nota: Adaptado de Mueller et al. (2009), "Medición de descarga con perfiladores de corriente Doppler acústico desde un bote en movimiento."

La tabla 2.5 nos presenta las frecuencias de uso, profundidad mínima requerida, profundidad máxima de uso y programa usado en la medición y obtención de datos, de los ADCP's más usados actualmente.

TABLA N° 2.5: Características de los ADCP más utilizados

ADCP	StreamPro (Teledyne)	Rio Grande (Teledyne)	River Ray (Teledyne)	RiverSurveyor M9 (SonTek)
Frecuencia	2 MHz	1200 Hz or 600 Hz	600 Hz	4 beams at 1 MHz 1 beam at 500 Hz
Profundidad mínima	0.15 m	0.67 m (1200 Hz) 0.91 m (600 Hz)	0.54 m	0.30 m
Profundidad máxima	1.98 m	19.8 m (1200 Hz) 60.9 m (600 Hz)	39.6 m	39.6 m
Programa	Winriver II	Winriver II	Winriver II	RiverSurveyor Live

Nota: Adaptado de Teledyne Instruments, RD (2007), "WinRiver guía de usuario" y Lopez Moreno, Vanegas Guzman, et al. (2017), "Manual de Protocolo del Equipo RiverSurveyor de SonTek-M9 con Funcionamiento de Tecnología Satelital del Laboratorio de Servicios Públicos."

Como consecuencia de que cada fabricante de ADCP usa su propio programa para obtener las variables hidrodinámicas características de los ríos tal como se muestra en la tabla 2.5. El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desarrolló el programa "*QRev*" (Mueller (2016), "Programa para el cálculo y aseguramiento de calidad de la medición de caudal en corrientes fluviales utilizando el perfilador de corriente acústico desde un bote en movimiento") con el objetivo de mejorar la calidad, eficiencia de las mediciones de caudal y así garantizar que las mediciones de caudal sean consistentes, precisas e independientes del fabricante del instrumento utilizado.

La tabla 2.6 nos presenta un resumen de las principales características de la herramienta "*QRev*".

TABLA N° 2.6: *Principales características de la herramienta QRev*

Característica	Descripción
Función principal	Cálculo y garantía de calidad de mediciones de flujo de corrientes en movimiento realizadas con el perfilador de corriente Doppler acústico (ADCP)
Funciones principales	Procesamiento y corrección de datos de ADCP, validación de datos, generación de informes y gráficos.
Métodos de corrección de datos	Corrección de errores de medición en función de la velocidad de corriente, dirección, altura del transductor y otros factores.
Métodos de validación de datos	Pruebas de consistencia de datos, pruebas de errores de navegación, verificación de la velocidad de la corriente, comparación con mediciones de flujo de corriente obtenidas por otros métodos.
Beneficios	Permite procesar y validar datos de ADCP de manera precisa y eficiente, proporciona una herramienta estandarizada para la garantía de calidad, mejora la exactitud y precisión de los datos de medición de corriente.
Desventajas	Requiere conocimientos previos de Matlab para utilizar todas las funciones, puede ser menos adecuado para usuarios que no están familiarizados con el procesamiento de datos y la garantía de calidad.

Nota: Adaptado de [Mueller \(2016\)](#), "QRev: Programa para el cálculo y garantía de calidad de mediciones de flujo de corrientes en movimiento realizadas con el perfilador de corriente Doppler acústico (ADCP): Manual técnico de la versión 2.8."

2.2.2.2 VMT como herramienta para determinar el patrón de velocidades primarias y secundarias:

[Parsons et al. \(2013\)](#) nos presenta la herramienta "VMT" que es una herramienta diseñada para procesar y visualizar datos de "ADCP" recopilados a lo largo de transectos únicos o múltiples. Ésta herramienta está diseñado para definir un espaciado óptimo de nodos de datos, promediar los datos de transectos en cada nodo de datos y calcular diferentes tipos de componentes primarios y secundarios de velocidad. También permite el promedio espacial y el suavizado de los datos de velocidad para reducir la variabilidad local y ayudar a discernir los patrones generales de flujo. Asimismo, ésta herramienta también incluye capacidades de trazado completas para representar los datos de "ADCP" en vistas de planta y sección transversal.

La tabla [2.7](#) resume los principales usos de la herramienta "VMT" en estudios de hidráulica fluvial.

TABLA N° 2.7: Principales usos de la herramienta "VMT"

Principales usos	Descripción
Visualización de datos de ADCP	Permite ver los datos recopilados por un perfilador de corriente acústico Doppler (ADCP) de manera gráfica y clara.
Análisis de flujo primario y secundario	Permite analizar el movimiento del agua en un canal o río en términos de su componente principal (flujo primario) y su componente secundario (flujo lateral o turbulento).
Cálculo de variables como la vorticidad	Permite calcular variables hidrodinámicas como la vorticidad, que es una medida de la rotación del fluido.
Determinación de velocidad de corte	Permite determinar la velocidad a la que se desplaza el agua en el fondo del canal o río.
Determinación de la tensión de corte del fondo	Permite determinar la fuerza que ejerce el agua sobre el lecho del canal o río.
Determinación del coeficiente de dispersión longitudinal	Permite determinar la variación de la velocidad del agua en la dirección del flujo, lo que está relacionado con la mezcla de los sedimentos y la distribución de la energía cinética del agua en diferentes partes del canal o río.
Estimación de concentraciones de sedimento suspendido en unidades de decibeles (dB)	Permite estimar la cantidad de sedimentos suspendidos en el agua utilizando la técnica de retrodispersión acústica y expresa dichos resultados en unidades de decibeles (dB).

Nota: Adaptado de Parsons et al. (2013), "Herramienta de Mapeo de Velocidad (VMT): Un conjunto de procesamiento y visualización para mediciones ADCP de embarcaciones en movimiento."

La herramienta "VMT" utiliza diversos métodos para calcular y obtener el patrón de velocidades de flujo. A continuación se detallan los 3 principales métodos usado en estudios de hidráulica fluvial para grandes ríos, como los ríos de la Amazonía peruana.

a) Streamwise and Transverse:

El método "Streamwise and Transverse" es un enfoque comúnmente utilizado para la caracterización de la circulación secundaria y la distribución de velocidades en un canal o río. Este método divide el flujo en dos componentes: una componente a lo largo del eje del canal (streamwise) y una componente transversal (cross-stream). La velocidad a lo largo del eje del canal se define como la velocidad media (" U ") y la velocidad transversal se define como la velocidad de deriva (" V ").

Para calcular la velocidad media (" U "), se promedian todas las velocidades a lo largo de cada línea de corriente. Es decir, se suman todas las velocidades en un segmento de corriente y se dividen por el número de velocidades medidas en ese segmento. La velocidad media se puede calcular usando la ecuación 2.1.

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.1)$$

Donde:

U = Velocidad media

n = Número de velocidades medidas en un segmento de corriente

u_i = Velocidad medida en cada punto i .

La velocidad de deriva (" V ") se puede calcular a partir de la diferencia de la velocidad media a lo largo del canal en dos secciones transversales diferentes, dividida por la distancia entre ellas. Es decir, se toma la diferencia entre la velocidad media en la sección superior y la sección inferior, luego se divide por la distancia entre las dos secciones. La velocidad de deriva se puede calcular utilizando la ecuación 2.2.

$$V = \frac{U_2 - U_1}{L} \quad (2.2)$$

Donde:

V = Velocidad de deriva.

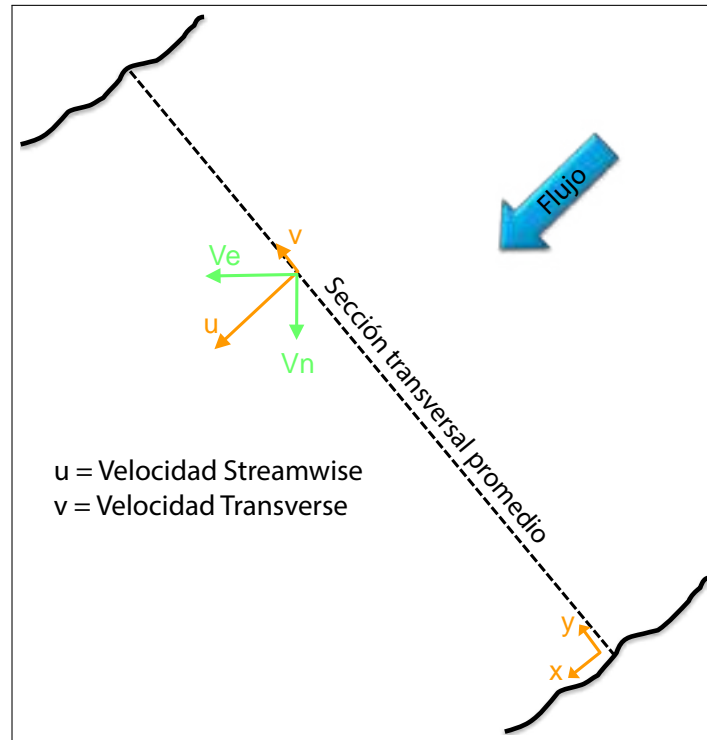
U_1 = Velocidad media en la sección superior.

U_2 = Velocidad media en la sección inferior.

L = Distancia entre las dos secciones.

La componente transversal (" V ") se puede utilizar para caracterizar la circulación secundaria, ya que indica la velocidad y la dirección del flujo transversal al eje del canal. La componente longitudinal (" U ") se utiliza para caracterizar la velocidad media del flujo a lo largo del canal.

La figura 2.14 esquematiza los vectores de velocidad calculados por las ecuaciones 2.1 y 2.2.

FIGURA N° 2.14: *Detalle del método: Streamwise and Transverse*

Nota: Adaptado de Lane (2000), "Células de circulación secundaria en confluencias de canales fluviales: ¿artefactos de medición o estructuras de flujo coherentes?"

b) Primary y secondary (ZSD):

El método de "Zero Net Cross Stream Discharge Definition (ZSD)" se utiliza para determinar el patrón de velocidades de flujo primario y secundario en un río o canal. Este método se basa en la hipótesis de que el caudal medio a través de una sección transversal es cero, lo que significa que la cantidad de agua que fluye hacia un lado de la sección es igual a la cantidad de agua que fluye hacia el otro lado.

Para aplicar el método "(ZSD)" y obtener el patrón de velocidades de flujo primario y secundario, se utilizan los siguientes pasos:

- P1) Selección de sección transversal del río o canal donde se desea medir el patrón de velocidades de flujo.
- P2) Medición de perfil de velocidades del flujo a lo largo de la sección transversal utilizando un ADCP.
- P3) Cálculo de la descarga en cada celda del ADCP utilizando la ecuación 2.3.

$$Q_i = w_i * v_i * d_i \quad (2.3)$$

Donde:

Q_i = Descarga en la celda "i".

w_i = Ancho de la celda "i".

- v_i = Velocidad promedio en la celda "i".
 d_i = Profundidad promedio en la celda "i".

- P4) Suma de las descargas de todas las celdas para obtener la descarga total de la sección transversal, acorde a la ecuación 2.4.

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2.4)$$

Donde:

- n = Número de celdas en el perfil de velocidad.

- P5) Cálculo de línea base de velocidad promedio, V_{base} , a lo largo de la sección transversal utilizando la ecuación 2.5.

$$V_{base} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * v_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.5)$$

- P6) Cálculo de la velocidad neta promedio, V_{net} , a lo largo de la sección transversal utilizando la ecuación 2.6.

$$V_{net} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * |v_i - V_{base}|}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.6)$$

- P7) Cálculo de velocidad primaria promedio, V_{prim} , a lo largo de la sección transversal utilizando la ecuación 2.7.

$$V_{prim} = V_{base} + \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * (v_i - V_{base}) * \cos(\theta_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.7)$$

Donde:

- θ_i = Ángulo entre la dirección de la velocidad y la línea central de la sección transversal.

- P8) Cálculo de velocidad secundaria promedio, V_{sec} , a lo largo de la sección transversal utilizando la ecuación 2.8.

$$V_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * (v_i - V_{prim}) * \sin(\theta_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.8)$$

- P9) Gráfico de velocidad primaria promedio y la velocidad secundaria promedio en función de la distancia desde un punto de referencia a lo largo de la sección

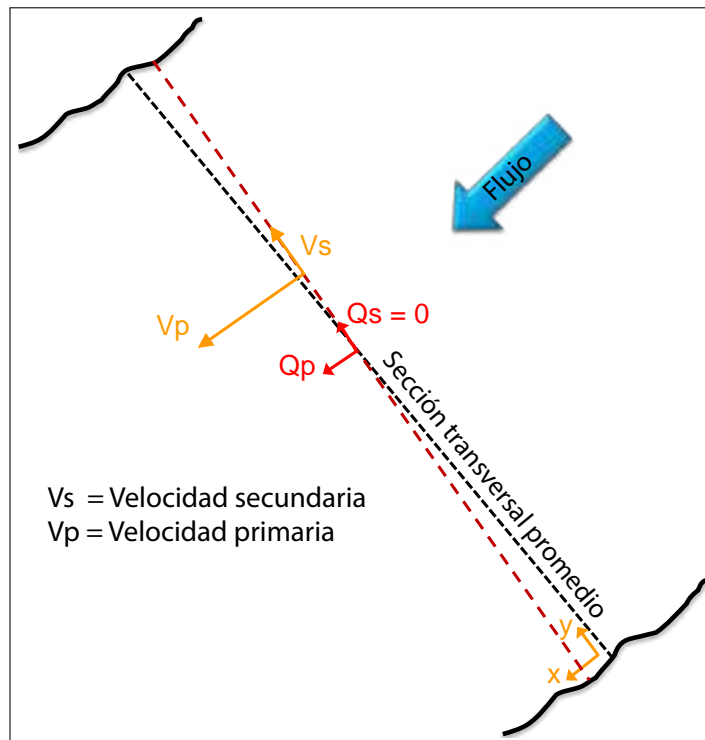
transversal. Estas gráficas representan el patrón de velocidades de flujo primario y secundario a lo largo de la sección transversal.

En resumen, el método "(ZSD)" se utiliza la determinación del patrón de velocidades de flujo primario y secundario en un río o canal. Éste método se basa en la hipótesis de que el caudal medio a través de una sección transversal es cero y se lleva a cabo mediante el cálculo de la descarga en cada celda del perfil de velocidad y la determinación de las velocidades netas, primarias y secundarias promedio a lo largo de la sección transversal.

Estas velocidades obtenidas son utilizadas para graficar el patrón de velocidades de flujo primario y secundario a lo largo de la sección transversal, lo que proporciona información valiosa para la comprensión del comportamiento hidráulico del río o canal.

La figura 2.15 esquematiza los vectores de velocidad calculados por las ecuaciones 2.7 y 2.8.

FIGURA N° 2.15: *Detalle del método: Primary and Secondary (ZSD)*



Nota: Adaptado de Lane (2000), "Células de circulación secundaria en confluencias de canales fluviales: ¿artefactos de medición o estructuras de flujo coherentes?"

c) Primary and Secondary (ROZ):

El método de Rozovskii es un enfoque utilizado para determinar el patrón de velocidades de flujo primario y secundario en un río o canal. Este método se basa en la hipótesis de que las velocidades en el centro de la corriente son aproximadamente iguales a la velocidad media en la sección transversal, lo que permite determinar la velocidad primaria a partir de la medición de la velocidad en el centro de la corriente.

El método de Rozovskii se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera: Para el grupo central, la velocidad primaria " V_p " se puede calcular mediante la ecuación 2.9.

$$V_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.9)$$

Donde:

V_i = Velocidad medida en cada línea perpendicular al flujo.

n = Número de líneas en el grupo central.

Para el grupo periférico, la velocidad primaria " V_p " se puede calcular mediante la ecuación 2.10.

$$V_p = V_{n+1} \quad (2.10)$$

Donde:

V_{n+1} = Velocidad medida en la línea más cercana al grupo central.

La velocidad secundaria " V_s " se puede calcular para cada línea en ambos grupos mediante la ecuación 2.11.

$$V_s = V_i - V_p \quad (2.11)$$

Donde:

V_i = Velocidad medida en la línea perpendicular al flujo.

V_p = Velocidad primaria determinada para ese grupo.

El resultado final es un patrón de velocidades de flujo primario y secundario a lo largo de la sección transversal, que puede ser utilizado para entender el comportamiento hidráulico del río o canal.

En resumen, el método de Rozovskii se basa en la hipótesis de que las velocidades en el centro de la corriente son aproximadamente iguales a la velocidad media en la sección transversal, lo que permite determinar la velocidad primaria a partir de la medición de la velocidad en el centro de la corriente. Este método implica la toma de medidas de velocidad a lo largo de una serie de líneas perpendiculares a la dirección del flujo en una sección transversal del río o canal y proporciona un patrón de velocidades de flujo primario y secundario a lo largo de la sección transversal. [Parsons et al. \(2013\)](#) describe el uso de éste método en la herramienta VMT.

TABLA N° 2.8: Comparación de los principales métodos para determinar el patrón de velocidades primario y secundario

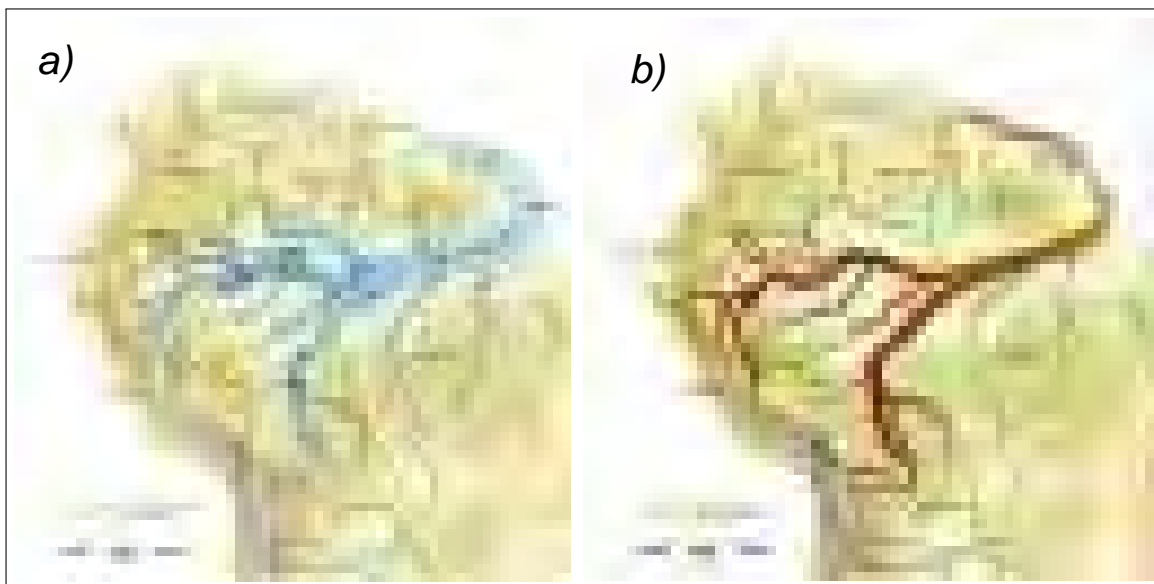
Método	Características	Ventajas	Desventajas
Streamwise and Transverse	Corriente principal y Transversal. La corriente principal se define perpendicular a la sección transversal media. La transversal es paralela a la sección transversal media.	Fácil de implementar, se pueden obtener mediciones precisas de la velocidad de la corriente.	No es adecuado para confluencias y bifurcaciones.
Primary and Secondary (ZSD)	Primario y Secundario (ZSD). No hay descarga secundaria neta para toda la sección transversal. Encuentra componentes de velocidad perpendicular (V_p) y paralela (V_s) a la sección transversal rotada. Mejor para curvas (en general).	Adecuado para curvas y secciones complejas, proporciona mediciones precisas de la velocidad de la corriente.	No es adecuado para confluencias y bifurcaciones.
Primary and Secondary (ROZ)	Primario y Secundario (ROZ). No hay descarga secundaria neta para cada perfil (conjunto). V_s y V_p difieren para cada conjunto. Vuelve a calcular las componentes X e Y de V_p y V_s . Generalmente mejor para confluencias y bifurcaciones.	Adecuado para confluencias y bifurcaciones, proporciona mediciones precisas de la velocidad de la corriente.	Puede ser más complicado de implementar que los otros dos métodos.

Nota: Adaptado de [Parsons et al. \(2013\)](#), "Herramienta de Mapeo de Velocidad (VMT): Un conjunto de procesamiento y visualización para mediciones ADCP de embarcaciones en movimiento." y de [Lane \(2000\)](#), "Células de circulación secundaria en confluencias de canales fluviales: ¿artefactos de medición o estructuras de flujo coherentes?"

2.2.3 Sedimentología

Tradicionalmente la variable más estudiada en los ríos es el agua, sin embargo, el sedimento es un componente importante en la dinámica fluvial y calidad del agua. La sedimentología es el estudio de los sedimentos y su interacción con el medio ambiente, lo que incluye la identificación de los procesos de transporte, deposición y erosión. El sedimento en los ríos es un indicador clave de la calidad del agua, ya que contiene información valiosa sobre los procesos hidrológicos y geológicos que afectan al río. Por lo tanto, es esencial investigar la sedimentología de los ríos para comprender mejor su funcionamiento y así poder tomar medidas efectivas de gestión y conservación de los recursos hídricos. [Goulding, Barthem, y Ferreira \(2003\)](#) nos presenta en las figuras 2.17a y 2.17b el aporte de agua y sedimentos de toda la cuenca amazónica, también nos indica que la dinámica de los ríos está influenciada por éstos 2 parámetros. Asimismo, en la figura 2.17 podemos observar que la mayor parte de aporte de sedimentos del río Amazonas proviene de su cabecera de cuenca lo cual es originado en la zona andina de Perú y Bolivia ([Armijos et al., 2013](#)).

FIGURA N° 2.17: *Aporte de agua y sedimentos en la cuenca amazónica*



Nota: Adaptado de [Goulding et al. \(2003\)](#), "Atlas Smithsonian del Amazonas"

2.2.3.1 Ciclo sedimentológico

[García \(2008\)](#) en el capítulo 2 del libro *“Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica”*; nos indica que el ciclo de sedimentos tiene su inicio en el proceso de erosión, dicho proceso consiste en la degradación del material rocoso proveniente de la parte alta de la cuenca. Los factores que contribuyen a la erosión del sedimento son: el agua, viento, glaciares y actividades antrópicas (deforestación, ganadería y agricultura).

Asimismo menciona que sedimento fluvial es el término utilizado para describir el caso donde el agua es el principal agente de erosión. A comparación de la erosión natural o geológica que ocurre lentamente durante periodos de tiempos muy largos (siglos o milenios),

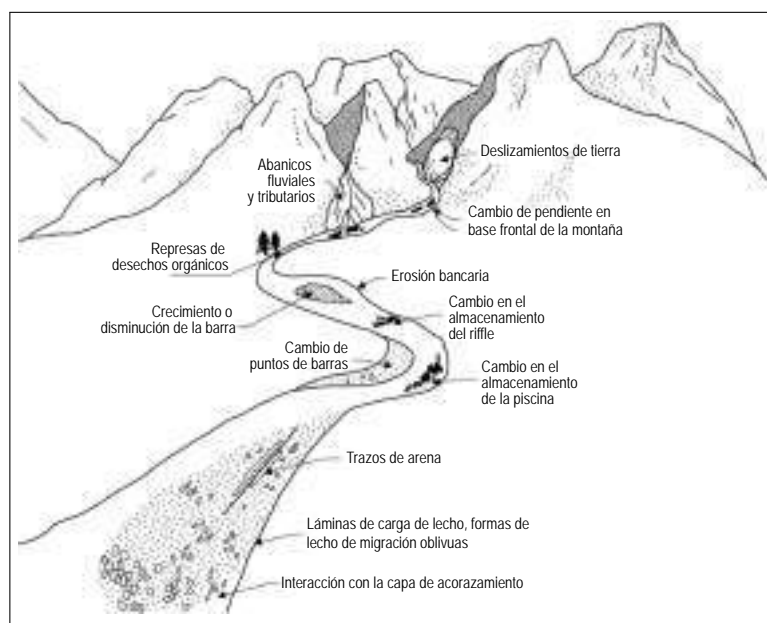
la erosión producto de las actividades antrópicas puede ocurrir en periodos muy cortos (días, meses o años). Por eso su importancia de considerar dichos factores al estudiar el transporte de sedimentos.

Nos menciona también de la dinámica sedimentaria en el medio ambiente y sus consecuencias morfológicas las cuales son esquematizadas en la figura 2.18 y que del podemos observar que cualquier material que sea erosionado está listo para ser transportado. Garcia (2008) también nos dice que el proceso de transporte de sedimentos se inicia en la superficie terrestre cuando las gotas de lluvias generan erosión de la superficie. Éstos sedimentos erosionados son transportados por riachuelos, quebradas, arroyos y ríos, los cuales actúan como conductos, favoreciendo así el transporte de sedimentos.

Adicionalmente menciona que cuanto mayor sean los flujos líquidos presentes en una cuenca, mayor será la capacidad de transporte de sedimentos. Asimismo, el transporte masivo de sedimentos puede ocurrir también por deslizamiento de tierras, erosión de márgenes o activación de quebradas; todo esto como consecuencia de aumento de precipitación, escorrentía o actividades antrópicas. También es importante mencionar que el flujo extraordinario proveniente de activación de quebradas puede significar un aporte de grandes cantidades de sedimento en cortos periodos de tiempo.

Finalmente menciona que la deposición es el proceso final del ciclo del transporte de sedimentos y que esto se produce cuando el río no tiene la capacidad de transportar determinados sedimentos, y como consecuencia se presentan zonas de deposición como llanuras de inundación, barras, islas y deltas.

FIGURA N° 2.18: *Ciclo sedimentológico y cambios morfológicos asociados en una cuenca hidrográfica*



Nota: Adaptado de Garcia (2008), "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 2, p. 23).

2.2.3.2 Clasificación de sedimentos suspendidos

[García y Maza \(1998\)](#) en el Manual de Ingeniería de Ríos (Cap. 7). UNAM., clasifica los sedimentos en cohesivos y no cohesivos, ésta clasificación la realiza por su resistencia al transporte y su comportamiento durante su transporte .

Asimismo, el [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#) a partir de estudios realizados de sedimentología en ríos de Amazonía peruana, ratifica que los sedimentos suspendidos se clasifican principalmente en 2 grandes grupos (cohesivos y no cohesivos), dicha ratificación es obtenida a partir de resultados medidos de distribución granulométrica y concentración de sedimentos suspendidos a lo largo del ancho y profundidad de las secciones de estudio de los ríos Huallaga, Ucayali, Marañón y Amazonas.

La figura 2.19 esquematiza la distribución en profundidad de sedimentos cohesivos tanto para ríos de origen amazónico (poca carga sedimentaria) como para ríos de origen andino (alta carga sedimentaria); dicha figura también nos muestra como se presenta la distribución en profundidad de sedimentos no cohesivos.

FIGURA N° 2.19: *Clasificación de sedimentos suspendidos*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 184).

a) Cohesivos:

[Winterwerp y Van Kesteren \(2004\)](#) nos mencionan que el término "sedimento cohesivo" generalmente se asocia con sedimentos pegajosos, fangosos, apestosos y a veces gaseosos. Y que el adverbio "cohesivo" se relaciona con el comportamiento dúctil. Entre los sedimentos de ésta categoría están las partículas de arcillas y limo. Las cuales están unidas por la fuerza de cohesión, lo cual les permite ser transportados sin presentar erosión debido a que resiste las fuerzas de arrastre y sustentación causadas por el flujo del agua.

b) No Cohesivos:

Winterwerp y Van Kesteren (2004) nos mencionan que el sedimento no cohesivo se refiere a sedimentos sueltos o partículas sedimentarias que no se adhieren fuertemente entre sí, como la arena y grava. Estas partículas pueden ser fácilmente transportadas por el agua o el viento debido a su baja cohesión y pueden estar sujetas a procesos de erosión y sedimentación.

2.2.3.3 Caracterización de las propiedades de los sedimentos

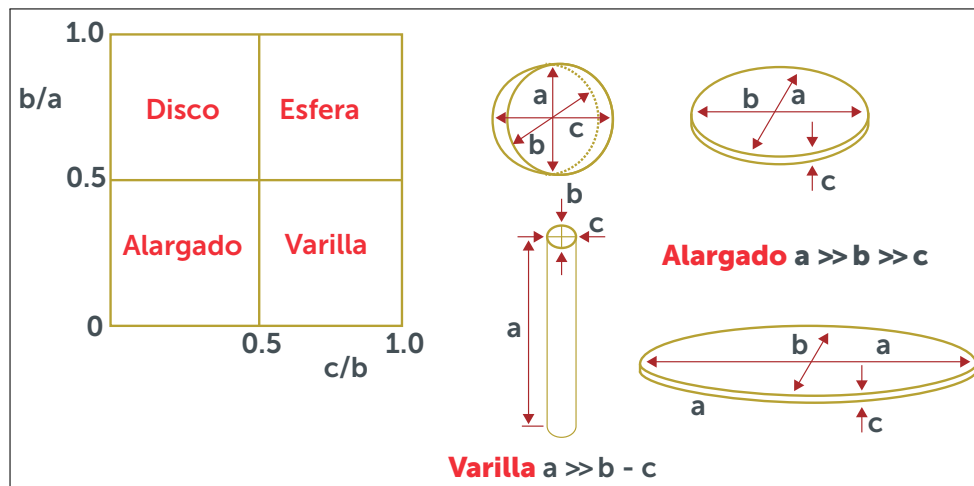
a) Caracterización por forma:

Una forma fácil de caracterización de la forma del sedimento es usar las longitudes de los ejes mayor, intermedio y menor (a, b y c respectivamente). Uno de los métodos más fáciles de clasificación de sedimentos es el esquema de Zingg (1935) el cual es presentado por la figura 2.20 y lo cual nos muestra lo siguiente:

- La partícula es esférica si:
 $a = b = c$
- La partícula tiene forma de disco si:
 $c \ll a = b$
- La partícula tiene forma alargada si:
 $c \ll b \ll a$
- La partícula tiene forma de varilla si:
 $c \& b \ll a$

Zingg (1935) nos menciona también que la forma de las partículas influye en la velocidad de sedimentación lo cual puede afectar el arrastre, deposición y transporte de sedimentos. Asimismo, menciona que las partículas propias del lecho de río que sufren transporte fluvial tienen tendencia a ser redondeados debido al proceso de degradación; mientras que las partículas que son aportadas por quebradas tienden a ser angulosas.

FIGURA N° 2.20: Clasificación de forma de sedimento



Nota: Adaptado de [García \(2008\)](#), "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 2, p. 40).

b) Caracterización por tamaño de partícula:

La caracterización por tamaño de partícula es una técnica fundamental en sedimentología para determinar la composición granulométrica de las muestras de sedimento. [Basile \(2018\)](#) nos menciona que la escala sedimentológica de Udden-Wentworth es una de las escalas más utilizadas para clasificar los sedimentos según su tamaño de partícula. Esta escala divide los sedimentos en diferentes clases, desde los más finos (arcilla y limo) hasta los más gruesos (arena y grava), en función de su tamaño de partícula. La caracterización por tamaño de partícula es esencial para comprender la dinámica sedimentaria y los procesos geológicos que han intervenido en la formación de los depósitos sedimentarios. Además, esta técnica es útil en diversas áreas, como la exploración de recursos minerales, la gestión de recursos hídricos y la evaluación del impacto ambiental.

[García \(2008\)](#) en libro de "Ingeniería de sedimentación; procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 2, pp. 37-39) nos dice que una variedad de sedimentos típicamente son caracterizados por distribución del tamaño de grano, el cual se representa en función de distribución $P(D)$ y función distribución acumulativa $P_f(D)$ tal como se evidencia en la figura 2.21a. Otra forma de expresar la distribución de tamaños de grano es mediante la escala " Φ " lo cual se evidencia en la figura 2.21b; asimismo dicha escala es representada por la ecuación 2.12

$$\Phi = -\frac{1}{\log_{10}(2)} \log_{10}(D) \quad (2.12)$$

Donde:

D = Tamaño de partículas (mm)

Φ = Escala sedimentológica de Udden-Wentworth

A partir de la ecuación 2.12 y considerando un diámetro característico x podemos definir la ecuación 2.13

$$D_x = 2^{-\Phi_x} \quad (2.13)$$

Donde:

D_x = Tamaño de grano en el que " x " es el " $x\%$ " del material en el que el material de muestra es más fino que ese tamaño.

Los diámetros característicos D_{50} y D_{90} son medidas utilizadas en la caracterización de sedimentos fluviales. El D_{50} (también conocido como tamaño medio) es el diámetro correspondiente al 50% de la distribución acumulativa de tamaño de partícula, es decir, la mitad de las partículas son más grandes y la otra mitad son más pequeñas que este tamaño. El D_{90} (también conocido como tamaño de grano grueso) es el diámetro correspondiente al 90% de la distribución acumulativa de tamaño de partícula, es decir, solo el 10% de las partículas son más grandes que este tamaño. Ambos diámetros son útiles en la comprensión de la composición y el comportamiento de los sedimentos fluviales. Éstos diámetros característicos son generalmente usados para caracterizar el transporte y rugosidad de lecho.

La densidad " $p(\Phi)$ " se puede utilizar para obtener momentos estadísticos. De éstos, los más útiles son el tamaño medio " Φ_m " y la desviación estándar " σ ".

$$\Phi_m = \int \Phi p(\Phi) d\Phi \quad (2.14)$$

$$\sigma^2 = \int (\Phi - \Phi_m)^2 p(\Phi) d\Phi \quad (2.15)$$

El diámetro geométrico medio correspondiente " D_g " y la desviación estándar geométrica " σ_g " se dan como:

$$D_g = 2^{\Phi_m} \quad (2.16)$$

$$\sigma_g = 2^\sigma \quad (2.17)$$

Se debe tener en cuenta que para una distribución uniforme se debe cumplir que $\sigma = 0$ y $\sigma_g = 1$. Si $\sigma_g < 1.3$, se considera los sedimentos están mal clasificadas y se trata de una muestra uniforme. Si $\sigma_g > 1.6$ se considera que la muestra está mal ordenada.

En la práctica, la función distribución debe construirse para tamaños específicos de granos. Es decir, el rango de tamaños se discretiza en " n " intervalos delimitados por

" $n + 1$ " tamaños de partículas " $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{n+1}$ ". Como resultado de ésta clasificación, el tamaño medio y la desviación estándar se calculan con las ecuaciones 2.18 y 2.19 respectivamente.

$$\Phi_m = \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i p_i \quad (2.18)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (\bar{\Phi}_i - \Phi_m)^2 p_i \quad (2.19)$$

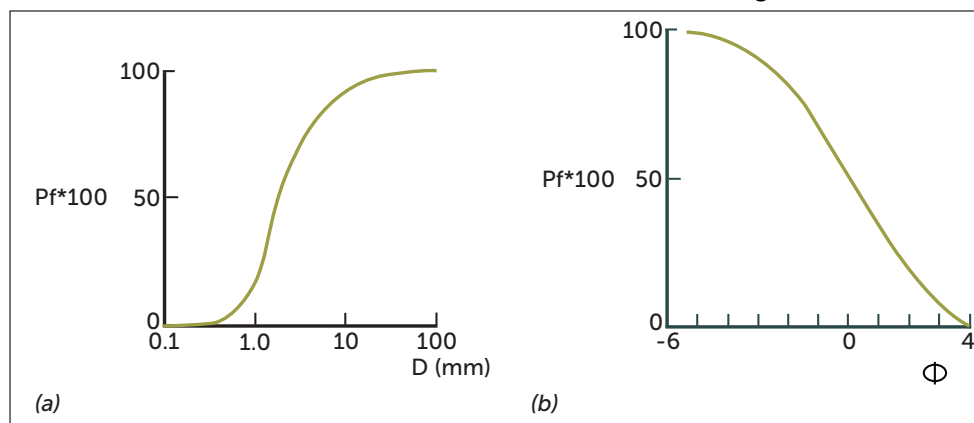
donde:

$$\bar{\Phi}_i = \frac{1}{2}(\Phi_i + \Phi_{i+1}) \quad (2.20)$$

$$p_i = p_f(\Phi_i) - p_f(\Phi_{i+1}) \quad (2.21)$$

Los sedimentos pueden ser clasificados según su tamaño. Por ejemplo las partículas mayores a 256 mm se definen como canto rodad y las de tamaño entre 0.0625 mm y 2 son arenas. La clasificación detallada respecto a su distribución de tamaños y escala sedimentológica de Udden-Wentworth " Φ " son resumidas en la tabla 2.9

FIGURA N° 2.21: *Distribución de tamaño de grano*



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 299).

TABLA N° 2.9: *Escala sedimentológica de Udden-Wentworth*

Denominación	d (mm)	Φ	d (μm)
Cantos rodados muy grandes	4096 - 2048	-12 a -11	
Cantos rodados grandes	2048 - 1024	-11 a -10	
Cantos rodados medianos	1024 - 512	-10 a -9	
Cantos rodados pequeños	512 - 256	-9 a -8	
Guijarros grandes	256 - 128	-8 a -7	
Guijarros pequeños	128 - 64	-7 a -6	
Grava muy gruesa	64 - 32	-6 a -5	
Grava gruesa	32 - 16	-5 a -4	
Grava mediana	16 - 8	-4 a -3	
Grava fina	8 - 4	-3 a -2	
Grava muy fina	4 - 2	-2 a -1	
Arena muy gruesa	2 - 1	-1 a 0	
Arena gruesa	1 - 1/2	0 a 1	
Arena mediana	1/2 - 1/4	1 a 2	
Arena fina	1/4 - 1/8	2 a 3	
Arena muy fina	1/8 - 1/16	3 a 4	125 - 62.50
Limo grueso	1/16 - 1/32	4 a 5	62.50 - 31.30
Limo mediano	1/32 - 1/64	5 a 6	31.30 - 15.60
Limo fino	1/64 - 1/128	6 a 7	15.60 - 7.80
Limo muy fino	1/128 - 1/256	7 a 8	7.80 - 3.90
Arcilla gruesa	1/256 - 1/512	8 a 9	3.90 - 1.95
Arcilla mediana	1/512 - 1/1024	9 a 10	1.95 - 0.98
Arcilla fina	1/1024 - 1/2048	10 a 11	0.98 - 0.49
Arcilla muy fina	1/2048 - 1/4096	11 a 12	0.49 - 0.24

Nota: Adaptado de Basile (2018), "Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales" (cap. 3, p. 109).

2.2.3.4 Tipos de transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos es uno de los procesos más importantes en la dinámica de los ríos y su estudio es fundamental para entender la geomorfología fluvial. Los ríos transportan una gran cantidad de sedimentos en suspensión y como carga de fondo, esto es lo que comúnmente se conoce como carga de lavado, carga suspendida y carga de fondo.

La cantidad de sedimentos transportados en un río depende de varios factores hidráulicos como la velocidad del agua, profundidad, pendiente de fondo y forma de las partículas de sedimento. Además, la carga de sedimentos puede tener un efecto importante en la hidráulica fluvial ya que puede afectar la morfología del cauce y la dinámica del flujo.

El estudio del transporte de sedimentos es fundamental para comprender los procesos de erosión y sedimentación en los ríos, así como para la gestión adecuada de los recursos hídricos. Por lo tanto, es importante considerar el transporte de sedimentos en cualquier estudio hidráulico o de ingeniería fluvial.

García (2008) en el libro "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 2, p. 60). nos menciona que existen dos formas comunes de clasificar la carga de sedimentos tal como se muestra en la tabla 2.10.

- a) La primera forma, divide la carga de sedimentos según el mecanismo de transporte en carga de fondo y carga suspendida.
- b) La segunda forma, clasifica la carga según el tamaño de partícula en carga de lavado y carga de sedimento de fondo.

A continuación se detalla las 3 principales cargas de sedimentos que conforman la carga total de sedimentos.

- La carga de lavado, se refiere a la fracción más fina de los sedimentos que se mueve en suspensión en la columna de agua.
- La carga suspendida, se refiere a la fracción de sedimentos que flota en el agua y se mueve con la corriente sin tocar el fondo.
- La carga de fondo, se refiere a la fracción más pesada de los sedimentos que se mueve rodando o saltando a lo largo del lecho del río en el caso de ríos de montaña y como desplazamiento de dunas en el caso de ríos de lecho de arena como los existentes en Amazonía.

La tasa de transporte de carga de lavado tiende a no estar correlacionada con el caudal. Mientras que la descarga de sedimento de fondo, tanto en suspensión como en forma de carga de fondo, generalmente se correlaciona con el caudal.

La carga total de sedimentos está compuesta por la carga de lavado, carga suspendida del material de fondo y carga de fondo.

TABLA N° 2.10: *Clasificación de carga de sedimentos*

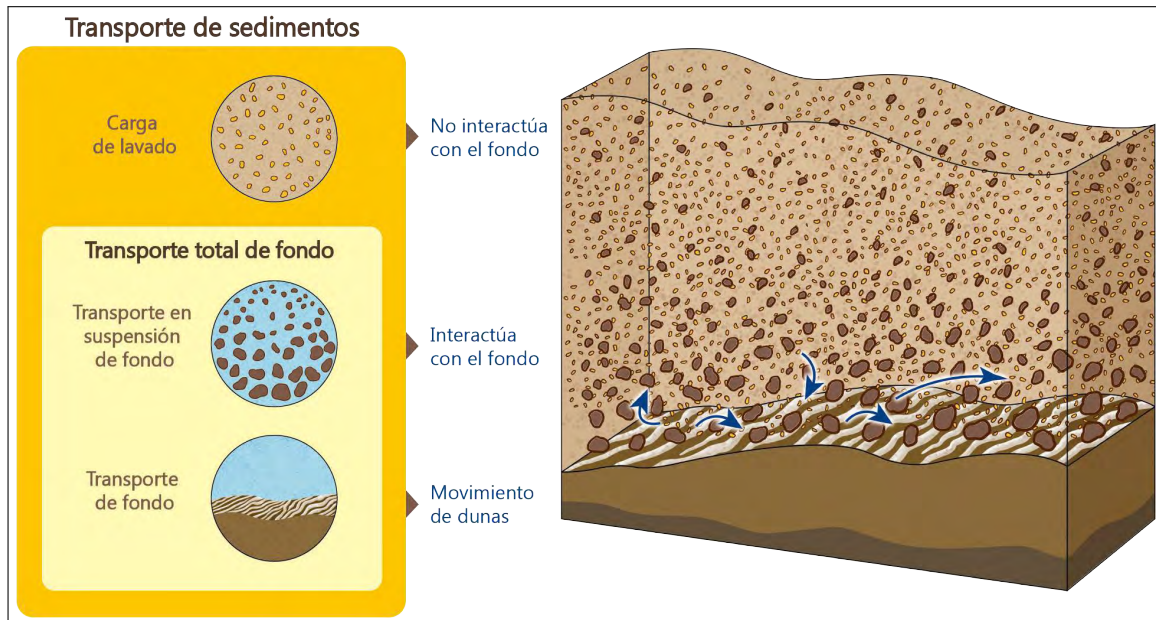
Carga total de sedimentos	Clasificación	
	Por mecanismo de transporte	Por tamaño de partícula
Carga de lavado	Carga suspendida	Carga de lavado
Carga de material de fondo en suspensión	Carga suspendida	Carga de material de fondo
Carga de fondo	Carga de fondo	Carga de material de fondo

Nota: Adaptado de Garcia (2008), "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (cap. 2, p. 60).

Adicionalmente se presenta la figura 2.22 el cual nos muestra los 3 tipos de transporte de sedimentos según la clasificación de partícula mencionado en la tabla 2.10. Cabe

mencionar que dicha esquematización es para el caso de transporte de sedimentos en Amazonia, donde el lecho de fondo está compuesto principalmente por arena y el transporte de fondo se presenta en forma de desplazamiento de dunas.

FIGURA N° 2.22: *Tipos de transporte de sedimentos*



Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 185).*

2.2.3.5 Técnicas para caracterización de sedimentos

a) Análisis por tipo de sedimentos:

La cuantificación espacial de diámetros y concentración de sedimentos fluviales es fundamental en la hidráulica fluvial e ingeniería de sedimentos. Esto se debe a que los sedimentos son uno de los factores más importantes en la dinámica de los ríos, ya que influyen en el transporte de agua, forma y estabilidad del lecho.

En términos de hidráulica fluvial, la cuantificación espacial de diámetros y concentración de sedimentos se utiliza para entender cómo se distribuyen los sedimentos a lo largo del río. Asimismo nos permite determinar la influencia del flujo primario y secundario.

En la ingeniería de sedimentos, la cuantificación espacial de diámetros y concentración de sedimentos se utiliza para diseñar estructuras de control de sedimentos. El conocimiento de la distribución espacial de los sedimentos nos permite la adecuada gestión, manejo y proyección de infraestructura sobre el cauce del río.

En resumen, la cuantificación espacial de diámetros y concentración de sedimentos fluviales es esencial tanto en la hidráulica fluvial como en la ingeniería de sedimentos.

A continuación la tabla 2.11 nos muestra los tipos de análisis por cada tipo de sedimentos.

TABLA N° 2.11: *Análisis por cada tipo de sedimentos*

Tipo de muestra	Tipos de análisis	
	Habituales	Otros
Material de fondo	Distribución de frecuencias de tamaños de granos que componen la muestra (distribución granulométrica)	<ul style="list-style-type: none"> - Peso específico - Composición mineralógica - Morfometría de granos (forma, redondez, etc) - Cantidad de materia orgánica - Concentración de sólidos disueltos
Carga de fondo	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución granulométrica - Contenido de arena 	
Sedimento en suspensión	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido de sedimentos (concentración) - Distribución granulométrica 	

Nota: Adaptado de las clases del curso de Ingeniería de Sedimentos dictado por el PhD. Ricardo Szupiany en la "Maestría de Investigación en Ingeniería Civil con Certificación en Ciencias e Ingeniería del Agua", Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC (Ciclo 2021-II).

b) Tipo de método para obtención de distribución granulométrica:

La tabla 2.12 nos presenta los principales tipos de análisis para obtener la distribución granulométrica de sedimentos.

TABLA N° 2.12: *Tipos de análisis para obtención de la distribución granulométrica*

Tipo de método	Denominación de las técnicas	Fracción sedimentológica a la que se aplican
Directos	- Desplazamiento de volumen por inmersión - Medición directa de "Φ" o de la circunferencia	- Cantos rodados - Guijarros - Algunos tipos de gravas
Semidirectos	Tamizado	- Gravas mas finas - Arenas
Sedimentacion	- Pipeta - Tubo de acumulación visual - Tubo de extracción de fondo - Hidrómetro	- Arenas medias, finas y muy finas - Limos - Arcillas
Ópticos	Espectrometría por difracción láser	Arenas (2 mm) a coloides (0.02 μm)

Nota: Adaptado de las clases del curso de Ingeniería de Sedimentos dictado por el PhD. Ricardo Szupiany en la "Maestría de Investigación en Ingeniería Civil con Certificación en Ciencias e Ingeniería del Agua", Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC (Ciclo 2021-II).

c) Cantidad de muestra necesaria para análisis de sedimento suspendidos:

La determinación de la cantidad de muestra necesaria para análisis de sedimentos suspendidos es importante por varias razones:

- La cantidad de muestra necesaria para análisis de sedimentos suspendidos afecta directamente la precisión y la confiabilidad de los resultados de laboratorio. Si la muestra es demasiado pequeña, los resultados pueden no ser representativos de la concentración de sedimentos en el río. Por otro lado, si la muestra es demasiado grande, esto puede ser costoso y llevar más tiempo para analizarla.
- La cantidad de muestra necesaria para análisis de sedimentos suspendidos también puede variar según las condiciones hidrológicas del río. Por ejemplo, durante una inundación, puede ser necesario tomar una cantidad mayor de muestra debido al aumento de la concentración de sedimentos.

La tabla 2.13 nos presenta la cantidad de muestra necesaria para cada análisis de sedimentos suspendidos.

TABLA N° 2.13: Cantidad de muestra necesaria por cada método de análisis

Método de análisis	Rango de tamaños recomendados (mm)	Rango deseable de concentración (mg/l)	Rango óptimo de cantidad de sedimento (g)
Tamizado	0.062 - 32	-	0.05 ^(a)
TAV ^(b)	0.062 - 2	-	0.05 - 15
Pipeta	0.002 - 0.062	2000 - 5000	1.0 - 5.0
TEF ^(c)	0.002 - 0.062	1000 - 3500	0.5 - 1.8
Hidrómetro	0.075 - 0.001	-	30 - 60
Difracción láser	0.5 - 0.00002	-	Se utiliza alicuota de la muestra ^(d)

(a) Basado en el uso de tamices de 7.5 cm de diámetro y $d_{50} \leq 0.5$ mm
(b) TAV: Tubo de acumulación visual
(c) TEF: Tuvo de extracción de fondo
(d) El peso de la alicuota se recomienda de acuerdo al modelo del equipo que se utilice. Se genera una dispersión del sedimento en agua destilada, en cantidad acorde a las condiciones de diseño del equipo

Nota: Adaptado de las clases del curso de Ingeniería de Sedimentos dictado por el PhD. Ricardo Szupiany en la "Maestría de Investigación en Ingeniería Civil con Certificación en Ciencias e Ingeniería del Agua", Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC (Ciclo 2021-II).

- d) Ventajas y desventajas de los principales métodos para obtención de concentración de sedimentos suspendidos:

La tabla 2.14 nos presenta un resumen de las ventajas y desventajas de los principales métodos existentes de obtención de concentración de sedimentos suspendidos.

TABLA N° 2.14: *Ventajas y desventajas de los principales métodos para determinar la concentración de sedimentos suspendidos*

Método de análisis	Ventajas	Desventajas
Filtrado	<ul style="list-style-type: none"> • Es más rápido que el método de evaporación, especialmente con concentraciones bajas. • No exige la corrección por sales disueltos. 	<p>Se pueden tapar los filtros para concentraciones muy elevadas de sedimentos. Se aconseja su utilización cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $C < 2000$ mg /l (sedimentos en suspensión compuestos fundamentalmente por limos y arcillas). • $C > 10000$ mg /l (sedimentos en suspensión compuestos fundamentalmente por arenas). <p>Se pierde el material muy fino con el agua de filtrado. En casos en que hay presentes bajas concentraciones de sedimento con altos porcentajes de arcillas, la incidencia de los errores puede ser importante.</p>
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos y técnicas empleados son mucho más simples que en el método de filtrado. • No se pierde nada del material presente en la muestra, si el tiempo de sedimentación es suficiente. • Se adapta muy bien para concentraciones elevadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso que la concentración de sólidos disueltos sea elevada, es necesario evaluar su peso en el agua remanente. Se presenta entonces una necesidad de análisis adicional de concentración de sólidos disueltos en el agua sobrenadante. • La presencia de arcillas coloidales puede volver poco práctico el método a causa de los procesos especiales necesarios para lograr la floculación. • Pueden producirse pérdidas inadvertidas de partículas al extraer el líquido sobrenadante. • Para concentraciones bajas, se presentan los mismos errores por adsorción de humedad ambiente que en el método de filtrado. Valen los mismos conceptos mencionados en este sentido.

Nota: Adaptado de las clases del curso de Ingeniería de Sedimentos dictado por el PhD. Ricardo Szupiany en la "Maestría de Investigación en Ingeniería Civil con Certificación en Ciencias e Ingeniería del Agua", Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC (Ciclo 2021-II).

2.2.4 Régimen de lluvia

El régimen de lluvia es un concepto fundamental en la hidrología e hidráulica fluvial, ya que influye significativamente en la dinámica de los sedimentos en los ríos (Ayes Rivera, Callau Poduje, et al., 2019). En particular, la cantidad y distribución de la lluvia en una cuenca hidrográfica afecta directamente la cantidad de agua que fluye en los afluentes principales, lo que a su vez afecta al cauce principal del río (Noriega, 2018). La lluvia también influye en la morfología del río, ya que la velocidad del agua y su capacidad de transporte de sedimentos dependen de la cantidad de agua que fluye (Armijos et al., 2017).

El cambio en el régimen de lluvia tienen un impacto directo en la dinámica de los sedimentos. Por ejemplo, la lluvia más intensa aumenta la erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca (Armijos et al., 2020; Ayes Rivera, Armijos Cardenas, et al., 2019). Además, los índices de agua subterránea y lluvias extremas también influyen en las concentraciones de sedimentos (Ayes Rivera, Callau Poduje, et al., 2019). Estos cambios se deben a la variabilidad de la lluvia lo cual tiene un impacto significativo en las concentraciones de sedimentos suspendidos (Berbery y Collini, 2000). El régimen de lluvia es un factor clave en la dinámica fluvial de los sedimentos, ya que durante la temporada de lluvias, los afluentes principales que tienen un régimen de lluvia similar a la cuenca hidrográfica del cauce principal pueden aportar grandes cantidades de sedimentos, lo que puede afectar significativamente la dinámica de los sedimentos del río (da Motta Paca, Espinoza-Dávalos, Moreira, y Comair, 2020; Molina-Carpio et al., 2017; Nobre et al., 2016; Noriega, 2018; Pepin et al., 2013; Restrepo, Kettner, y Syvitski, 2015). Este fenómeno se ve especialmente en ríos que atraviesan zonas montañosas con una gran cantidad de afluentes, ya que la erosión de las montañas puede provocar un gran aporte de sedimentos en el cauce principal del río durante la temporada de lluvias (Damme et al., 2019; Pettitt, 1979; Satgé, Ruelland, Bonnet, Molina, y Pillco, 2019; Segura et al., 2020).

La influencia del régimen de lluvia en la dinámica de sedimentos del cauce principal de un río es especialmente importante en cuencas hidrográficas con múltiples afluentes principales que aportan diferentes cantidades de sedimentos con diferentes tamaños, formas y características (da Motta Paca et al., 2020; Molina-Carpio et al., 2017; Noriega, 2018). Además, esta influencia puede variar dependiendo de la geología y topografía de la cuenca hidrográfica, ya que en cuencas hidrográficas con suelos menos compactos y topografía más inclinada, la cantidad de sedimentos transportados por el río durante la temporada de lluvias puede ser mayor que en cuencas hidrográficas con suelos más compactos y topografía menos inclinada (Molina et al., 2008).

En resumen, el régimen de lluvia es un factor clave en la hidrología, hidráulica fluvial y sedimentología de los ríos, ya que afecta directamente la cantidad y características de los sedimentos que fluyen en el cauce principal del río (Damme et al., 2019; da Motta Paca et

al., 2020; Molina-Carpio et al., 2017; Nobre et al., 2016; Noriega, 2018; Pepin et al., 2013; Pettitt, 1979; Restrepo et al., 2015; Satgé et al., 2019; Segura et al., 2020). Por lo tanto, la comprensión del régimen de lluvia es crucial para entender la dinámica de los ríos y procesos de transporte de sedimentos.

2.2.4.1 Uso de modelos de precipitación para obtención de régimen de lluvia:

Los modelos de precipitación son una herramienta útil para determinar el régimen de lluvia en una cuenca. Estos modelos permiten generar mapas y series de tiempo de precipitación, lo cual permite analizar la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una cuenca y comprender mejor su hidrología (A. Dai, Giorgi, y Trenberth, 1999; Huffman et al., 2007; Tang, Clark, Papalexiou, Ma, y Hong, 2020).

Entre los principales modelos de precipitación que se pueden utilizar para determinar el régimen de lluvia de una cuenca se encuentran PISCO, CHIRPS, TRMM, GPCP, MERRA-2, ERA5 y MODIS (Adler et al., 2018; Aybar Camacho et al., 2017; Dinku et al., 2018; Huffman et al., 2007; Justice et al., 2002; Muñoz-Sabater et al., 2021; Reichle et al., 2017; Tang et al., 2020). Estos modelos presentan diversas ventajas y desventajas, por ejemplo, algunos tienen una alta resolución tanto espacial como temporal, lo que permite detectar con mayor precisión el patrón de precipitaciones. Otros modelos, en cambio, cuentan con una resolución más baja, pero abarcan áreas geográficas más extensas.

Los modelos de precipitación también tienen limitaciones, como la falta de estaciones meteorológicas en algunas áreas, lo que puede afectar la precisión de los datos (Behrangi, Yin, Rajagopal, Stampoulis, y Ye, 2018). Además, los modelos de precipitación pueden tener dificultades para representar fenómenos meteorológicos extremos, como eventos de lluvia intensa o sequías prolongadas (Beck et al., 2017; G. Chen, Lan, Zeng, Pan, y Li, 2018).

En general, el uso de modelos de precipitación para determinar el régimen de lluvia areal de las cuencas afluentes puede proporcionar información valiosa para la gestión del agua y la prevención de riesgos hidrológicos (G. Chen et al., 2018; X. Chen, Long, Hong, Zeng, y Yan, 2017; A. Dai et al., 1999; Huffman et al., 2007). Los modelos de precipitación pueden ser utilizados para generar información en tiempo real (Kidd y Huffman, 2011; Kummerow, Barnes, Kozu, Shiue, y Simpson, 1998; Kummerow et al., 2000), lo que puede ser útil para la toma de decisiones en situaciones de emergencia. También pueden ser utilizados para generar información a largo plazo (Behrangi et al., 2018; Berghuijs, Woods, y Hrachowitz, 2014; Hou et al., 2014; Kirschbaum et al., 2017), lo cual permite analizar la variabilidad climática y comprender mejor los patrones de precipitación en una cuenca.

En conclusión, el uso de modelos de precipitación para determinar el régimen de lluvia areal de las cuencas afluentes es una herramienta útil para entender la hidrología de una cuenca y la dinámica de los sedimentos en el río (Beck et al., 2017, 2019; (C3S), 2017; Ciabatta et al., 2018). Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones de los

modelos de precipitación y evaluar cuidadosamente la precisión y la calidad de los datos (Deng, Pepin, y Chen, 2017; Ke, Yu, Yu, Tang, y King, 2009), para así evitar decisiones erróneas en la gestión del agua y prevención de riesgos hidrológicos.

La tabla 2.15 nos presenta un resumen de las características de los principales modelos de precipitación existentes.

TABLA N° 2.15: *Características de los principales modelos de precipitación*

Modelo	Descripción	Área de Cobertura	Resolución Espacial	Resolución Temporal	Datos de Entrada	Método de Estimación	Referencia
PISCO	Producto gridded de precipitación basado en datos de estaciones meteorológicas y satelitales.	Perú.	5 km.	Diaria.	Datos de estaciones meteorológicas, TRMM y MODIS.	Métodos estadísticos y geoespaciales.	Aybar Camacho et al. (2017)
CHIRPS	Precipitación estimada utilizando una combinación de datos satelitales de infrarrojos y pasivos, y estaciones meteorológicas.	Global tropical y subtropical.	0.05 grados (~5 km).	Diaria.	Datos de infrarrojos, pasivos y estaciones meteorológicas.	Interpolación basada en análogos y ponderación de estaciones meteorológicas.	Dinku et al. (2018)
TRMM	Análisis de precipitación a escala global que combina datos de varios satélites en una sola capa de precipitación.	Global.	0.25 grados (~25 km).	3 horas.	Datos de múltiples satélites.	Combinación de múltiples sensores, calibración cruzada y corrección de errores de medición.	Huffman et al. (2007)
GPCP	Análisis combinado de múltiples fuentes de datos de precipitación, incluyendo satélites y estaciones meteorológicas.	Global.	1 grado (~100 km).	Mensual.	Datos de satélite, estaciones meteorológicas y análisis climáticos.	Estimación basada en ponderación de múltiples fuentes de datos y análisis climático.	Adler et al. (2018)
MERRA-2	Modelo global de reanálisis que integra datos de observaciones satelitales y estaciones meteorológicas con un modelo meteorológico de vanguardia.	Global.	0.5 grados (~50 km).	Horaria.	Datos de observaciones satelitales y estaciones meteorológicas.	Modelo meteorológico asimilado por filtro de Kalman extendido.	Reichle et al. (2017)
ERA5	Modelo global de reanálisis que combina observaciones satelitales y estaciones meteorológicas con un modelo meteorológico de vanguardia.	Global.	0.1 grados (~10 km).	Horaria.	Datos de observaciones satelitales y estaciones meteorológicas.	Modelo meteorológico asimilado por filtro de Kalman extendido.	Muñoz-Sabater et al. (2021)
MODIS	Satélite de la NASA que registra información sobre la Tierra, incluyendo la precipitación	Global	1 km	Diario	Radiometría, datos satelitales	Algoritmos de detección de incendios y evaporación, combinados con mediciones de precipitación en tierra	(Justice et al., 2002)

Nota: *Elaboración propia*

2.2.5 Hiroacústica

La hidroacústica es una herramienta fundamental en la medición de la concentración de sedimentos en el agua, especialmente en el contexto de la hidráulica fluvial y la sedimentología. La medición precisa de la concentración de sedimentos en suspensión es esencial para comprender la dinámica del río y la respuesta hidrodinámica a eventos hidrológicos extremos, como inundaciones y sequías.

El ADCP es uno de los instrumentos hidroacústicos más utilizados para medir la concentración de sedimentos. Esta herramienta utiliza pulsos de sonido de alta frecuencia para medir la velocidad y dirección del agua, así como también nos puede proporcionar la concentración de sedimentos en suspensión en valores de decibeles (dB).

La medición de la concentración de sedimentos es de gran importancia en la hidráulica fluvial, ya que los sedimentos transportados por los ríos tienen un impacto significativo en la morfología del cauce y formación de estructuras fluviales. La medición de la concentración de sedimentos es esencial para comprender y modelar el proceso de transporte de sedimentos y evolución de la morfología del cauce.

En la sedimentología, la medición de la concentración de sedimentos es esencial para comprender la distribución espacial y temporal de los depósitos de sedimentos.

En resumen, la hidroacústica y en particular el ADCP, es una herramienta esencial para un monitoreo constante de concentración de sedimentos suspendidos fluviales.

[Szupiany et al. \(2019\)](#) como parte de su investigación "Estimación de concentraciones de arena utilizando inversión acústica basada en ADCP en un gran sistema fluvial caracterizado por distribuciones bimodales de sedimentos en suspensión." (pp. 4-6), nos presenta las consideraciones teóricas más relevantes de la hidracústica utilizada por los ADCPs multihaz que apuntan hacia abajo. Dichos instrumentos son utilizados generalmente para medir la velocidad y dirección de las corrientes de agua en un cuerpo de agua, como un río o un océano. Los ADCPs funcionan emitiendo pulsos acústicos de alta frecuencia hacia el fondo del cuerpo de agua y mide los cambios de frecuencia que resultan del eco de los pulsos de las partículas de sedimento que se mueven dentro del agua.

2.2.5.1 Revisión de las consideraciones teóricas de la hidroacústica usada por los ADCPs para la medición de sedimentos en suspensión:

a) **Formulación acústica para partículas de sedimento en suspensión:**

La propagación de una señal emitida con una intensidad de potencia " I_0 " (" EL ") con intensidad de referencia arbitraria (" I_{ref} ") dentro de una mezcla de agua y sedimentos, generalmente se modela teniendo en consideración: la fuerza de retrodispersión de volumen (" S_v "), pérdidas de sonido y propagación esférica. Lo cual puede denominarse

corrección de retrodispersión de volumen (" S_v ").

Lo que finalmente da como resultado la intensidad de potencia recibida " I " (" RL ") el cual tiene la misma intensidad de referencia arbitraria (" I_{ref} ") que " EL ".

En condiciones ideales, la intensidad de potencia recibida (" RL ") es proporcional al nivel emitido y la fuerza de retrodispersión corregida (" $S_v - S_c$ "). La simple igualdad se puede escribir en escala de " dB " como se muestra en las ecuaciones 2.22 y 2.23.

$$\boxed{EL + S_v - S_c = RL} \quad (2.22)$$

$$\boxed{10 \log^{10} \left(\frac{I_0}{I_{ref}} \right) + S_v - S_c = 10 \log^{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)} \quad (2.23)$$

Donde:

EL = Intensidad de potencia de la señal emitida (dB)

RL = Intensidad de potencia de la señal recibida (dB)

S_v = Intensidad de retrodispersión volumétrica (dB)

S_c = Corrección de retrodispersión volumétrica (dB)

I_0 = Intensidad de potencia (dB)

I_{ref} = Intensidad de potencia de referencia (dB)

[Thevenot y Kraus \(1993\)](#) nos mencionan que la intensidad de retrodispersión volumétrica (" S_v ") se define como la suma de la retrodispersión de partículas individuales por unidad de volumen y que para usos prácticos se consideran las propiedades promedio de las partículas. Por lo tanto, " S_v " puede definirse por la ecuación 2.24.

$$\boxed{S_v = 10 \log_{10} n_b \sigma_s} \quad (2.24)$$

Donde:

S_v = Intensidad de retrodispersión volumétrica (dB)

n_b = Número de partículas por unidad de volumen

σ_s = Dispersión de partículas promedio o efectiva

[Szupiany et al. \(2019\)](#) nos dice que la sección transversal de dispersión está relacionada con la sección transversal física de una partícula individual por medio de la función de dispersión. Asimismo, menciona que ésta relación en el caso de una esfera en régimen de dispersión omnidireccional puede escribirse según [Clay y Medwin \(1977\)](#) como la ecuación 2.25.

$$\boxed{\sigma_s = (a^2 \cdot f^2) / 4} \quad (2.25)$$

Donde:

σ_s = Dispersión de partículas promedio o efectiva

a = factor forma (Thorne y Hanes, 2002)

f = radio de partícula

Considerando la masa total de sedimentos en suspensión por unidad de volumen (" M_s "), igual a la suma de " n_b " esferas equivalentes caracterizadas con el radio promedio " a " y densidad " ρ_s " tal como se representa en la ecuación 2.26, la relación entre la intensidad de retrodispersión y la masa por unidad de volumen puede ser escrita por la ecuación 2.27.

$$M_s = \frac{4}{3}\pi\rho_s n_b a^3 \quad (2.26)$$

$$S_v = 10 \log_{10} \frac{3 M_s \sigma_s}{4\pi \rho_s a^3} \quad (2.27)$$

Donde:

M_s = Masa total de sedimentos en suspensión por unidad de volumen (kg/m^3)

ρ_s = Densidad de sedimento (kg/m^3)

n_b = Número de partículas por unidad de volumen

a = Radio promedio (m)

S_v = Intensidad de retrodispersión volumétrica (dB)

σ_s = Dispersión de partículas promedio o efectiva

Combinando las ecuaciones 2.25, 2.26 y 2.27, la intensidad de retrodispersión volumétrica puede reescribirse convenientemente como la ecuación 2.28

$$S_v = 10 \log_{10} (K_{s1} M_{s1} + K_{s2} M_{s2}) \quad (2.28)$$

Donde " K_{si} " es una función del tiempo " t " y " R " es la distancia de alcance a lo largo del eje central del haz.

$$K_{si}(t, R) = \frac{3a_i^2 f_i^2}{16\pi\rho_s a_i^3} \quad (2.29)$$

Donde el subíndice " i " corresponde al sedimento suspendido analizado (carga de lavado y material del lecho suspendido).

La corrección de retrodispersión de volumen (" S_c ") se expresa mediante la ecuación 2.30.

$$S_c = 2 \left(\alpha_w + \sum \alpha_{si} \right) R + 10 \log_{10} (T_f R^2 \psi^2) \quad (2.30)$$

Donde:

- S_c = Corrección de retrodispersión volumétrica (dB)
- α_w = Coeficiente de absorción debido a la viscosidad del agua (Marsh y Schulkin, 1962). (dB/m)
- α_{si} = Coeficiente de absorción debido a la dispersión de sedimentos y efectos viscosos (Thorne y Hanes, 2002; Urick, 1948). (dB/m)
- T_f = Temperatura del agua.
- R = Distancia de alcance a lo largo del eje central del haz.
- ψ = Corrección de zona de campo cercano (A. Downing, Thorne, y Vincent, 1995).

Tenga en cuenta que los coeficientes de absorción (α_w y α_{si}) dependen de la concentración de sedimentos, tamaño de grano, temperatura del agua T_f , salinidad y frecuencias acústicas empleadas (Szupiany et al., 2019). El coeficiente de absorción α_{si} es expresado por la ecuación 2.31.

$$\alpha_{si} = 8.686 \left[\frac{kM_{si}}{2\rho_s} (S-1)^2 \left(\frac{s_i}{s_i^2 + (s_i + \tau)^2} \right) + \frac{0.4M_{si}}{D_i\rho_s} \left(\frac{x^4}{1 + 1.3x^2 + 0.24x^4} \right) \right] \quad (2.31)$$

$$s_i = \frac{9}{2\gamma D_i} + \left[1 + \left(\frac{2}{\gamma D_i} \right) \right]$$

$$\tau = \frac{1}{2} + \left(\frac{9}{2\gamma D_i} \right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\pi f}{\nu}}$$

$$S = \rho_s / \rho$$

Donde:

- S = Densidad relativa
- α_w = Coeficiente de absorción debido a la viscosidad del agua (Marsh y Schulkin, 1962). (dB/m)
- α_{si} = Coeficiente de absorción debido a la dispersión de sedimentos y efectos viscosos (Thorne y Hanes, 2002; Urick, 1948). (dB/m)
- R = Distancia de alcance a lo largo del eje central del haz.
- ψ = Corrección de zona de campo cercano (A. Downing et al., 1995).
- ρ_s = Densidad del sedimento (2650 kg/m^3)
- ρ = Densidad del agua (1000 kg/m^3)
- ν = Viscosidad cinemática del agua ($0.000001 \text{ m}^2/s$)
- f = radio de partícula
- D_i = Diámetro medio de partícula (m)

b) **Reverberación acústica general medida con un ADCP:**

Múltiples fuentes pueden producir reverberación de sonido bajo el agua (por ejemplo: dispersión de burbujas de aire, materia floculante y materia orgánica en partículas) en lugar de partículas de limo, arcilla y arena.

De hecho, un concepto básico es que el nivel de intensidad del eco (" E ") se puede dividir en partes deseadas y no deseadas de la señal recibida (comúnmente denominada nivel de enmascaramiento de ruido o de fondo). Una variedad de efectos de enmascaramiento pueden distorsionar la información contenida en la señal recibida con respecto al sedimento en suspensión o un tamaño de partícula específico.

De hecho, el registro de ADCP en conteos (" E ") representa ambas partes de la señal recibida como se informa en la Ecuación 2.32 (Deines, 1999) y la Ecuación 2.33 (Gostiaux y van Haren, 2010; Mullison, 2017).

$$RL = kc(E - E_r) \quad (2.32)$$

$$RL = 10 \log_{10} \left(10^{kc(E-E_r)/10} - 1 \right) \quad (2.33)$$

Donde:

kc = Factor de conversión entre datos medidos y dB, proporcionado por Teledyne (2008)

E = Señal reflejada por el sedimento suspendido

E_r = Ruido del instrumento y del ambiente

Las suposiciones razonables son que la reverberación desconocida " E_r " tiene una variación insignificante y es mucho más baja que la retrodispersión reflejada del sedimento (" E "). A partir de estas suposiciones, la variabilidad medida del nivel de intensidad permanece correlacionada con la fuerza de retrodispersión corregida (" $S_v - S_c$ "). A partir de esto Szupiany et al. (2019) nos menciona que se puede lograr una calibración razonable entre los resultados a partir del procesamiento de muestras de campo y la retrodispersión corregida.

c) **Implicación de la potencia transmitida y la longitud del pulso acústico:**

La intensidad de potencia de la señal emitida (" EL "), se puede expresar utilizando la potencia de transmisión (" P_T "), la longitud de transmisión " L " y el parámetro " C " que considera la geometría y la eficiencia de los transductores (Deines, 1999; Mullison, 2017). Por lo tanto, uniendo las ecuaciones 2.28, 2.29, 2.30 y 2.33 la concentración de sedimentos en suspensión se puede calcular mediante la ecuación 2.34.

$$10 \log_{10} (K_{s1} M_{s1} + K_{s2} M_{s2}) = 10 \log_{10} \left(10^{kc(E-E_r)/10} - 1 \right) + 2(\alpha_w + \alpha_{s1} + \alpha_{s2}) R + 10 \log_{10} \left(\frac{T_t R^2 \psi^2}{LP_T} \right) + C \quad (2.34)$$

Donde:

K_{si} = Función del tiempo (Ecuación 2.29).

M_s = Masa total de sedimentos en suspensión por unidad de volumen (kg/m^3).

k_c = Factor de conversión entre datos medidos y dB, proporcionado por Teledyne (2008).

E = Señal reflejada por el sedimento suspendido.

E_r = Ruido del instrumento y del ambiente.

α_w = Coeficiente de absorción debido a la viscosidad del agua (Marsh y Schulkin, 1962) (dB/m).

α_{si} = Coeficiente de absorción debido a la dispersión de sedimentos y efectos viscosos (Thorne y Hanes, 2002; Urlick, 1948) (dB/m).

T_f = Temperatura del agua.

R = Distancia de alcance a lo largo del eje central del haz.

ψ = Corrección de zona de campo cercano (A. Downing et al., 1995).

L = Longitud de transmisión.

P_T = Potencia de transmisión.

C = Parámetro que considera la geometría y la eficiencia de los transductores (Deines, 1999; Mullison, 2017).

En los arroyos y ríos con lecho de arena natural, los sedimentos suspendidos se distribuyen típicamente en dos fracciones: finas (limo y arcilla) y gruesas (arenas). Cada fracción produce diferentes valores de atenuación e intensidad de retrodispersión, según varios estudios (Hanes, 2012, 2016; Latosinski, Szupiany, García, Guerrero, y Amsler, 2014; Szupiany et al., 2019; Wright, Topping, y Williams, 2010). Por lo tanto en la ecuación 2.34 se representan por separado mediante los subíndices 1 y 2.

d) Procedimiento y consideraciones de calibración:

En la ecuación 2.34, se evaluó la reverberación desconocida que no está relacionada con las partículas de sedimento en suspensión (" E_r "). Para lo cual se ingresaron los parámetros del instrumento, nivel de intensidad del eco de los ADCP y retrodispersión corregida en cada punto muestreado. Además, se incluyeron los valores de distribución de tamaño de partícula y concentración de sedimentos de la carga de lavado y las fracciones de arena suspendida en cada zona y punto de muestreo. Es importante tener en cuenta que en los casos donde la retrodispersión de la arena es predominante (" $K_{s2} \gg K_{s1}$ "), la ecuación 2.34 se simplifica a la ecuación 2.35 lo que supone " $k_c(E - E_{bn}) > 10$ ".

$$\log_{10}[K_{s2} \cdot M_{s2}(R)] = 0.1[S_T(R)] + K_T \quad (2.35)$$

donde K_T incluye los parámetros C , P_T , L y E_r presentados en la ecuación 2.34 y S_T es la señal corregida presentada en la ecuación 2.36.

$$S_T = kc E + 2(\alpha_w + \alpha_s)R + 10 \log_{10} (T_f R^2 \psi^2) \quad (2.36)$$

2.2.5.2 ASET como herramienta para conversión de señales de retrodispersión acústica a valores de concentración de sedimentos suspendidos:

De acuerdo con [Ruben et al. \(2020\)](#), ASET utiliza los datos brutos del ADCP y las características de los sedimentos suspendidos proporcionados por el usuario, como el tamaño promedio de partícula de las fracciones finas y gruesas, y la concentración de la fracción fina para resolver la ecuación presentada en la ecuación 2.34. La concentración de la fracción fina suele estar distribuida uniformemente a lo largo de la sección transversal, lo que facilita su medición por parte del usuario. Si se utiliza el módulo de calibración acústica de sedimentos, ASET puede resolver la ecuación 2.34 para cada punto de muestreo y encontrar el valor desconocido de " E_r ". [Szupiany et al. \(2019\)](#) encontró que " E_r " es constante para diferentes tramos de ríos y etapas de agua en sistemas de ríos de lecho de arena, aunque recomienda que se evalúe la variación de " E_r " en sitios individuales bajo diferentes condiciones de transporte de sedimentos.

El módulo de Transporte de Sedimentos Suspendidos en ASET resuelve la ecuación 2.34 para cada celda medida en la sección transversal, lo que permite la conversión del nivel de intensidad del eco en una concentración de sedimento de fracción gruesa. ASET también puede utilizar la ecuación lineal presentada en la ecuación 2.36 para analizar la respuesta acústica para cada sitio de estudio y las características de los sedimentos suspendidos. Se asume que la retrodispersión está dominada por la fracción gruesa, por lo que la pendiente de la regresión lineal debería ser igual a 0.1.

En resumen, [Ruben et al. \(2020\)](#) explica cómo ASET utiliza los datos brutos del ADCP y las características de los sedimentos suspendidos para resolver la ecuación 2.34, mientras que [Szupiany et al. \(2019\)](#) encuentra que " E_r " es constante en diferentes tramos de ríos y etapas de agua en sistemas de ríos de lecho de arena, aunque recomienda evaluar su variación en sitios individuales. El módulo de Transporte de Sedimentos Suspendidos en ASET utiliza la ecuación 2.34 para convertir el nivel de intensidad del eco en una concentración de sedimento de fracción gruesa y puede utilizar la ecuación lineal presentada en la ecuación 2.36 para analizar la respuesta acústica.

2.2.6 Estadística

Según estudios de [Gartner \(2004\)](#); [Thorne y Hurther \(2014\)](#); [Xavier et al. \(2014\)](#); [X. Zou et al. \(2016\)](#) y [Szupiany et al. \(2019\)](#), la retrodispersión acústica o backscatter es una técnica que se utiliza para medir la concentración de sedimentos en sistemas fluviales. La técnica implica el envío de pulsos de sonido a través del agua para medir la cantidad de energía que se refleja de vuelta al transductor. La concentración de sedimentos se puede estimar a partir de la intensidad de la señal de backscatter, pero la obtención de una correlación precisa entre los datos de backscatter y la concentración de sedimentos no es una tarea sencilla.

Es aquí donde la estadística juega un papel crucial. El análisis estadístico es fundamental para correlacionar datos de backscatter con datos medidos de concentración de sedimentos ([J. Downing, 2006](#); [Minella et al., 2008](#); [Ruben et al., 2020](#); [Thorne y Hurther, 2014](#)). Los datos de backscatter son inherentemente ruidosos y están sujetos a una gran cantidad de variabilidad debido a factores ambientales y de instrumentación. Para obtener una estimación precisa de la concentración de sedimentos, es necesario procesar los datos de backscatter y aplicar técnicas estadísticas avanzadas para reducir el ruido y eliminar la variabilidad.

Una técnica comúnmente utilizada para correlacionar los datos de backscatter con la concentración de sedimentos es el modelo de regresión lineal ([R. Huang y Zhang, 2021](#)). Este modelo matemático asume una relación lineal entre la intensidad de backscatter y la concentración de sedimentos; asimismo, utiliza técnicas estadísticas para ajustar la línea de regresión a los datos. Además, se pueden aplicar técnicas de análisis multivariado, como el análisis de componentes principales (PCA), para reducir la complejidad de los datos y extraer las características más importantes de los mismos. La importancia de la estadística en la correlación de datos de backscatter y concentración de sedimentos radica en la necesidad de obtener estimaciones precisas de la concentración de sedimentos.

En conclusión, la estadística es esencial para obtener una correlación precisa entre los datos de retrodispersión acústica y la concentración de sedimentos medidos en sistemas fluviales. La estadística proporciona herramientas para modelar y controlar la variabilidad y los errores de medición en los datos de backscatter. Asimismo, permite modelar relaciones más complejas entre los datos de backscatter y la concentración de sedimentos. Por lo tanto, es fundamental que los investigadores y científicos que trabajan con datos de backscatter tengan una sólida comprensión de las técnicas estadísticas necesarias para procesar y analizar estos datos en sistemas fluviales.

2.2.6.1 Principales métodos estadísticos para correlación de variables

A continuación se detallan los principales métodos estadísticos usados para obtener la correlación de variables.

a) Correlación de Pearson:

El coeficiente de correlación de Pearson se utiliza para medir la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables cuantitativas. Este coeficiente puede variar entre -1 y 1, donde -1 indica una relación inversa perfecta, 0 indica una ausencia de relación y 1 indica una relación directa perfecta. La fórmula para calcular el coeficiente de correlación de Pearson es representada por la ecuación 2.37.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.37)$$

Donde:

n = Número de pares de datos

x_i = Valores de las variables X para el i -ésimo par de datos

y_i = Valores de las variables Y para el i -ésimo par de datos

\bar{x} = Media de X

\bar{y} = Media de Y

b) Correlación de Spearman:

El coeficiente de correlación de Spearman se utiliza para medir la fuerza y la dirección de una relación no lineal entre dos variables. Este coeficiente se basa en los rangos de los datos, en lugar de los valores reales. La fórmula para calcular el coeficiente de correlación de Spearman es representada por la ecuación 2.38.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.38)$$

Donde:

n = Número de pares de datos

d_i = Diferencia entre los rangos de las variables X e Y para el i -ésimo par de datos.

c) Regresión lineal simple:

La regresión lineal simple se utiliza para modelar la relación lineal entre dos variables cuantitativas. La ecuación de la recta de regresión lineal simple es representada por la ecuación 2.39.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (2.39)$$

Donde:

- y = Variable dependiente
- x = Variable independiente
- β_0 = Intersección de la recta
- β_1 = Pendiente de la recta
- ϵ = Error aleatorio

La pendiente de la recta de regresión es calculada por la ecuación 2.40.

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.40)$$

y la intersección se calcula como la ecuación 2.41.

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (2.41)$$

d) Regresión lineal múltiple:

La regresión lineal múltiple se utiliza para modelar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes. La ecuación de regresión lineal múltiple es representada por la ecuación 2.42

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2.42)$$

Donde:

- Y = Variable dependiente
- X_1, X_2, \dots, X_k = Variables independientes
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = Coeficientes de la regresión
- ϵ = Término de error

Los coeficientes de la regresión se calculan utilizando el método de mínimos cuadrados, que minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones reales y las predicciones de la regresión.

e) Análisis de varianza (ANOVA):

El análisis de varianza se utiliza para determinar si hay diferencias significativas en la media de una variable dependiente entre dos o más grupos definidos por una variable independiente categórica. La ecuación de ANOVA es representada por la ecuación 2.43.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (2.43)$$

Donde:

- Y_{ij} = Observación j en el grupo i
 μ = Media global de todas las observaciones
 τ_i = Efecto del grupo i
 ϵ_{ij} = Término de error

La hipótesis nula de ANOVA es que todas las medias de los grupos son iguales, mientras que la hipótesis alternativa es que al menos una media difiere de las demás. El análisis de varianza calcula la suma de cuadrados entre grupos, la suma de cuadrados dentro de grupos y la suma de cuadrados total para calcular la estadística de prueba F.

f) Análisis de regresión logística:

El análisis de regresión logística se utiliza para modelar la relación entre una variable dependiente binaria y una o más variables independientes. La ecuación de regresión logística es representada por la ecuación 2.44.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2.44)$$

Donde:

- p = Probabilidad de que la variable dependiente sea igual a 1
 x_1, x_2, \dots, x_k = Variables independientes
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = Coeficientes de la regresión.

Los coeficientes de la regresión se calculan utilizando la función de verosimilitud, que maximiza la probabilidad de observar los datos en función de los coeficientes.

g) Análisis de regresión Poisson:

El análisis de regresión de Poisson se utiliza para modelar la relación entre una variable de conteo y una o más variables independientes. La ecuación de regresión de Poisson es representada por la ecuación 2.45.

$$\ln(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (2.45)$$

Donde:

- μ = Media de la variable de conteo
 x_1, x_2, \dots, x_k = Variables independientes
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = Coeficientes de la regresión.

Los coeficientes de la regresión se calculan utilizando la función de verosimilitud, que maximiza la probabilidad de observar los datos en función de los coeficientes.

h) **Análisis de correlación canónica:**

El análisis de correlación canónica se utiliza para determinar la relación entre dos conjuntos de variables. La ecuación de correlación canónica es representada por la ecuación 2.46.

$$r_{x,y} = \frac{\mathbf{a}^T \mathbf{S}_{xy} \mathbf{b}}{\sqrt{\mathbf{a}^T \mathbf{S}_{xx} \mathbf{a}} \sqrt{\mathbf{b}^T \mathbf{S}_{yy} \mathbf{b}}} \quad (2.46)$$

Donde:

- $r_{x,y}$ = Correlación canónica entre los conjuntos de variables x e y
- \mathbf{S}_{xy} = Matriz de covarianza entre los conjuntos de variables
- \mathbf{S}_{xx} & \mathbf{S}_{yy} = Matrices de covarianza dentro de cada conjunto de variables
- \mathbf{a} & \mathbf{b} = Vectores de pesos canónicos

El análisis de correlación canónica busca los vectores de pesos canónicos que maximizan la correlación canónica. La cantidad de vectores de pesos canónicos es igual al número mínimo de variables en los dos conjuntos.

i) **Análisis de componentes principales:**

El análisis de componentes principales (PCA) se utiliza para reducir la dimensión de un conjunto de variables, al mismo tiempo que se mantiene la mayor cantidad de información posible. El PCA calcula una serie de componentes principales, que son combinaciones lineales de las variables originales. La ecuación del PCA para una variable x es representada por la ecuación 2.47.

$$PC_j = \sum_{i=1}^p a_{ij} x_i \quad (2.47)$$

Donde:

- PC_j = Valor de la componente principal j
- a_{ij} = Peso de la variable i en la componente principal j
- p = Número de variables originales.

El objetivo del PCA es maximizar la varianza de las componentes principales. La primera componente principal tiene la mayor varianza, la segunda componente principal tiene la segunda mayor varianza y así sucesivamente.

j) Análisis de discriminante lineal:

El análisis de discriminante lineal se utiliza para encontrar una combinación lineal de variables que maximiza la separación entre dos o más grupos. La ecuación del análisis de discriminante lineal para un conjunto de variables X es representada por la ecuación 2.48.

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p \quad (2.48)$$

Donde:

Y = Variable discriminante

X_1, X_2, \dots, X_p = Variables originales

a_1, a_2, \dots, a_p = Coeficientes de la combinación lineal

El análisis de discriminante lineal busca los coeficientes que maximizan la relación entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos. La cantidad de variables originales es igual al número mínimo de grupos menos uno.

La tabla 2.16 nos presenta la comparación entre los principales métodos estadísticos usados para encontrar la relación entre 2 variables, los cuales ya fueron detallados.

TABLA N° 2.16: *Comparación de los principales métodos estadísticos para encontrar la relación entre dos variables.*

ID	Método	Tipo de variables	Tipo de relación	Fortalezas	Limitaciones	Referencias
1	Correlación de Pearson	Cuantitativas	Lineal	Fácil de calcular, ampliamente utilizado, interpretable.	Solo detecta relaciones lineales, sensible a valores atípicos.	Benesty, Chen, Huang, y Cohen (s.f.); K. H. Zou, Tuncali, y Silverman (2003)
2	Correlación de Spearman	Cuantitativas	No lineal	No requiere una relación lineal.	No puede detectar todas las relaciones no lineales, menos potente.	Myers y Sirois (2004)
3	Regresión lineal simple	Cuantitativas	Lineal	Facilita la predicción, interpretable, ampliamente utilizado.	Solo detecta relaciones lineales, sensible a valores atípicos.	K. H. Zou et al. (2003)
4	Regresión lineal múltiple	Cuantitativas	Lineal	Facilita la predicción de múltiples variables, interpretable.	Solo detecta relaciones lineales, sensible a valores atípicos.	Eberly (2007)
5	Análisis de varianza (ANOVA)	Cuantitativa (dependiente) y cualitativa (independiente)	No lineal	Permite comparar varias medias. Permite detectar diferencias entre múltiples grupos.	Solo modela relaciones no lineales con transformaciones adecuadas. No puede medir relaciones directas entre variables, requiere igualdad	Kim (2014)
6	Análisis de regresión logística	Cualitativas (dependiente e independiente)	No lineal	Permite modelar la probabilidad de un evento. Útil para predecir la probabilidad de un resultado categórico	Solo modela relaciones no lineales con transformaciones adecuadas.	Menard (2002)
7	Análisis de regresión Poisson	Cuantitativa (dependiente) y cualitativa (independiente)	No lineal	Modela la frecuencia de eventos raros.	Solo modela relaciones no lineales con transformaciones adecuadas.	Loomis, Richardson, y Elliott (2005)
8	Análisis de correlación canónica	Varias (dependiente e independiente)	No lineal	Permite medir relaciones complejas entre varias variables.	Requiere muchas variables. Puede ser difícil de interpretar.	Hardoon, Szedmak, y Shawe-Taylor (2004)
9	Análisis de componentes principales (PCA)	Cuantitativas (múltiples)	No lineal	Permite reducir la complejidad de los datos y encontrar patrones.	Requiere una fuerte correlación entre las variables. Puede ser difícil de interpretar. No puede medir relaciones directas entre variables, requiere normalidad	Wold, Esbensen, y Geladi (1987)
10	Análisis discriminante lineal	Cuantitativa (dependiente) y cualitativa (independiente)	No lineal	Permite identificar variables que diferencian los grupos.	Requiere supuestos específicos sobre los errores y las variables, no puede manejar valores faltantes	Huberty (1984)

Nota: Elaboración propia

2.2.7 Métodos para validación de Hipótesis

La validación de hipótesis es una parte fundamental de cualquier investigación, ya que permite determinar si las afirmaciones o supuestos planteados son verdaderos o no. A continuación, se presentan algunas razones por las que la validación de hipótesis es importante:

- a) Ayuda a establecer la relación entre las variables: Las hipótesis permiten establecer una relación entre dos o más variables, lo que puede ser útil para explicar el fenómeno que se está investigando.
- b) Permite confirmar o refutar una teoría: Si las hipótesis son confirmadas, se puede considerar que la teoría en la que se basan es válida. Por el contrario, si las hipótesis son refutadas, se debe revisar la teoría y formular nuevas hipótesis.
- c) Permite hacer generalizaciones: Si las hipótesis son confirmadas, se pueden hacer generalizaciones sobre el fenómeno que se está investigando, lo que permite aplicar los resultados de la investigación a otras situaciones similares.
- d) Ayuda a evitar conclusiones erróneas: Si las hipótesis no se validan, se evita llegar a conclusiones erróneas o prematuras que pueden conducir a errores graves.
- e) Mejora la credibilidad de la investigación: La validación de hipótesis es una parte esencial del proceso científico y ayuda a mejorar la credibilidad de la investigación. Los resultados de la investigación son más creíbles si se basan en hipótesis confirmadas.

En resumen, la validación de hipótesis es importante porque permite establecer relaciones entre variables, confirmar o refutar teorías, hacer generalizaciones, evitar conclusiones erróneas y mejorar la credibilidad de la investigación.

La tabla [2.17](#) nos presenta la comparación de los principales métodos más usados en validación de hipótesis en una investigación.

TABLA N° 2.17: Comparación de los principales métodos de validación de hipótesis

ID	Método	Tipo de estudio	Diseño	Variables	Tamaño de muestra	Tipo de muestreo	Significación	Tipo de hipótesis	Nivel de análisis	Uso común	Referencias
1	T-test	Comparativo	Controlado	Dos variables	Pequeño	Aleatorio o pareado	$P < 0.05$	Unicausal	Inferencial	Muy común	Cohen, West, y Aiken (2014)
2	ANOVA	Comparativo	Controlado	Tres o más variables	Moderado a grande	Aleatorio	$P < 0.05$	Unicausal	Inferencial	Muy común	Agresti y Finlay (2009)
3	MANOVA	Comparativo	Controlado	Tres o más variables	Moderado a grande	Aleatorio	$P < 0.05$	Multicausal	Inferencial	Común	Johnson, Wichern, et al. (2002) ; Stevens (2012)
4	Regresión lineal	Correlacional	Observacional	Dos variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	$P < 0.05$	Unicausal	Inferencial	Muy común	Kutner, Nachtsheim, Neter, y Wasserman (2004) ; Montgomery, Peck, y Vining (2021)
5	Regresión logística	Correlacional	Observacional	Dos variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	$P < 0.05$	Unicausal	Inferencial	Común	Hosmer Jr, Lemeshow, y Sturdivant (2013) ; Kleinbaum, Dietz, Gail, Klein, y Klein (2002)
6	Análisis de correlación	Correlacional	Observacional	Dos variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	$P < 0.05$	Unicausal	Inferencial	Muy común	Rencher y Schaalje (2008)
7	Análisis de componentes principales	Exploratorio	Observacional	Tres o más variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	NA	NA	Descriptivo	Común	Jolliffe (2002) ; Rencher y Christensen (2002)
8	Análisis de clusters	Exploratorio	Observacional	Tres o más variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	NA	NA	Descriptivo	Común	Everitt (2001)
9	Análisis factorial	Exploratorio	Observacional	Tres o más variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	NA	NA	Descriptivo	Común	Brown (2015)
10	Enfoque inferencial basado en la evidencia	Inferencial	Observacional	Dos o más variables	Pequeño a grande	Aleatorio o no aleatorio	NA	Unicausal o multicausal	Inferencial	Común	Brochier, Guille, y Velcin (2019) ; Cumming (2014) ; Wasserstein, Schirm, y Lazar (2019)

Nota: Elaboración propia

2.3 BASES CONCEPTUALES

2.3.1 Bases conceptuales de morfología fluvial

Teniendo en consideración los libros de "Fundamentos de la geomorfología fluvial" (Charlton, 2007) y "RIOS DANZANTES, Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (Guía A, pp. 71-131) (Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC), 2022). A continuación se definen los principales conceptos de morfología fluvial usados en ésta investigación.

2.3.1.1 Meandro

Un meandro es una curva serpenteante que se forma en un río a medida que fluye a través de una llanura de inundación suave. Se produce cuando la corriente del río erosiona la ribera en una curva y deposita sedimentos en la ribera opuesta, lo que crea una curva opuesta. Los meandros son un proceso natural de los ríos y pueden ser estables durante miles de años. El estudio de los meandros de un río puede proporcionar información importante sobre la dinámica de los ríos y su evolución temporal.

2.3.1.2 Semimeandro

Un semimeandro es una media curva serpenteante que se forma en un río, que puede ser la mitad de un meandro completo. Se produce cuando la corriente del río erosiona la ribera en una curva y deposita sedimentos en la ribera opuesta, lo que crea una curva opuesta. Los semimeandros son una forma común de curvatura del río y pueden ser importantes para la estabilidad del canal. Al igual que los meandros, el estudio de los semimeandros de un río puede proporcionar información importante sobre la dinámica de los ríos y su evolución temporal.

2.3.1.3 Ángulos de bifurcación

Los ángulos de bifurcación son el ángulo que forman dos ramas de un río cuando se divide en dos o más canales. Es importante para la dinámica fluvial ya que los ángulos de bifurcación afectan el flujo de agua y sedimentos en un río. Un ángulo de bifurcación estrecho puede conducir a una mayor erosión y una tasa de migración más rápida de los canales, mientras que un ángulo de bifurcación más amplio puede conducir a una menor erosión y a la formación de islas y barras fluviales.

2.3.1.4 Sinuosidad

La sinuosidad es la medida de la curvatura de un río. Se calcula como la longitud del río dividida por la distancia más corta entre los dos extremos del río. La sinuosidad es importante para la dinámica fluvial ya que afecta la velocidad del agua y la erosión del canal. Un río con una alta sinuosidad tendrá una velocidad más lenta y una mayor deposición de

sedimentos, mientras que un río con una baja sinuosidad tendrá una velocidad más rápida y una mayor erosión.

2.3.1.5 Migración

La migración de un río se refiere al movimiento lateral del canal de un río a través de la llanura de inundación. La migración es causada por la erosión en la orilla exterior de una curva y la deposición en la orilla interior opuesta. La migración puede ser afectada por muchos factores como la sinuosidad, pendiente y carga de sedimentos.

2.3.1.6 Ancho de valle

El ancho del valle se refiere a la distancia horizontal que hay entre los bordes del valle, medida perpendicularmente a la dirección del río. El ancho del valle depende de la tasa de erosión y la carga de sedimentos transportada por el río, así como de la litología y la tectónica. Los valles más anchos generalmente se encuentran en zonas de roca sedimentaria blanda y en regiones donde los ríos se mueven en meandros.

2.3.1.7 Ancho del cauce

El ancho del cauce se refiere a la distancia horizontal entre las márgenes del río en un punto específico. Este parámetro varía a lo largo de la longitud del río y está relacionado con la capacidad del río para transportar sedimentos y agua. La forma del canal y su capacidad de transporte están influenciados por la velocidad del flujo y la carga de sedimentos.

2.3.1.8 Factor de confinamiento

El factor de confinamiento se refiere a la relación entre el ancho del valle y el ancho del cauce en un punto específico. Este parámetro es importante para determinar la capacidad del río para transportar agua y sedimentos. Los ríos que tienen un factor de confinamiento bajo tienen un mayor potencial para inundaciones y pueden transportar grandes cantidades de sedimentos.

2.3.1.9 Pendiente

La pendiente de un río es la inclinación del cauce en una dirección determinada y se expresa en porcentaje o grados. La pendiente del río influye en la velocidad del flujo y la capacidad del río para transportar sedimentos. Las pendientes más altas corresponden a ríos de montaña con flujo rápido, mientras que las pendientes más bajas se encuentran en ríos de baja energía que fluyen a través de llanuras aluviales.

2.3.1.10 Planicies aluviales

Las planicies aluviales son llanuras inundables que se forman a lo largo de los ríos debido a la deposición de sedimentos. Estas áreas se caracterizan por suelos ricos en nutrientes y son importantes para la agricultura. Las planicies aluviales son vulnerables a inun-

daciones y a menudo son utilizadas para la construcción de ciudades.

2.3.1.11 Llanura de inundación

La llanura de inundación es la extensión de tierra adyacente al río que se inunda periódicamente durante las crecidas del río. La llanura de inundación es una parte importante del ecosistema del río y proporciona hábitat para la fauna y la flora. También es importante para la regulación del flujo del río y la prevención de inundaciones aguas abajo.

2.3.1.12 Bifurcación

La bifurcación es el punto en el que un río se divide en dos o más canales. Este proceso puede ocurrir naturalmente o ser inducido por el ser humano. La bifurcación es importante para la dinámica fluvial ya que afecta la distribución de sedimentos y agua, así como la formación de planicies aluviales.

2.3.1.13 Desembocadura

Se refiere al lugar donde un río desemboca en un cuerpo de agua más grande, como un océano o un lago. Este proceso puede ser influenciado por factores como la sedimentación, topografía y variabilidad climática. La desembocadura se caracteriza por la formación de deltas y estuarios, que son importantes para la conservación de la biodiversidad y la gestión de recursos.

2.3.1.14 Dinámica multitemporal

Se refiere a los cambios que ocurren en los ríos a lo largo del tiempo y cómo estos cambios interactúan con el entorno. La dinámica fluvial es el resultado de una compleja interacción entre procesos hidrológicos, geomorfológicos, bióticos y antrópicos que dan lugar a la evolución de un río en el tiempo. La comprensión de la dinámica fluvial es importante para la gestión de recursos hídricos, prevención de desastres naturales y restauración de ríos.

2.3.1.15 Thalweg

Es la línea que conecta los puntos más profundos de un río o canal. El thalweg es importante para la navegación, ya que representa el camino más seguro para los barcos y embarcaciones.

2.3.1.16 Paleocauce

Se refiere al cauce de un río que ha dejado de ser activo y que ha sido abandonado. Estos cauces pueden ser identificados mediante la observación de características geomorfológicas y datación de sedimentos. El estudio de paleocauces es importante para la comprensión de la historia geológica de un territorio y la identificación de riesgos geológicos. Además, los paleocauces pueden ser utilizados para la gestión de recursos hídricos

y restauración de ríos.

2.3.2 Bases conceptuales de Hidrodinámica

Teniendo en consideración los libros de "Hidráulica fluvial" (Dingman, 2009), "Ríos de montaña" (Wohl, 2013), "Ingeniería de ríos" (Vide, 2009) y "RIOS DANZANTES, Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (Guía B, pp. 133-177) (Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC), 2022). A continuación se definen los principales conceptos de Hidrodinámica usados en ésta investigación.

2.3.2.1 Caudal

Es la cantidad de agua que fluye por un río en un determinado periodo de tiempo. Se mide en metros cúbicos por segundo (m^3/s) y es una medida fundamental para el estudio y la gestión de los recursos hídricos.

2.3.2.2 Patrón de velocidades de flujo primario

Se refiere a la velocidad del agua paralelo al flujo del río. Este patrón de velocidades es relevante para entender la dinámica de los sedimentos en el río y la erosión del cauce.

2.3.2.3 Patrón de velocidades de flujo secundario

Se refiere a las corrientes que se generan en la zona inferior del flujo del río, donde la velocidad del agua es más lenta. Estas corrientes secundarias son importantes para la estabilidad del cauce y la circulación del agua.

2.3.2.4 Turbulencia

Es un fenómeno en el que el flujo de agua presenta fluctuaciones y remolinos que generan movimientos aleatorios en el agua. La turbulencia es relevante para entender la erosión y el transporte de sedimentos del río.

2.3.2.5 Vórtice fluvial

Es un tipo de turbulencia en el que se forman remolinos en el flujo del agua. Los vórtices fluviales son importantes porque pueden generar erosión y sedimentación en el cauce, así como afectar la navegabilidad.

2.3.2.6 Erosión fluvial

Es el proceso por el cual el agua de un río desgasta y arrastra los sedimentos del cauce. La erosión fluvial es un proceso natural que puede generar cambios significativos en el cauce del río.

2.3.3 Bases conceptuales de Sedimentología

Teniendo en consideración los libros de "Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales" (Basile, 2018) y "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (García, 2008). A continuación se definen los principales conceptos de sedimentología usados en ésta investigación.

2.3.3.1 Sedimento suspendido

El sedimento suspendido es el material sólido de diferentes tamaños y formas que es transportado por el agua en suspensión en un río. La cantidad y tamaño del sedimento suspendido en el agua puede variar según las condiciones hidrológicas, climáticas y geológicas. El sedimento suspendido es importante en la dinámica fluvial y puede afectar la calidad del agua, erosión del lecho del río y sedimentación.

2.3.3.2 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula se refiere a la medida de la dimensión física de las partículas de un sedimento. El tamaño de partícula de los sedimentos se puede clasificar en varias categorías, como arcilla, limo, arena y grava, según su diámetro. El tamaño de partícula del sedimento influye en la capacidad de transporte del agua, erosión y sedimentación.

2.3.3.3 Concentración de sedimentos

La concentración de sedimentos se refiere a la cantidad de sedimentos suspendidos en un cuerpo de agua en un momento dado. La concentración de sedimentos se puede medir mediante la recolección de muestras de agua y su posterior análisis. La concentración de sedimentos influye en la calidad del agua, erosión y sedimentación.

2.3.3.4 Sedimentos cohesivos

Los sedimentos cohesivos son partículas de sedimento que se adhieren entre sí debido a su composición química o a una carga eléctrica. Estos sedimentos son típicamente arcilla o limo. Los sedimentos cohesivos pueden afectar la dinámica fluvial al reducir la capacidad de transporte de agua y aumentar la sedimentación y erosión del lecho del río.

2.3.3.5 Sedimentos no cohesivos

Los sedimentos no cohesivos son partículas de sedimento que no se adhieren entre sí, como la arena y la grava. Estos sedimentos pueden moverse más fácilmente que los sedimentos cohesivos y pueden tener un impacto diferente en la dinámica fluvial y en la calidad del agua.

2.3.3.6 Depósito fluvial

Un depósito fluvial es una acumulación de sedimentos que se ha depositado en el fondo de un río o lago debido a la sedimentación. Estos depósitos pueden influir en la dinámica fluvial al alterar la topografía del lecho del río y afectar su capacidad de transporte.

2.3.3.7 Erosión fluvial

La erosión fluvial es el proceso por el cual el agua desgasta y transporta el material del lecho. La erosión fluvial puede tener un impacto significativo en la dinámica fluvial, especialmente cuando hay una excesiva sedimentación y erosión.

2.3.3.8 Floculos en suspensión

Son conglomerados de partículas en suspensión en el agua, que pueden ser biológicos, inorgánicos o una combinación de ambos. Los floculos se forman cuando las partículas en suspensión se agregan entre sí debido a fuerzas electrostáticas, hidrofóbicas o coalescencia, formando una estructura más grande y densa que se asienta más fácilmente. Los floculos son importantes en la remoción de partículas de agua, ya que al aumentar el tamaño y densidad de las partículas, pueden ser más fácilmente separados del agua a través de procesos físicos y/o químicos.

2.3.3.9 Alicuota

Es una porción de una muestra tomada para análisis o para otro propósito de investigación. Una alicuota se toma de manera representativa de la muestra original y se separa para evitar la contaminación cruzada y asegurar la integridad de la muestra. La cantidad de material en una alicuota puede variar dependiendo de la necesidad del análisis o investigación. Las alicuotas son una técnica común en muchas áreas de la ciencia, incluyendo la química, biología y geología.

2.3.3.10 Coloide

Son partículas de tamaño submicrométrico a micrométrico que están dispersas en un medio continuo, como el agua. Las partículas coloidales no se asientan fácilmente y pueden permanecer en suspensión durante largos períodos de tiempo debido a las fuerzas de repulsión eléctrica y/o estéricas entre ellas. Los coloides pueden tener una variedad de propiedades y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones.

2.3.3.11 Tamiz

Es un dispositivo utilizado para separar partículas por tamaño. Consiste en una superficie porosa o tejido de malla de diferentes tamaños de abertura que se coloca sobre un marco y se utiliza para filtrar partículas de una solución. El tamaño de la abertura del tamiz determina qué tamaño de partículas pueden pasar a través de él y cuáles son retenidos.

2.3.3.12 Difracción láser

Es una técnica de análisis que se utiliza para medir el tamaño de partículas coloidales o suspensiones en un líquido. En esta técnica, se utiliza un láser para emitir luz sobre la muestra y luego se mide la difracción de la luz por las partículas en suspensión. A partir de esta medida, se puede determinar el tamaño promedio de las partículas en suspensión.

2.3.4 Bases conceptuales de Régimen de lluvia

Teniendo en consideración la publicación de "La relación entre la concentración de sedimentos en suspensión, variabilidad de las lluvias y agua subterránea: un análisis empírico y probabilístico para el río Beni Andino, Bolivia (2003–2016)" ([Ayes Rivera, Callau Poduje, et al., 2019](#)). A continuación se definen los principales conceptos de régimen de lluvia usados en ésta investigación.

2.3.4.1 Precipitación

Es la cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre en forma líquida desde la atmósfera. Se mide en milímetros y su distribución espacial y temporal es influenciada por diversos factores climáticos.

2.3.4.2 Área de drenaje

Es el área geográfica que recolecta y descarga las aguas pluviales hacia una corriente, río o lago. Es definida por la línea de cumbre de las montañas que la rodean. El tamaño del área de drenaje influye en la cantidad de agua que fluye en un río y en la forma en que el agua se distribuye y fluye a lo largo del mismo.

2.3.4.3 Estaciones Pluviométricas

Son lugares donde se miden y registran la cantidad de precipitación que cae en una determinada área. Estas estaciones utilizan diversos tipos de instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación, lo que permite a los científicos recopilar datos para la evaluación y predicción de la cantidad de agua que fluye en los ríos.

2.3.5 Bases conceptuales de Hidroacústica

Teniendo en consideración las investigaciones de "Estimación de concentraciones de arena utilizando inversión acústica basada en ADCP en un gran sistema fluvial caracterizado por distribuciones de sedimentos en suspensión bimodales" ([Szupiany et al., 2019](#)), "Acoustic Sediment Estimation Toolbox (ASET): Un paquete de software para calibrar y procesar datos de ADCP de TRDI para calcular el transporte de sedimentos en suspensión en ríos arenosos" ([Ruben et al., 2020](#)) y "Medición de la concentración de partículas de sedimento natural sin calibración utilizando detección de retrodispersión con fibras ópticas" ([R. Huang y Zhang, 2021](#)). A continuación se definen los principales conceptos de Hidro-

acústicos usados en ésta investigación.

2.3.5.1 retrodispersión acústica (Backscatter)

La retrodispersión acústica (backscatter) es una técnica que se utiliza en la monitorización del medio ambiente acuático y en la investigación oceanográfica para medir la concentración de sedimentos en suspensión en el agua. La técnica implica el uso de un instrumento de sonar que emite una señal acústica y mide la señal reflejada. La retrodispersión acústica es sensible a las propiedades del sedimento, como su tamaño y concentración. Es una técnica útil para medir la distribución espacial de los sedimentos en suspensión.

2.3.5.2 Intensidad de potencia emitida

La intensidad de potencia emitida es la cantidad de energía acústica que un instrumento de sonar emite hacia el agua. La intensidad de potencia emitida es un parámetro importante que determina la capacidad del instrumento de sonar para penetrar en el agua y detectar objetos como sedimentos en suspensión. La intensidad de potencia emitida se mide en vatios y puede ajustarse en función de las necesidades de la aplicación.

2.3.5.3 Intensidad de potencia recibida

La intensidad de potencia recibida es la cantidad de energía acústica que un instrumento de sonar recibe después de que la señal ha sido reflejada por un objeto en el agua. La intensidad de potencia recibida es un parámetro importante que determina la sensibilidad del instrumento de sonar para detectar objetos, como sedimentos en suspensión. La intensidad de potencia recibida se mide en vatios y puede ser influenciada por factores como la distancia del objeto, dirección del haz acústico y absorción de energía en el agua.

2.3.5.4 Intensidad de retrodispersión volumétrica

La intensidad de retrodispersión volumétrica es la cantidad de energía acústica reflejada por el sedimento suspendido en el agua. La intensidad de retrodispersión volumétrica es un parámetro importante que se utiliza para cuantificar la concentración de sedimentos en suspensión en el agua. La intensidad de retrodispersión volumétrica se mide en decibelios (dB) y se relaciona con la concentración de sedimentos suspendidos en el agua.

2.3.5.5 Corrección de retrodispersión volumétrica

La corrección de retrodispersión volumétrica es un proceso utilizado para corregir las mediciones de intensidad de retrodispersión volumétrica de un instrumento de sonar. La corrección tiene en cuenta factores como el ruido del instrumento y ambiente, las variaciones en la intensidad de potencia emitida y recibida, y la atenuación de la señal acústica en el agua. La corrección de retrodispersión volumétrica es esencial para garantizar mediciones precisas y confiables de la concentración de sedimentos en suspensión en el agua.

2.3.5.6 Ruido del instrumento y ambiente

El ruido en los datos de medición de los instrumentos acústicos es un problema importante en la obtención de mediciones precisas y confiables. El ruido del instrumento puede provenir de componentes eléctricos y mecánicos, como amplificadores, transductores y piezas móviles en el instrumento. El ruido ambiental, por otro lado, se refiere a cualquier señal acústica que no proviene del objeto que se está midiendo. Para reducir el ruido del instrumento y del ambiente, se utilizan técnicas de filtrado de señales y se realizan mediciones en condiciones de baja turbulencia.

2.3.5.7 Señal reflejada por sedimento suspendido

La señal acústica que es reflejada por el sedimento suspendido en un cuerpo de agua se utiliza para estimar la concentración de sedimentos suspendidos y distribución del tamaño de partículas en la columna de agua. La señal de retrodispersión del sedimento suspendido es proporcional a la concentración de partículas, la cual se puede medir con sensores acústicos. Además, la información obtenida a partir de la señal de retrodispersión puede ser usada para estimar la tasa de erosión o acumulación de sedimentos en los lechos de ríos o cuerpos de agua.

2.3.6 Bases conceptuales de Estadística

Teniendo en consideración las publicaciones de "Coeficiente de correlación de Pearson: reducción de ruido en el procesamiento" (Benesty et al., s.f.), "Correlación y regresión lineal simple" (K. H. Zou et al., 2003), "Coeficientes de correlación de Spearman" Myers y Si-rois (2004), "Correlación y regresión lineal simple" (K. H. Zou et al., 2003), "Regresión lineal múltiple" Eberly (2007), "Análisis de varianza (ANOVA) comparando las medias de más de dos grupos" (Kim, 2014), "Análisis de regresión logística aplicado" (Menard, 2002), "Análisis de regresión de Poisson de datos no agrupados" (Loomis et al., 2005), "Análisis de correlación canónica: una visión general con aplicación a métodos de aprendizaje" (Hardoon et al., 2004), "Análisis de componentes principales" (Wold et al., 1987) y "Problemas en el uso e interpretación del análisis discriminante" (Huberty, 1984). A continuación se definen los principales conceptos estadísticos usados en ésta investigación.

2.3.6.1 Número de pares de datos

El número de pares de datos es una medida estadística que indica la cantidad de observaciones o registros que se tienen en una muestra o población. Este número es importante para determinar la validez estadística de los análisis posteriores, ya que una muestra muy pequeña puede no ser representativa de la población completa y puede llevar a resultados sesgados.

2.3.6.2 Error aleatorio

El error aleatorio es una medida estadística que representa la variabilidad natural en los datos que no puede ser explicada por las variables incluidas en el análisis. Es un tipo de error que se espera en cualquier estudio y se debe a la variación natural de los datos. Es importante tener en cuenta el error aleatorio al interpretar los resultados de un análisis estadístico, ya que puede afectar la precisión de las conclusiones.

2.3.6.3 Variable dependiente

La variable dependiente es una medida o característica que se espera que varíe en función de la variable independiente. Es la variable que se mide o se observa para determinar el efecto de la variable independiente en el resultado. En un experimento, la variable dependiente es el resultado que se está midiendo para ver cómo es afectado por la variable independiente.

2.3.6.4 Variable independiente

La variable independiente es una medida o característica que se manipula o controla en un experimento para ver su efecto en la variable dependiente. Es la variable que se cree que está causando el cambio en la variable dependiente. En un experimento, la variable independiente se manipula para ver cómo afecta el resultado.

2.3.6.5 Coeficientes de regresión

Los coeficientes de regresión son medidas estadísticas que representan la relación entre dos o más variables en un modelo de regresión. Los coeficientes de regresión se utilizan para determinar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes. Un coeficiente de regresión positivo indica una relación positiva entre las variables, mientras que un coeficiente de regresión negativo indica una relación inversa.

2.3.6.6 Término de error

El término de error es una medida estadística que representa la variabilidad de los datos que no puede ser explicada por las variables incluidas en el análisis. Es similar al error aleatorio, pero se utiliza específicamente en modelos de regresión. El término de error se utiliza para explicar la variación en los datos que no se puede atribuir a la relación entre la variable dependiente y las variables independientes.

2.3.6.7 Media global

La media global es una medida estadística que representa el valor promedio de un conjunto de datos. Es la suma de todos los valores dividido por el número total de valores. La media global es una forma común de resumir los datos en un solo valor representativo.

2.3.6.8 Probabilidad

La probabilidad es una medida estadística que representa la posibilidad de que ocurra un evento. Es un número entre 0 y 1, donde 0 indica que el evento nunca ocurrirá y 1 indica que el evento siempre ocurrirá. La probabilidad se utiliza en estadística para predecir la ocurrencia de eventos y es esencial en muchos campos, incluyendo la ciencia, la ingeniería y las finanzas.

2.3.6.9 Media de la variable de conteo

La media de la variable de conteo es una medida estadística que se utiliza para analizar datos de conteo. El conteo se refiere a la frecuencia con la que ocurre un evento en particular. La media de la variable de conteo es simplemente el número total de eventos dividido por el número de observaciones. Esta medida se utiliza para describir la tendencia central de los datos y es útil para comparar los conteos en diferentes grupos.

2.3.6.10 Correlación canónica

La correlación canónica es una técnica estadística que se utiliza para evaluar la relación entre dos conjuntos de variables. La correlación canónica se utiliza para encontrar patrones de asociación entre dos conjuntos de variables, de modo que la correlación máxima se encuentre entre ellas. Esta técnica se utiliza a menudo en análisis de datos multivariados, como el análisis de componentes principales y el análisis discriminante.

2.3.6.11 Matriz de covarianza

La matriz de covarianza es una medida de la variabilidad conjunta de dos o más variables. La matriz de covarianza describe la relación entre las variables y se utiliza para evaluar la dirección y fuerza de la relación entre las variables. La diagonal de la matriz de covarianza muestra la varianza de cada variable, mientras que los elementos fuera de la diagonal muestran la covarianza entre pares de variables.

2.3.6.12 Vectores de peso canónicos

Los vectores de peso canónicos son un conjunto de vectores utilizados en la técnica estadística de correlación canónica. Los vectores de peso canónicos son utilizados para representar las relaciones lineales entre dos conjuntos de variables. Estos vectores muestran la combinación lineal de las variables que mejor explica la relación entre los dos conjuntos de variables.

2.3.6.13 Valor de componente principal

El valor de componente principal es una medida estadística que se utiliza en análisis de componentes principales. Esta medida representa la cantidad de varianza de los datos que es explicada por una determinada componente principal. Los valores de componente

principal son útiles para evaluar la importancia relativa de cada componente principal en la descripción de los datos.

2.3.6.14 Peso de variable

El peso de una variable es una medida de la importancia relativa de una variable en una técnica estadística específica. El peso de una variable es una combinación de los coeficientes de la variable en una ecuación específica, y se utiliza para evaluar la importancia relativa de cada variable en la ecuación. Los pesos de variables son útiles para determinar qué variables son más importantes en un análisis estadístico.

2.3.6.15 Variable discriminante

Una variable discriminante es una variable que se utiliza para distinguir entre dos o más grupos en un análisis estadístico. La variable discriminante se selecciona de tal manera que sea capaz de distinguir entre los grupos de manera efectiva. Las variables discriminantes se utilizan comúnmente en análisis discriminantes, que son técnicas estadísticas utilizadas para clasificar observaciones en diferentes grupos.

2.3.6.16 Variable original

La variable original es la variable sin procesar que se recopila en una investigación. Esta variable es la medida directa de un fenómeno que se está estudiando. Las variables originales se utilizan comúnmente en análisis estadísticos y se pueden transformar o combinar para formar nuevas variables.

2.3.6.17 Coeficientes de combinación lineal

Los coeficientes de combinación lineal son utilizados en estadística para combinar dos o más variables en una nueva variable que posea una información más compacta. Esta combinación se hace mediante una fórmula matemática lineal que implica los coeficientes. A través de los coeficientes de combinación lineal, es posible simplificar los datos y reducir la dimensionalidad del problema. La combinación lineal puede utilizarse para hacer una regresión lineal múltiple y predecir el valor de una variable dependiente basándose en múltiples variables independientes.

2.3.6.18 Mediana

La mediana es un valor numérico que representa el valor central de un conjunto de datos. Para calcular la mediana, se ordenan los datos de menor a mayor y se encuentra el valor que se encuentra en la mitad de la distribución. Si la cantidad de datos es par, la mediana se define como el promedio de los dos valores centrales. La mediana es una medida de tendencia central que se utiliza para describir el conjunto de datos, especialmente si los datos son asimétricos o tienen valores atípicos que pueden afectar la media aritmética.

2.3.6.19 Media

La media aritmética es una medida de tendencia central que se calcula sumando todos los valores de un conjunto de datos y dividiendo la suma por la cantidad de valores en el conjunto. La media es una medida estadística común que se utiliza para describir el conjunto de datos. Es importante tener en cuenta que la media es sensible a valores extremos o valores atípicos, lo que puede afectar su capacidad para describir el conjunto de datos en su totalidad.

2.4 BASES EPISTEMIOLÓGICAS

El estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica es un tema complejo y multidisciplinario que se basa en varias premisas epistemológicas fundamentales.

En primer lugar, la epistemología del conocimiento científico establece que la ciencia busca explicar y comprender el mundo natural a través de la observación y la experimentación. En este sentido, el estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica se basa en la idea de que podemos entender mejor la dinámica de los ríos y su relación con el medio ambiente a través de la observación de los patrones de retrodispersión acústica de los sedimentos suspendidos. Como señalan [R. Huang y Zhang \(2021\)](#); [Ruben et al. \(2020\)](#); [Szupiany et al. \(2019\)](#), la retrodispersión acústica es una técnica no invasiva y eficiente que se puede utilizar para medir la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos y arroyos.

En segundo lugar, la epistemología del método científico enfatiza la importancia de la objetividad, la replicabilidad y la verificación empírica en la investigación científica. En el estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica, esto se refleja en la necesidad de utilizar instrumentos de medición precisos y estandarizados para obtener datos confiables y reproducibles, y en la verificación empírica de las hipótesis y modelos teóricos a través de la comparación con datos de campo y de laboratorio.

Como señalan [Armijos et al. \(2017, 2013\)](#); [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#); [Ruben et al. \(2020\)](#); [Szupiany et al. \(2019\)](#), la medición de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos es un desafío técnico y práctico debido a la complejidad del ambiente fluvial y la influencia de múltiples factores ambientales y antropogénicos. Sin embargo, el uso de la retrodispersión acústica ha demostrado ser una técnica precisa y confiable para medir la concentración de sedimentos suspendidos en grandes ríos ([Szupiany et al., 2019](#)).

En tercer lugar, la relación entre la teoría y la observación empírica es una de las premisas fundamentales de la epistemología científica. En el caso del estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica, esto implica que las observaciones empíricas de los patrones de retrodispersión acústica se utilizan para probar y refinar los modelos teóricos que explican la dinámica de los sedimentos suspendidos en los ríos.

Como señalan [Ruben et al. \(2020\)](#), los modelos matemáticos son una herramienta importante para comprender y predecir la dinámica de los sedimentos suspendidos en los ríos. Los modelos teóricos permiten a los investigadores identificar los factores que influyen en la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos y arroyos, y cómo estos factores

interactúan entre sí. Sin embargo, la validación empírica de los modelos teóricos es esencial para garantizar que sean útiles y aplicables en la práctica. La retrodispersión acústica es una técnica que proporciona datos empíricos precisos y confiables que se pueden utilizar para validar y refinar los modelos teóricos de la dinámica de los sedimentos suspendidos en los ríos.

Por último, la epistemología del conocimiento interdisciplinario es relevante para el estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica, ya que este campo de investigación involucra la interacción entre disciplinas científicas como la hidroacústica, hidráulica fluvial, sedimentología y estadística. En este sentido, los enfoques interdisciplinarios pueden mejorar nuestra comprensión de los procesos naturales complejos, como la dinámica de los ríos y la influencia de la actividad humana en los sistemas fluviales.

En conclusión, el estudio de la concentración de sedimentos suspendidos fluviales mediante retrodispersión acústica se basa en premisas epistemológicas fundamentales de la ciencia, como la observación empírica, objetividad, verificación empírica, relación entre la teoría y observación, y la interdisciplinariedad. La retrodispersión acústica es una técnica no invasiva y eficiente que permite realizar mediciones de concentración de sedimentos suspendidos en grandes ríos. Esto puede ser usado para validar y refinar modelos teóricos de dinámica de sedimentos suspendidos en ríos. Asimismo, la interacción entre disciplinas científicas es relevante en este campo de investigación, ya que los enfoques interdisciplinarios pueden mejorar nuestra comprensión de los sistemas fluviales y la influencia de la actividad humana en ellos.

CAPÍTULO III: ESTADO DE ARTE

En los últimos años, el estudio de la concentración de sedimentos suspendidos de ríos ha recibido una atención creciente en la comunidad científica debido a su importancia en el diseño, conservación y prevención de estructuras que se realizan y proyectan sobre el cauce de los ríos (Arora, Kumar, y Singal, 2022; R. Huang y Zhang, 2021; Nikora y Goring, 2002; Voulgaris y Meyers, 2004). Sin embargo, a pesar de los avances significativos que se han realizado en éste campo, todavía existen brechas importantes debido a los altos costos y dificultad para realizar mediciones continuas o permanentes y así cubrir todo el hidrograma del río (J. R. Gray y Gartner, 2009; Hsu y Cai, 2010; Ruben et al., 2020; Szupiany et al., 2019).

El propósito de éste estado de arte es realizar una revisión exhaustiva de la literatura previa relacionada a ésta investigación, con el objetivo de identificar las tendencias y desafíos actuales.

Este estado de arte se utilizará para establecer el contexto y relevancia de la presente investigación. Se presentará un resumen de investigación y conclusión, asimismo se identificará la brecha o vacío existente de dicha investigación; esto nos permitirá dar una visión completa de cómo la presente investigación contribuirá para una comprensión más profunda de los sedimentos mediante el uso de la técnica backscatter como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos en ríos de Amazonía peruana.

En resumen, éste estado del arte proporcionará una base sólida para ésta investigación y permitirá comprender mejor el contexto y su relevancia.

Dado que el estudio de un río involucra múltiples parámetros, en la tabla 3.2 se enumeran los principales parámetros que se estudian en ríos amazónicos, asimismo se adjunta la variabilidad de dicho parámetro como la cantidad de investigaciones existentes respecto a cada parámetro.

TABLA N° 3.1: Principales parámetros de estudio para ríos amazónicos desde el punto de vista de la hidrología, hidráulica fluvial y sedimentología

Id	Parámetro	Simbolo	Unidad	Variabilidad de parámetro	Documentación o estudios existentes
1	Caudal	Q	m^3/s	Alta (varía en función de las precipitaciones)	Abundante
2	Velocidad del agua	v	m/s	Alta (varía según el caudal, la topografía y la vegetación)	Abundante
3	Pendiente	S	m/m	Baja (cambia poco en tramos cortos de un río)	Abundante
4	Sinuosidad	k	—	Moderada (depende del grado de meandrismo del río)	Abundante
5	Profundidad	h	m	Alta (varía en función del caudal y la geometría del cauce)	Abundante
6	Ancho del cauce	W	m	Alta (varía en función del caudal y la geometría del cauce)	Abundante
7	Régimen de lluvia	P	mm	Alta (varía según el clima y la temporada)	Abundante
8	Turbidez	NTU	NTU	Alta (varía según la concentración de sedimentos)	Moderada
9	Concentración de sedimentos	CC	mg/L	Alta (varía según la erosión y la sedimentación)	Limitada
10	Transporte de sedimentos suspendidos	G_{ss}	Tn/año	Alta (varía según el caudal y la concentración de sedimentos)	Limitada
11	Transporte de sedimentos de carga de lecho	G_{sf}	Tn/año	Alta (varía según el caudal y la geometría del cauce)	Limitada
12	Diámetro de sedimento	ϕ	μm	Alta (varía según la erosión y la sedimentación)	Abundante
13	Geometría del cauce	—	m	Moderada (depende de la sinuosidad y la pendiente del río)	Abundante

Nota: Elaboración propia teniendo en consideración los libros de: "Hidráulica fluvial" (Dingman, 2009), "Ingeniería de ríos" (Vide, 2009), "Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales" (Basile, 2018), "Ingeniería de sedimentación: procesos, mediciones, modelado y práctica" (García, 2008) y "Ríos de Montaña" (Wohl, 2013)

A continuación se presentan las investigaciones más relevantes relacionadas con cada parámetro de estudio relevante para esta investigación, dichas investigaciones son presentadas por cada parámetro y agrupados acorde a las variables presentados por la matriz de consistencia en el Anexo 06.

3.1 INVESTIGACIONES MÁS RELEVANTES PARA ÉSTA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigaciones de morfología fluvial en:

3.1.1.1 Dinámica fluvial

1. "Hidrogeomorfología de canales meándricos asimétricos: experimentos y evidencia de campo". (Abad, Motta, et al., 2023)

Resumen:

Esta investigación se centra en el estudio de la hidrogeomorfología de los meandros asimétricos, con un enfoque en los meandros con curvas aguas arriba y aguas abajo con ajuste sesgado. Se presentan experimentos y evidencia de campo para analizar la estructura de flujo tridimensional, patrones erosivos, patrones de deposición y patrones de migración lateral.

Conclusiones:

Conclusión: Los resultados muestran que los procesos no lineales afectan directamente el desarrollo de la estructura de flujo, patrones de erosión y deposición, y los patrones de migración lateral.

Brecha o vacío:

Aún hay una brecha en la comprensión de cómo los procesos no lineales afectan la hidrogeomorfología de los meandros asimétricos. Se necesitan más estudios para comprender mejor cómo los procesos no lineales afectan la estructura de flujo, los patrones erosivos y de deposición, y los patrones de migración lateral.

2. "El lugar de nacimiento del río Amazonas, una confluencia de ríos anabranching y meándricos". (L. Guerrero et al., 2022)

Resumen:

Esta investigación se enfoca en el análisis de la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali, que es el lugar de nacimiento del río Amazonas. Se realizaron diferentes escalas de análisis para entender el comportamiento local y general de estos ríos. Se encontró que la confluencia de los grandes ríos debe ser analizada desde diferentes perspectivas.

Conclusiones:

Los estudios anteriores sobre confluencias se enfocaron principalmente en el lugar o área de la confluencia, sin embargo, esta investigación muestra la importancia de tener diferentes escalas de análisis para entender el comportamiento de los grandes ríos. Se encontró que la confluencia entre los ríos Marañón y Ucayali está dominada por la migración de barras o migración de curvas presentes en el río Ucayali.

Brecha o vacío:

Aunque esta investigación ha mostrado la importancia de tener diferentes escalas de análisis para entender el comportamiento de los grandes ríos, es necesario completar

estos análisis con más campañas de campo para lograr una comprensión completa.

3. "Dinámica de formas de planta y procesos de corte en el bajo río Ucayali, Amazonía peruana". ([Abad et al., 2022](#))

Resumen:

Esta investigación examinó los procesos dinámicos planimétricos y procesos de corte en el río Ucayali inferior de la Amazonía peruana. Se realizaron mediciones remotas y de campo para entender la dinámica de los meandros y procesos de corte.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los procesos de corte pueden producir cambios significativos en la configuración de los meandros del río Ucayali. Se recomienda una vigilancia hidrogeomorfológica a largo plazo para entender mejor los procesos de corte y la adaptación morfodinámica de la planimetría cerca de la ciudad de Jenaro Herrera.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó los efectos de los eventos extremos y el cambio climático en la dinámica del río, así como los efectos de las actividades antropogénicas. Estos factores deben ser considerados en futuras investigaciones para comprender mejor la dinámica del río Ucayali.

4. "Caja de herramientas estadísticas de meandro (MStaT): una caja de herramientas para la caracterización geométrica de curvas en grandes canales meandriformes". ([Ruben, Naito, Gutierrez, Szupiany, y Abad, 2021](#))

Resumen:

Esta contribución presenta MStaT, un software de código abierto basado en wavelet desarrollado para proporcionar una caracterización detallada de la morfodinámica de grandes ríos meandros. MStaT integra tres módulos independientes:

- i) Módulo de morfometría meándrico
- ii) Módulo de migración
- iii) Módulo de confluencia

MStaT ofrece un marco a corto y medio plazo para analizar la relación entre la línea central del río y el valle meandrante con bajo costo computacional.

Conclusiones:

MStaT es una herramienta útil para caracterizar la geometría de los meandros a gran escala. Esta herramienta proporciona información cuantitativa sobre la distribución espacial de la longitud de arco, tasas de migración, eventos de corte e influencia de los canales tributarios.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación actual es la extensión del marco para incluir la caracterización de sistemas de múltiples canales, como los ríos entrelazados y los ríos anabranching. En el estudio de tales sistemas, los parámetros a analizar deben incluir la geometría de las islas, bifurcaciones y ángulos de unión.

5. "Dinámica de la morfología en planta de la estructura Anabranching de Iquitos en el río Amazonas superior peruano". ([Mendoza et al., 2016](#))

Resumen:

El estudio analizó la dinámica de la migración de la forma en planta de una estructura Anabranching en el Amazonas Superior, cerca de la ciudad de Iquitos, Perú, utilizando imágenes de satélite, mediciones de campo y un modelo numérico hidrodinámico. El estudio cubre el período 1985-2014.

Conclusiones:

Los resultados del análisis morfodinámico muestran que el papel desempeñado por la geología en la migración de los canales es importante. Además, se encontró una correlación entre la sinuosidad de los canales Anabranching y la reestructuración de la llanura de inundación, que se realiza principalmente por los canales secundarios en estructuras Anabranching con sinuosidades medias a altas y por el canal principal en los casos de baja sinuosidad.

Brecha o vacío:

Se necesita más investigación para caracterizar las condiciones adecuadas para la formación de paleocanales. Además, se necesita investigación en zonas donde el río Amazonas es muy activo desde el punto de vista morfológico.

6. "Sobre el análisis de la dinámica del plan de término medio de los ríos meandriformes". ([Gutierrez y Abad, 2014](#))

Resumen:

Esta investigación se enfoca en el análisis de la dinámica planimétrica a mediano plazo de los meandros de los ríos. Se aplicó la transformada continua de wavelet para el análisis de señales de curvatura tanto de meandros sintéticos como de 52 realizaciones de 16 meandros naturales que van desde la clase B (meandros con una relación ancho-cinturón-lleno menor a 1.5) hasta la clase G (meandros con una relación ancho-cinturón-lleno mayor a 1.5). Esto proporciona información sobre la distribución espacial de su espectro de longitud de arco. Por lo tanto, representa una caracterización objetiva de los meandros.

Conclusiones:

Los picos en la curvatura de la línea central están fuertemente correlacionados con los de la MC (media de la curva de curvatura de un meandro, que se usa para determinar la línea central del valle), lo que sugiere:

- Una relación lineal entre ellos puede estar asociada a procesos de bancos

- En todos los demás casos, una relación no lineal más alta puede ser inducida por procesos hidrodinámicos autógenos.

Las amplitudes de planimetría (distancia ortogonal de la línea central de la MC) son normalmente distribuidas y van desde 2 a 20 anchos promedio del río.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de una mejor comprensión de los procesos autógenos que influyen en la dinámica de los meandros. Esto podría ser abordado mediante el uso de modelos numéricos para estudiar la influencia de los procesos autógenos (procesos que ocurren dentro de un sistema sin la influencia de factores externos) en la dinámica de los meandros.

7. "Modificación de la migración de meandros por fallas en las riberas". (Motta, Langendoen, Abad, y García, 2014)

Resumen:

Esta investigación se centró en el estudio de la influencia de la heterogeneidad horizontal y vertical de la llanura de inundación en los patrones de migración de meandros. Se realizaron simulaciones de migración de meandros idealizadas para una alineación inicial generada por una onda sinusoidal con una longitud de onda de 1000 m y un ángulo de cruce de 70° con respecto a la dirección del valle, lo que corresponde a una sinuosidad de 1.51. El ancho del canal inicial de 15 curvas es de 7494 m. El ancho del canal, caudal, pendiente del valle y coeficiente de rugosidad de Manning son 60 m, 120 m³/s, 0.0005 m/m y 0.030 m/s^{1/3}, respectivamente. Se utilizaron dos métodos para caracterizar cuantitativamente la frecuencia de los eventos de falla planar (tipo de falla en la que una superficie de deslizamiento se desliza en un plano paralelo a la superficie de la tierra). El primer método calcula el número de eventos de falla planar que ocurrieron durante la simulación, normalizados por el tiempo de simulación. El segundo método evalúa el volumen total de falla planar producido durante la simulación, normalizado tanto por la longitud del flujo dentro del parche de llanura de inundación menos cohesionado como por el tiempo de simulación, para obtener una medida de volumen por unidad de longitud por año.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que la heterogeneidad horizontal y vertical de la llanura de inundación afecta los patrones de migración de meandros. Los resultados muestran que la heterogeneidad vertical de la llanura de inundación afecta la frecuencia de los eventos de falla planar, mientras que la heterogeneidad horizontal afecta la distancia de erosión y el patrón de planforma.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación actual es el efecto de la heterogeneidad de la llanura de inundación en la migración de meandros en condiciones de cambio cli-

mático. Esto es importante para comprender cómo los meandros se adaptarán a los cambios en el régimen de flujo y la llanura de inundación en el futuro.

8. "Morfodinámica de los ríos amazónicos peruanos superiores, implicaciones en el transporte fluvial". ([Abad et al., 2013](#))

Resumen:

Esta investigación se enfoca en la variabilidad de los patrones de los canales encontrados en la cuenca del alto Amazonas, entendiendo su comportamiento morfodinámico y cómo estos procesos físicos podrían estar relacionados con el transporte fluvial, especialmente cuando hay nuevas inversiones en camino. Se han realizado mediciones de campo de alta resolución usando instrumentos acústicos y se han complementado con modelos matemáticos altamente resueltos para predecir los cambios morfodinámicos de estos ríos amazónicos para escalas de tiempo ingenieriles y geológicos.

Conclusiones:

Los ríos de la cuenca del alto Amazonas presentan diferentes tipos de patrones en planta, desde meándricos a canales anabranching desarrollados. Estas estructuras anabranching pueden alcanzar condiciones de equilibrio dinámico mediante la periodicidad en la aparición de estructuras anabranching a lo largo del río. El transporte fluvial requiere una comprensión profunda de estos patrones morfodinámicos y su evolución no sólo para escalas de tiempo ingenieriles, sino también para las escalas de tiempo geológicas.

Brecha o vacío:

Esta investigación se centra en la variabilidad de los patrones de canales encontrados en la cuenca del alto Amazonas, entendiendo su comportamiento morfodinámico y cómo estos procesos físicos podrían estar relacionados con el transporte fluvial, especialmente cuando hay nuevas inversiones en camino. Sin embargo, hay una brecha en la comprensión de cómo los patrones de canales cambian a lo largo del tiempo y cómo estos cambios afectan el transporte fluvial.

3.1.1.2 Parámetros morfométricos (Sinuosidad, Ancho, Pendiente, Profundidad, etc)

1. "Estimaciones globales del ancho del río bankfull a nivel de tramo utilizando análisis geoespacial de big data". ([Lin et al., 2020](#))

Resumen:

Esta investigación se centró en los factores de control estáticos de la variabilidad de la forma del canal, utilizando un modelo de aprendizaje automático para estimar el ancho de los ríos globales a la descarga de banco completo. Se utilizaron dos bases de datos recientes de ancho de ríos globales derivados de Landsat para crear un nuevo conjunto de datos de ancho de río a nivel de alcance para su uso en modelado hidrodinámico global.

Conclusiones:

Esta investigación concluyó que una ecuación geomorfológica tradicional (MT02) es válida para describir la relación entre descarga y ancho de los ríos globales por debajo de $60^{\circ}N$. Además, desarrolló un modelo de aprendizaje automático para predecir el ancho de los ríos a la descarga de banco completo.

Brecha o vacío:

A pesar de la precisión demostrada, estos anchos a menudo se tomaron en condiciones de flujo medio, mientras que el ancho de banco completo, un parámetro más significativo para los modelos hidrodinámicos, no se estimó globalmente. Esta brecha debe ser abordada para mejorar nuestro entendimiento de la variabilidad de la forma de los canales a escala global.

2. "Relaciones globales entre el ancho del río, pendiente, área de captación, longitud de onda del meandro, sinuosidad y caudal". (Frasson et al., 2019)

Resumen:

Esta investigación examina la relación entre la anchura del río, longitud de la meandro, sinuosidad, pendiente y caudal, y cómo estas relaciones se aplican a los ríos distribuidos en todo el mundo.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los estudios geomórficos clásicos generalmente se aplican a los ríos típicos de todo el mundo y que los ríos con características meándricas atípicas se pueden identificar mejor.

Brecha o vacío:

Esta investigación no aborda la relación de los parámetros estudiados respecto a los cambios climáticos. Esta es una brecha importante en el conocimiento que debe abordarse en futuras investigaciones.

3. "Monitoreo de la dinámica del canal del río utilizando técnicas de teledetección y SIG". (Langat, Kumar, y Koech, 2019)

Resumen:

Esta investigación examina la variabilidad temporal, tendencias de precipitaciones y caudal en la cuenca del río Tana en Kenia durante un período de 42 años. Así como el potencial de restauración forestal y conservación de los ecosistemas acuáticos para mejorar la calidad del agua y reducir la erosión del suelo. También se examinan los impactos de antropización al régimen de sedimentos de la cuenca, la deposición y destino del carbono orgánico, impacto del desarrollo de la cuenca en los bosques fluviales, dinámica y morfología de los ríos efímeros, estado hidromorfológico de los ríos, extracción de características de agua y detección de cambios, impacto de la morfología del lecho del río en el caudal y los niveles de agua. Asimismo evalúa el área de erosión/acreción lateral y la tasa de disminución del río.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que la variabilidad temporal y las tendencias de las precipitaciones y el caudal en la cuenca del río Tana en Kenia son importantes para comprender los cambios en la morfología del río y los impactos de las modificaciones humanas al régimen de sedimentos de la cuenca. Además, la restauración forestal y conservación de los ecosistemas acuáticos pueden ser una herramienta útil para reducir la erosión del suelo en la cuenca.

Brecha o vacío:

Esta investigación no estableció la relación entre los cambios de erosión y acreción a lo largo del canal y la escala de alcance debido a las diferencias características del alcance, como la erodibilidad, los peligros del canal de corriente y las condiciones riparias e hidráulicas de la sección.

4. "Alta curvatura impulsa la meandrización de los ríos". ([Sylvester, Durkin, y Covault, 2019](#))

Resumen:

Esta investigación examinó la relación entre la curvatura y la tasa de migración en siete grandes ríos de la cuenca amazónica. Se encontró que hay una relación cuasi lineal entre la curvatura local y la tasa de migración, con una ligera desviación de fase entre los dos. Además, la tasa de migración se desplazó hacia abajo con respecto a la curvatura de la curva, a una distancia que fue de 2.1 a 4.7 veces mayor que el ancho del canal.

Conclusiones:

Los resultados sugieren que la relación entre la curvatura de los meandros y la tasa de migración es relativamente simple. Los meandros comienzan después de un evento de corte como pequeñas curvas agudas que se desplazan rápidamente hacia abajo y luego experimentan una expansión más lenta asociada con curvaturas más bajas.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de información sobre la aplicabilidad general de la aproximación y los resultados. Se necesitan más estudios de campo de diferentes entornos para comprender la aplicabilidad general de la aproximación y los resultados.

5. "Extensión global de ríos y arroyos". ([Allen y Pavelsky, 2018](#))

Resumen:

Esta investigación analizó la geometría de los ríos y arroyos a nivel mundial, calculando la superficie total de los mismos. Se encontró que los patrones globales de cobertura de ríos y arroyos son consistentes a nivel mundial.

Conclusiones:

Esta investigación encontró que la superficie total de los ríos más anchos de 90 m es

de $404\,000\text{ km}^2$, un valor mayor que una estimación agregada anterior de $360\,000\text{ km}^2$. Los patrones globales de cobertura de ríos y arroyos son similares y consistentes a nivel mundial.

Brecha o vacío:

Esta investigación no identificó ninguna brecha o vacío en el conocimiento actual. Se encontró que los patrones globales de cobertura de ríos y arroyos son similares y consistentes a nivel mundial.

6. "Evolución en planta de dos estructuras anabranching en el Alto Río Amazonas peruano". [\(Frias et al., 2015\)](#)

Resumen:

Esta investigación presenta un estudio para relacionar la sinuosidad del canal principal y su efecto en la dinámica de los canales secundarios de estructuras anabranching. Se seleccionaron dos ubicaciones del Río Amazonas peruano:

- i) Un sitio con un canal principal de mediana a alta sinuosidad (sitio: Muyuy, Perú)
- ii) Un sitio con un canal principal de baja sinuosidad (sitio: La triple frontera entre Brasil, Colombia y Perú)

Se realizó un análisis temporal de la evolución en planta utilizando 30 años de imágenes de satélite, de los cuales se calcularon métricas como ancho, sinuosidad y tasas máximas anuales de migración de los canales principales y secundarios. Además, se llevaron a cabo mediciones detalladas de hidrodinámica y morfología del fondo, y se desarrolló un modelo numérico bidimensional de aguas poco profundas.

Conclusiones:

Los resultados muestran que para una estructura anabranching con un canal principal de mediana a alta sinuosidad, los canales secundarios presentan un mecanismo dominante para remodelar la llanura de inundación, mientras que para una estructura anabranching de baja sinuosidad, la dinámica en planta del canal principal es dominante.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en esta investigación es que no se abordaron los efectos de la variación de la sinuosidad del canal principal en la dinámica de los canales secundarios en otros ríos anabranching. Esto podría ser un tema interesante para futuras investigaciones.

7. "Caracterización de las confluencias en ríos sinuosos libres de la cuenca del Amazonas". [Gutierrez, Abad, Choi, y Montoro \(2014\)](#)

Resumen:

Esta investigación se enfoca en el estudio de la configuración planimétrica de los confluente en ríos meándricos tropicales ubicados en la cuenca del Amazonas. Se reali-

zó un análisis de wavelet en la curvatura de los canales para cuantificar la extensión de la región transicional. Los resultados indican que la fuerza de estas inestabilidades transicionales dependen en algún grado del cociente de ancho de confluencia (β); tales que para ($\beta \geq 0.45$), se desarrollan inestabilidades marcadas. Estos cambios generales se observan en la configuración planimétrica de los canales conectados a la confluencia.

Conclusiones:

Los resultados muestran que no hay una relación evidente entre el ángulo de confluencia y la longitud de la región transicional; sin embargo, hay algún grado de dependencia entre el ángulo de confluencia y la longitud de onda del canal post-confluente (es decir, los valores más altos de la longitud de onda corresponden a ángulos de confluencia normales)

Brecha o vacío:

Existe una brecha en la comprensión de los patrones espaciales de escarificación (forma en que el flujo de agua erosiona el lecho del río, creando una variedad de estructura como: bancos, barras, canales, etc.) y llenado en relación con los patrones espaciales de estructura de flujo y transporte de carga de fondo durante los eventos de formación de canales. Se necesitan más estudios en ríos tropicales (meándricos y anabranching) para cuantificar la interrelación entre la morfodinámica y la hidrodinámica de estos ríos, y su vinculación con la dinámica de confluencia.

3.1.1.3 Paleocauces

1. "Las dinámicas de los ríos libres y carroñeros dominan la gran estructura del humedal amazónico Pacaya-Samiria" ([Abad, Rojas, Roque, Latrubesse, y Shan, 2023](#)).

Resumen:

Esta investigación examinó la hidrogeomorfología del humedal tropical del Pacaya Samiria en el Perú. Se encontró que los paleocanales regulan el drenaje de los humedales dentro de la depresión Ucamara, apoyando la estancia de agua estacional, cobertura vegetal y formación de detritos ricos en carbono. El Río Ucayali domina la dinámica fluvial del humedal Pacaya Samiria, desempeñando un papel clave en la formación de la complejidad de los arroyos y lagos.

Conclusiones:

La hidrogeomorfología del humedal tropical de Pacaya Samiria juega un papel importante en la distribución de hábitats acuáticos.

Brecha o vacío:

La brecha de investigación se refiere al impacto de la actividad humana en la hidrogeomorfología del humedal tropical del Pacaya Samiria. Esto incluye el impacto de la agricultura, ganadería, minería, construcción de carreteras, deforestación, contaminación y otros factores antropogénicos. Esta investigación podría abordar cómo estos

factores afectan la dinámica fluvial, estancia de agua estacional, cobertura vegetal y formación de detritos ricos en carbono.

2. "Dinámica de los lagos de llanura de inundación en la cuenca del Alto Amazonas durante el Holoceno tardío". (Quintana-Cobo et al., 2018)

Resumen:

Esta investigación examinó los sedimentos de los ríos Amazonas y sus principales afluentes. Se encontró que los sedimentos de los ríos Amazonas y sus principales afluentes presentan diferentes características en términos de carga de sedimentos, sinuosidad y flujo de agua.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los sedimentos de los ríos Amazonas y sus principales afluentes presentan diferentes características en términos de carga de sedimentos, sinuosidad y flujo de agua. Los niveles de densidad aparente de los sedimentos variaron entre 0.31 g/cm^3 y 1.65 g/cm^3 , con una predominancia de arcillas y limos finos. El contenido de carbono orgánico total varió entre 0.25% y 11.7%, con una mayor concentración en el núcleo LAG1.

Brecha o vacío:

Una brecha de investigación importante que surge de esta investigación es el impacto de los cambios climáticos en la erosión de los Andes y la reanudación de la migración meandrica y el fortalecimiento de las inundaciones extremas.

3.1.2 Investigaciones de Hidrodinámica en:

3.1.2.1 Caudal

1. "Dinámica de la conectividad del agua superficial en una llanura inundable de río meándrico de baja pendiente". (Czuba, David, Edmonds, y Ward, 2019)

Resumen:

Esta investigación se centró en el análisis de la conectividad hidrológica entre el río y la llanura de inundación. Se analizó el flujo en el río, los patrones espaciales de inundación, los caminos de flujo, el intercambio río-llanura de inundación y el tiempo de residencia del agua en la llanura de inundación. Se encontró que el flujo de banco completo es un concepto simplificado para explicar la conectividad río-llanura de inundación, ya que algunas orillas del arroyo se sobrepasan y los principales canales de llanura de inundación bajos se inundan aproximadamente 19 días al año.

Conclusiones:

A medida que aumentaba el flujo, la inundación de los canales de llanura de inundación a mayores elevaciones seccionaba la llanura de inundación, hasta que los canales de llanura de inundación se inundaron completamente. Además, se encontró que el intercambio río-llanura de inundación estaba controlado por la altura de la orilla o la

orientación del canal, dependiendo de las condiciones de flujo.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es el hecho de que no se han realizado estudios a largo plazo para evaluar la conectividad hidrológica entre el río y la llanura de inundación. Esto podría ayudar a comprender mejor cómo los cambios en el flujo afectan la conectividad hidrológica a largo plazo.

2. "Relación nivel-caudal en flujo no uniforme basada en la ecuación de Strickler-Manning en la cuenca del Amazonas". (Alves, da Silva, Filizola, y Pruski, 2017)

Resumen:

Esta investigación sugiere que la relación caudal-nivel debe basarse en la ecuación de Strickler-Manning para el caso de flujo no uniforme. La pendiente se calculó a partir de la diferencia de niveles entre la estación principal y una estación de personal ubicada a una docena de kilómetros aguas abajo. Los parámetros geométricos se obtuvieron como funciones del nivel del agua, basados en la descripción acústica de la sección transversal (medición de ADCP). El coeficiente de rugosidad se estimó para cada dato de medición.

Conclusiones:

Los resultados indicaron que la discretización de los datos utilizados para esta estimación por el método de medición podría mejorar la calidad de los datos generados, especialmente para el caudal máximo. Esta conclusión fue respaldada por análisis estadísticos que indicaron que el método de medición puede afectar significativamente la relación entre el coeficiente de rugosidad y el nivel del agua.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de análisis de los efectos de la variabilidad espacial y temporal en la relación caudal-nivel. Esto podría ser útil para mejorar la precisión de los modelos hidrológicos.

3.1.2.2 Patrón de flujo de velocidades primarias y secundarias

1. "Hidrodinámica, transporte de sedimentos y características morfológicas en la confluencia entre el río Yangtze y el lago Poyang". (Yuan et al., 2021)

Resumen:

Esta investigación se llevó a cabo para investigar la hidrodinámica, el transporte de sedimentos suspendidos y las características morfológicas de la confluencia de un gran río entre el Río Yangtze (el río más grande de China) y el canal de salida del Lago Poyang (el lago de agua dulce más grande de China). Se realizaron dos encuestas de campo para investigar la estructura de flujo, el transporte de sedimentos suspendidos y la morfología de la confluencia.

Conclusiones:

Los principales resultados de este estudio son: (1) se encontraron características de flujo similares a las descritas en estudios anteriores, como la estagnación del flujo, la desviación del flujo, la recuperación gradual del flujo y la capa de corte; (2) el transporte de sedimentos suspendidos fue influenciado por la velocidad del flujo y la dirección de la corriente; (3) se observó un agujero de escurrimiento en el medio del canal, que se mantuvo estable debido al transporte de sedimentos a lo largo de los flancos del agujero; (4) se encontraron células helicoidales en la confluencia, que pueden ser responsables de la formación del agujero de escurrimiento.

Brecha o vacío:

Aunque se han realizado muchos estudios sobre la dinámica de las confluencias de canales pequeños y medianos, hay una brecha en el conocimiento de los procesos hidro-morfo-sedimentarios en las confluencias de canales grandes. Esta investigación contribuye a llenar esta brecha al investigar la hidrodinámica, el transporte de sedimentos suspendidos y las características morfológicas de la confluencia de un gran río.

2. "Evaluación de las opciones de procesamiento de ADCP para la identificación del flujo secundario en las intersecciones de ríos". ([Moradi, Vermeulen, Rennie, Cardot, y Lane, 2019](#))

Resumen:

Esta investigación se centra en la inferencia de flujos secundarios a partir de datos de ADCP y preocupaciones sobre la suposición de que el flujo es homogéneo en los volúmenes de fluido definidos por los rayos acústicos emitidos desde un ADCP. Se han hecho aplicaciones a formas de lecho fluvial, curvas, encrucijadas, bifurcaciones, cañones, deltas y corrientes de gravedad. Se ha demostrado la necesidad de hacer mediciones de sección repetidas y procesar estos datos cuidadosamente.

Conclusiones:

El método propuesto produce resultados diferentes a los enfoques de procesamiento de datos más convencionales en la presencia de fuertes cortes. Sin un tercer conjunto de datos totalmente independientes, no se puede demostrar concluyentemente cuál es el mejor método, pero el método propuesto implica menos promedios y, por lo tanto, es probablemente más confiable en la presencia de fuertes cortes.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de un tercer conjunto de datos totalmente independientes para demostrar concluyentemente cuál es el mejor método para procesar los datos de ADCP.

3. "Simulación de gran escala de la dinámica hidrodinámica de una región natural de difluencia-confluencia del río Mississippi en condiciones de flujo base". ([Le et al., 2019](#))

Resumen:

Esta investigación se centró en el estudio de la dinámica de flujo en un río meándrico con confluencias y difluencias a escala de campo. Se realizaron mediciones de campo y simulaciones de alta resolución de LES (Simulación de esquema de elementos finitos de baja energía) para investigar el mecanismo de la dinámica de flujo en la confluencia y difluencia.

Conclusiones:

Los resultados de la investigación muestran que la presencia de estructuras hidráulicas como puentes, defensas ribereñas y diques pueden tener un gran impacto en la dinámica de flujo y transporte de sedimentos en la región estudiada. Además, se encontró que la discordancia de la cama juega un papel significativo en la elevación de la energía cinética turbulenta a lo largo de la columna de agua vertical.

Brecha o vacío:

A pesar de los avances en el estudio de la dinámica de flujo en ríos meándricos, todavía hay una brecha en la comprensión de la influencia de la topografía de la cama en la dinámica de flujo en la confluencia y difluencia. Esta brecha debe ser abordada para mejorar la comprensión de la dinámica de flujo en estas áreas.

4. "Evaluación de datos para mediciones de perfiladores de corriente Doppler acústico obtenidos en ubicaciones fijas en un río natural". (Gualtieri, Ianniruberto, Filizola, Santos, y Endreny, 2017)

Resumen:

Esta investigación se centró en el estudio de la complejidad hidráulica de la confluencia de los ríos Negro y Solimões en la cuenca amazónica. Se aplicaron métricas M1 (magnitud del gradiente de velocidad promedio de profundidad horizontal) y M2 (magnitud de la diferencia entre la velocidad mínima y velocidad máxima promedio de profundidad) para caracterizar la complejidad hidráulica en condiciones de alto y bajo flujo. Los resultados mostraron que los patrones de complejidad hidráulica se mantuvieron invariables en el tiempo entre los flujos altos y bajos. Además, los patrones transversales y longitudinales de la métrica M2 capturaron la variación de la complejidad hidráulica a lo largo de la confluencia.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que las métricas M1 (magnitud del gradiente de velocidad promedio de profundidad horizontal) y M2 (magnitud de la diferencia entre la velocidad mínima y velocidad máxima promedio de profundidad) pueden ser útiles para caracterizar la complejidad hidráulica de una confluencia. Estas métricas pueden ser utilizadas junto con observaciones biológicas para explicar la riqueza biológica de una confluencia.

Brecha o vacío:

Una de las principales limitaciones de esta investigación es que solo se examinaron

los patrones de las métricas M1 y M2 bajo condiciones de bajo y alto flujo. Esto significa que no se examinaron los patrones de las métricas M1 y M2 bajo condiciones de flujo intermedio. Esto podría limitar la capacidad de la investigación para identificar áreas de alto y bajo flujo en condiciones de flujo intermedio.

5. "Variabilidad espacial en la resistencia del banco a la erosión en un río meándrico grande, con lecho mixto rocoso-aluvial". (Konsoer, Rhoads, Langendoen, et al., 2016)

Resumen:

Esta investigación se centró en dos curvas meándricas en el río Wabash cerca de Grayville, Illinois, EE. UU. Se realizaron mediciones de campo detalladas de las propiedades texturales, resistencia cohesiva y esfuerzo de cizallamiento crítico necesario para la entrega de sedimentos. Además, se investigó el papel de la vegetación riparia en las propiedades de resistencia a la erosión de los bancos. La heterogeneidad espacial de estas propiedades se investigó y se evaluaron los mecanismos responsables de la retirada de los bancos a lo largo de cada curva. Estos datos de campo se usaron para informar un modelo físicamente basado en la retirada de los bancos, y los resultados se compararon con patrones a corto y largo plazo de erosión de los bancos para abordar la influencia de la heterogeneidad en las propiedades de resistencia a la erosión de los bancos en la dinámica del plano de un gran río meándrico.

Conclusiones:

Los resultados de este estudio demuestran que la variabilidad espacial en las propiedades de resistencia a la erosión de los bancos del canal es un factor importante que contribuye a la variabilidad espacial en las tasas y mecanismos de erosión de los bancos determinados a partir de estudios a corto plazo de retirada de los bancos y análisis a largo plazo de los cambios en el plano del canal.

Brecha o vacío:

La brecha o vacío en esta investigación es la falta de estudios sobre la influencia de la variabilidad espacial en la resistencia a la erosión de los bancos en los canales de ríos meándricos de montaña. Esto es importante para comprender mejor cómo la variabilidad espacial en la resistencia a la erosión de los bancos afecta la dinámica del plano de los ríos meándricos de montaña.

6. "Estructura de flujo tridimensional y morfología del lecho en grandes bucles de meandro alargados con diferentes características de rugosidad en la ribera exterior". (Konsoer, Rhoads, Best, et al., 2016)

Resumen:

Esta investigación se enfoca en los patrones espaciales de la estructura de flujo tridimensional y la morfología del lecho dentro de dos bucles de meandro alargados, y examina cómo las diferencias en la rugosidad de la orilla externa influyen en los características de flujo cerca de la orilla. Los resultados indican que la estructura de flujo y

la morfología del lecho en estos grandes bucles alargados es similar a la de los bucles alargados pequeños, pero difiere algo de la estructura de flujo y la morfología del lecho reportadas para los bucles alargados experimentales.

Conclusiones:

Los resultados indican que la estructura de flujo y la morfología del lecho en estos grandes bucles alargados es similar a la de los bucles alargados pequeños, pero difiere algo de la estructura de flujo y la morfología del lecho reportadas para los bucles alargados experimentales. Además, se observan diferencias en los patrones de velocidad cerca de la orilla entre los dos bucles de meandro alargados, lo que sugiere que la rugosidad de la orilla externa influye en los patrones de flujo cerca de la orilla.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de estudios sobre la influencia de la rugosidad de la orilla externa en los patrones de flujo cerca de la orilla en bucles alargados de canales meandros grandes. Esta investigación proporciona una primera mirada a esta relación, pero se necesitan más estudios para comprender mejor cómo la rugosidad de la orilla externa influye en los patrones de flujo cerca de la orilla.

7. "Herramienta de mapeo de velocidad (VMT): un conjunto de procesamiento y visualización para mediciones ADCP de embarcaciones en movimiento". (Parsons et al., 2013)

Resumen:

Esta investigación se centró en el análisis de la velocidad de flujo en un tramo del río St. Clair (Michigan, Estados Unidos.). Se realizaron 18 secciones transversales para obtener datos de velocidad de flujo. Estos datos se proyectaron en el plano de la sección transversal a través de una traducción ortogonal. Los datos se promediaron para obtener la velocidad primaria y secundaria.

Conclusiones:

Los resultados muestran la convergencia y aceleración del flujo de salida del lago hacia el río St. Clair (Michigan, Estados Unidos) Superior, el desarrollo de una gran región de separación de flujo en la orilla este aguas abajo de la constricción principal y la desaceleración del flujo a medida que el canal se ensancha al final de la sección de estudio.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de análisis de los efectos a largo plazo del flujo en el río St. Clair (Michigan, Estados Unidos). Esto incluiría el impacto de la variación de la velocidad de flujo en la calidad del agua, vida silvestre y salud de los ecosistemas.

8. "Evaluación de datos para mediciones de perfilador de corriente doppler acústico obtenidas en ubicaciones fijas en un río natural". (Petrie, Diplas, Gutierrez, y Nam, 2013)

Resumen:

Esta investigación presenta una metodología para evaluar la calidad de los datos de velocidad obtenidos de una medición con perfilador acústico de corriente (ADCP) montado en un barco que se mantiene en una ubicación fija dentro de un canal. Se desarrollaron procedimientos para demostrar que el movimiento del ADCP no afectó adversamente las mediciones de velocidad de flujo fijo, establece la estacionariedad de los registros de velocidad y determina si el tamaño de la muestra es suficiente. Una vez verificada la fiabilidad de los datos de velocidad, se demuestra el procesamiento básico de los perfiles de velocidad promedio, incluida la rotación de los componentes de velocidad a un sistema de coordenadas basado en el flujo y estimación de la fuerza de arrastre que se ejerce sobre una superficie sólida por un fluido en movimiento y la rugosidad característica utilizando la ley de la pared (relación entre la velocidad del flujo y la distancia a la superficie sólida)

Conclusiones:

Los resultados muestran que la ley logarítmica de la pared es válida para la mayoría de los perfiles de velocidad promedio obtenidos durante el flujo anual medio. Además, se recomienda evaluar la estacionariedad utilizando ambas pruebas, ya que proporciona confianza en la estacionariedad del flujo.

Brecha o vacío:

Se necesita más trabajo para cuantificar un tiempo de registro aceptable para que una estadística en ejecución permanezca convergida.

9. "Células de circulación secundaria en confluencias de canales de río: ¿Artefactos de medición o estructuras de flujo coherentes?". ([Lane, 2000](#))

Resumen:

Esta investigación se centra en la representación de la circulación secundaria en los encuentros de canales de ríos. Se utilizó un modelo numérico basado en las ecuaciones de Navier-Stokes para abordar preguntas sobre la naturaleza y origen de los patrones de flujo en los encuentros de canales naturales. El modelo se verificó para aplicaciones de encuentros tanto en situaciones de túneles como en campo.

Conclusiones:

El modelo numérico utilizado en esta investigación fue capaz de representar adecuadamente los patrones de flujo en los encuentros de canales naturales. El método de Rozovskii seguido por [Rhoads y Kenworthy \(1995, 1998\)](#) fue eficaz para determinar la circulación secundaria en confluencias de canales.

Brecha o vacío:

Aunque el modelo numérico fue capaz de representar adecuadamente los patrones de flujo en las confluencias de canales naturales, todavía hay una brecha en la comprensión de los mecanismos subyacentes o complementarios que controlan la circulación

secundaria en las confluencias de canales.

3.1.3 Investigaciones de Sedimentología en:

3.1.3.1 Concentración de sedimentos

1. "Avance tecnológico en mediciones de sedimentos en suspensión y erosión de turbinas hidráulicas". (Arora et al., 2022)

Resumen:

Este estudio incluye una revisión exhaustiva de las técnicas recientemente desarrolladas para la medición continua de la concentración de sedimentos en suspensión (SSC) y la distribución de tamaño de partículas (PSD), ésto con motivo de su uso en la prevención de deterioro de turbinas hidráulicas. Además, se analizan las estrategias de medición de las propiedades de los sedimentos en suspensión, la erosión de los sedimentos en las turbinas hidráulicas, su pérdida de eficiencia y las implicaciones financieras, con un enfoque principal en el Himalaya.

Conclusiones:

El estudio concluye mencionando que las tecnologías recientemente desarrolladas basadas en OBS, difracción láser y retrodispersión acústica pueden capturar las variaciones temporales de las propiedades de los sedimentos en suspensión, como PSD y SSC. Asimismo, menciona que entre las diversas tecnologías, la difracción láser se considera confiable para la medición de PSD y SSC; y que las tecnologías de retrodispersión acústica son más aceptadas para la medición de SSC en una sección transversal ya que miden las variaciones en SSC respecto a la profundidad. Adicionalmente menciona que los turbidímetros son el instrumento más utilizado para mediciones continuas de SSC al desarrollar una relación lineal entre turbidez y SSC, pero solo nos proporcionan valores puntuales.

Brecha o vacío:

El vacío que menciona esta investigación es la necesidad de más investigaciones para así poder mejorar el rendimiento y precisión de mediciones con nuevas tecnologías sobre turbinas hidráulicas, esto a pesar de que en los últimos años se ha tenido una extensa investigación en el monitoreo de sedimentos en dicha área.

2. "Dinámica sedimentaria de un estuario tropical dominado por mareas: máximo de turbidez, manglares y el papel de la carga de sedimentos del Río Amazonas". (Asp et al., 2018)

Resumen:

Esta investigación examina la propagación de la marea y la dinámica de los sedimentos suspendidos en el estuario del Caeté en la Zona Costera del Atlántico Sur. Se realizaron sondeos batimétricos y sedimentológicos durante períodos de descarga alta y baja, y se realizaron una variedad de mediciones hidrodinámicas longitudinales y

transversales. Los niveles de agua se registraron en 10 puntos diferentes a lo largo de un tramo de 70 km, abarcando desde la primavera hasta las marcas de la marea baja.

Conclusiones:

Los resultados de este estudio muestran que el estuario del Caeté es un sistema dinámico con una gran variabilidad espacial y temporal. La variación de la descarga del río Caeté influye en la dinámica de los sedimentos suspendidos, la turbidez y la distribución de los bosques de mangle.

Brecha o vacío:

Una brecha que deja la investigación es el impacto de la variación de la descarga del río Caeté en la dinámica de los sedimentos suspendidos, turbidez y distribución de los bosques de mangle a largo plazo.

3. "Medición continua de la concentración de sedimentos en suspensión: avance tecnológico y perspectivas de futuro". (Rai y Kumar, 2015)

Resumen:

La investigación hace hincapié en la necesidad de datos frecuentes y precisos de concentración de sedimentos suspendidos (SSC) para el diseño, operación y gestión adecuada de los recursos hídricos. Menciona que el método tradicional de muestreo de SSC es insuficiente para la recolección de una gran cantidad de datos necesarios. Por el cual hace una revisión exhaustiva de las técnicas actuales de medición de SSC basados en diversos principios como la óptica, acústica, densidad y propiedades eléctricas de los sedimentos suspendidos.

Específicamente esta investigación se enfoca en los últimos desarrollos de tecnologías y técnicas para medición de sedimentos suspendidos, así como su principio básico de funcionamiento, ventajas, limitaciones y aplicaciones en el campo. Asimismo, discute en detalle su calibración el cual es un aspecto importante para estas tecnologías. Menciona que dicha investigación proporciona un valioso conocimiento para los investigadores y profesionales, agregando un entendimiento fundamental para seleccionar la tecnología de medición más adecuada para monitorear eficientemente y continuamente la concentración de sedimentos suspendidos.

Conclusiones:

Éste artículo concluye que factores como el cambio climático, intensidad de lluvias, monitorización ambiental y los altos requisitos de construcción han creado la necesidad de datos de concentración de sedimentos suspendidos de alta resolución. Menciona que ésta investigación es una visión general exhaustiva sobre las diferentes técnicas y métodos de monitoreo continuo para la obtención de concentración de sedimentos suspendidos. Asimismo, también menciona que cuando se requiere una resolución espacial y temporal alta de mediciones de concentración de sedimentos suspendidos, las tecnologías tradicionales son poco prácticas, costosas, requiere mucho tiempo y

son a menudo arriesgadas.

Brecha o vacío:

Ésta investigación menciona que entre las diferentes técnicas de medición continua de sedimentos suspendidos, el método basado en turbidez (difracción óptica) es la tecnología más comúnmente utilizada y la menos costosa en la medición de sedimentos suspendidos. Adicionalmente, hace énfasis que la tecnología basada en la acústica es la opción mas adecuada para la medición continua de la concentración de sedimentos suspendidos (SSC) a lo largo de una sección transversal debido a su capacidad única para medir de manera no invasiva su variabilidad respecto a la profundidad; el único problema o brecha de investigación que menciona ésta investigación es que las técnicas para convertir la señal capturada por la acústica en concentración de sedimentos suspendidos son complejas.

3.1.3.2 Transporte de sedimentos suspendidos

1. "Morfología y hidrodinámica del lecho del río en la confluencia de mega-ríos complejos: Un estudio en los ríos Branco y Negro, cuenca del Amazonas". (Marinho, Furtado, Dos Santos, Nascimento, y Junior, 2022)

Resumen:

Esta investigación examina la conexión entre el Río Negro y el Río Branco en el noroeste de la Amazonia. Se encontró que la diferencia en la descarga de agua, el ángulo de unión, la geometría de la conexión y la relación caudal/descarga resultan en un efecto de retroceso del Río Negro sobre el Río Branco. Estas diferencias en la concentración de sedimentos suspendidos se mantienen a larga distancia, resultando en una extensa zona de mezcla de agua que se puede observar a cientos de kilómetros aguas abajo. Esta peculiaridad dificulta la definición del límite final de la Zona de Mezcla de la Convención de Estocolmo (CHZ) en este mega río.

Conclusiones:

Los principales factores ambientales que controlan las características morfológicas de la conexión entre el Río Negro y el Río Branco son la neotectónica, la relación de descarga y la relación de momento. La actividad minera ilegal, el uso inadecuado de la tierra y la construcción de la presa Bem Querer en el Río Branco pueden desequilibrar el transporte de sedimentos y la descarga de agua en la región.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación es la falta de datos de campo para reducir las limitaciones en el análisis de datos presentado en este estudio. Esto incluye la evaluación de cómo varía la concentración de sedimentos suspendidos, la morfología del lecho del río y cómo ocurre la mezcla de agua a lo largo del tiempo. Esto podría ayudar a proponer acciones de conservación para estos importantes ríos en el noroeste de la Amazonia.

2. Mapeo del transporte de sedimentos en suspensión por métodos acústicos en un afluente del Pantanal ([Wosiacki, Suekame, Wood, Gonçalves, y Bleninger, 2021](#)).

Resumen:

Este estudio presenta una técnica innovadora de monitoreo de sedimentos: Mediante el uso del acústico Doppler.

Conclusiones:

En este trabajo, se demostró que el ADCP es una herramienta valiosa para el monitoreo y mapeo de la concentración y carga de sedimento suspendido en sistemas fluviales a través de la sección completa del río, desarrollando una correlación entre los datos de perfil acústico corregidos y las características de las muestras de sedimento. Menciona que dicha correlación se puede aplicar a mediciones pasadas y futuras realizadas con el ADCP para obtener estimaciones rápidas de la CSS cuando no sea práctico tomar muestras de forma tradicional, siempre y cuando las condiciones sean razonablemente similares a las cuando se desarrolló la correlación original. Los datos usados en éste estudio fueron solo los medidos en una sección transversal del Río Taquari (Brasil) ésto con el objetivo principal de obtener información de las mediciones de ADCP y SSC análisis de laboratorio de muestras de SS obtenidas por muestreo tradicional.

Brecha o vacío:

El vacío de ésta investigación es que a pesar de tener buenos resultados para la sección de estudio se debe tener cuidado de aplicar dicha correlación y estimar el sedimento suspendido solo cuando las características del sedimento (particularmente el tamaño de grano) y las fuentes sean razonablemente similares a las presentes cuando se desarrolló la correlación. Se menciona, que al aplicar la metodología en otros sitios, pueden ser necesarias mediciones permanentes de ADCP y SSC; adicionales al comienzo del estudio para así cuantificar los cambios en las características del sedimento y cuantificar incertidumbres que se puedan dar en laboratorio.

3. "El papel del suministro de sedimentos en el ajuste de la sinuosidad del canal en la cuenca del Amazonas". ([Ahmed, Constantine, y Dunne, 2019](#))

Resumen:

Esta investigación examinó la relación entre el suministro de sedimentos, la migración de meandros y el ajuste de la sinuosidad a lo largo de 16 tramos de ríos meándricos en la cuenca amazónica. Se encontró que los ríos con mayores cargas de sedimentos aumentan su sinuosidad más rápidamente que aquellos con cargas más pequeñas. Los meandros rotativos hacia abajo establecen barras de puntos más grandes que se expanden a lo largo del meandro, en contraste con los meandros extensionales, que tienen barras más pequeñas, y los meandros rotativos hacia arriba, que se caracterizan por la deposición sobre la cabeza de la barra.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación demuestran que el tamaño y la posición de las barras de puntos dentro de los meandros influyen en la ruta de flujo y, por lo tanto, controlan la dirección dominante del crecimiento del meandro. Los ríos con bajos suministros de sedimentos construyen barras de puntos más pequeñas, lo que reduce su capacidad para aumentar la curvatura del meandro y la sinuosidad resultante.

Brecha o vacío:

Aún no hay una declaración cuantitativa sobre cómo debe ajustarse la sinuosidad del canal en respuesta a la migración del meandro. Además, aún no se ha realizado una evaluación formal de la naturaleza de la relación entre la migración del meandro y la sinuosidad del canal. Esta investigación proporciona una primera evaluación cuantitativa de la relación entre el suministro de sedimentos, la migración de meandros y el ajuste de la sinuosidad.

4. "Impactos de las grandes presas en la complejidad de la dinámica de sedimentos en suspensión en el río Yangtze". (Wang, Rhoads, Wang, Wu, y Zhang, 2018)

Resumen:

Esta investigación proporciona una herramienta útil para evaluar cómo las actividades humanas han cambiado la complejidad dinámica de estos sistemas. Se ha demostrado que las represas reducen las cargas de sedimentos, pero el impacto de las represas en la variabilidad de los sistemas de sedimentos es poco comprendido. Esta investigación proporciona una visión de cómo las represas han influido en la dinámica de sedimentos en el río Yangtze y proporciona un método cuantitativo para evaluar la influencia humana en la dinámica de sedimentos en otros ríos.

Conclusiones:

Los resultados muestran que la construcción de grandes represas, como la represa Xiluodu y la represa Baihetan, puede cambiar la dinámica de sedimentos no solo en el río superior, sino también aumentar la variación de la dinámica de sedimentos aguas abajo. Los efectos de estas grandes represas deben ser evaluados cuando se investigan los cambios en la carga de sedimentos a escala de cuenca en investigaciones futuras.

Brecha o vacío:

Aunque se ha demostrado que las represas reducen las cargas de sedimentos, el impacto de las represas en la variabilidad de los sistemas de sedimentos sigue siendo poco comprendido. Esta investigación proporciona una herramienta útil para evaluar cómo las actividades humanas han cambiado la complejidad dinámica de estos sistemas, pero aún hay una brecha en la comprensión de cómo las represas afectan la variabilidad de los sistemas de sedimentos.

5. Dinámica del transporte de sedimentos suspendidos en los ríos: impulsores de varia-

ción temporal a múltiples escalas. ([Vercruysse et al., 2017](#))

Resumen:

Esta investigación examina los estudios previos sobre la dinámica de sedimentos suspendidos para demostrar cómo la interpretación de las fuentes y los aportes de sedimentos se ve influenciada por la escala temporal y la metodología del estudio. Para hacer esto, la revisión realiza lo siguiente:

- Resume los principales impulsores de la variación temporal en el transporte de sedimentos suspendidos en ríos.
- Evalúa críticamente los enfoques empíricos comunes utilizados para analizar y cuantificar las fuentes y las cargas de sedimentos así como su capacidad para tener en cuenta las variaciones temporales.
- Aplica estos hallazgos a estudios de casos recientes para ilustrar cómo el método y la escala de tiempo afectan la interpretación de la dinámica del transporte de sedimentos suspendidos.
- Sintetiza los resultados de la revisión en un conjunto de pautas para un enfoque multiescalar para caracterizar el régimen de sedimentos de un río.

Conclusiones:

Ésta investigación concluye en que vincular la dinámica del transporte de sedimentos suspendidos con los afluentes a lo largo de las escalas de tiempo para comprender sus interacciones de procesos es esencial para una predicción precisa de las concentraciones y carga de sedimentos suspendidos en los ríos, así también para el desarrollo de soluciones sostenibles a desafíos relacionados con los sedimentos como erosión, sedimentación y contaminación de arroyos.

Brecha o vacío:

La investigación menciona que actualmente no podemos capturar plenamente las dimensiones espaciales y temporales de los factores y procesos de transporte de sedimento a escala de cuenca lo cual es el origen de las concentraciones de sedimentos suspendidos en los ríos.

6. "Velocimetría de mapeo acústico". ([Muste et al., 2016](#))

Resumen:

Esta investigación presenta una innovadora combinación de técnicas de medición y protocolos de análisis que establece la prueba de concepto para una prometedora técnica, denominada Velocimetría de Mapeo Acústico (AMV). Esta técnica estima las tasas de carga de lecho en ríos que desarrollan formas de lecho utilizando un enfoque de medición no intrusivo. Los resultados de la validación de la técnica AMV muestran una buena correlación entre las mediciones directas y las estimaciones indirectas.

Conclusiones:

La técnica AMV es una herramienta prometedora para proporcionar una comprensión transformadora de los procesos de migración de formas de lecho. Los resultados de la validación de la técnica AMV muestran una buena correlación entre las mediciones directas y las estimaciones indirectas.

Brecha o vacío:

La brecha o vacío que tiene esta investigación es el monitoreo de las tasas de sedimento, que sigue siendo una tarea importante y desafiante tanto para la estimación de la carga suspendida como de la carga de lecho. Esta investigación busca llenar esta brecha al presentar una técnica innovadora para estimar las tasas de carga de lecho en ríos.

7. "El suministro de sedimentos como impulsor del meandramiento del río y la evolución de la llanura de inundación en la cuenca del Amazonas". ([Constantine, Dunne, Ahmed, Legleiter, y Lazarus, 2014](#))

Resumen:

Esta investigación examinó el papel de los suministros de sedimento impuestos externamente en la dinámica de la planificación de los ríos de baja altitud en toda la cuenca amazónica. Se encontró que los ríos con cargas de sedimento más altas experimentan tasas de migración de meandro más altas que aquellos con cargas de sedimento más bajas. Además, se encontró que los cortes de meandro también ocurren con mayor frecuencia a lo largo de los ríos con cargas de sedimento más altas.

Conclusiones:

Los resultados sugieren que el suministro de sedimento modula la remodelación del entorno de la planicie de inundación por los ríos meándricos. Se concluye que las cargas de sedimento impuestas influyen en la dinámica de los ríos de baja altitud en toda la cuenca amazónica.

Brecha o vacío:

Esta investigación deja una brecha en cuanto a cómo la antropización de los ríos afectan la forma de la planicie de inundación. Esto se debe a que la antropización de los ríos pueden tener un impacto significativo en la forma de la planicie de inundación, pero aún no se ha estudiado en profundidad.

8. Dinámica de sedimentos en suspensión en el río Amazonas del Perú ([Armijos et al., 2013](#)).

Resumen:

El artículo presenta un análisis de un conjunto de datos de siete años sobre la dinámica de carga de sedimentos en el río Amazonas de Perú. Los resultados muestran que el rendimiento de sedimentos de la cuenca amazónica de Perú es de $541 \cdot 10^6$ t/año, con el 70% proveniente de la cabecera de cuenca. El rendimiento suspendido está gobernado por un modelo simple con una relación entre el caudal del río y la concentración

de sedimentos. El efecto de dilución de las concentraciones puede crear histéresis en esta relación a nivel mensual.

Conclusiones:

La mayor parte del rendimiento de sedimentos proviene de los Andes y la llanura puede actuar como una fuente difusa o como una zona de sedimentación de aproximadamente del 20 – 50 % de la carga proveniente de los Andes.

Brecha o vacío:

Para estimar la tasa real de sedimentación, el rendimiento de sedimentos suspendidos que entra a través de los ríos Pastaza y Mamore debe ser cuantificados. Además, un conjunto de datos de precipitación de mayor resolución espacial y temporal (incluida la intensidad de lluvia) junto con un análisis más detallado de la topografía local y la sismicidad serían necesarios para entender la observación de que otra variable controla la tasa de erosión aparte del flujo anual.

9. "Aumento en la descarga de sedimentos en suspensión del Río Amazonas evaluado mediante una red de monitoreo y datos satelitales". (Martinez, Guyot, Filizola, y Sondag, 2009)

Resumen:

Esta investigación contribuye a la cuantificación de los procesos de erosión en uno de los principales ecosistemas naturales. Se utilizaron técnicas nuevas para cuantificar el transporte de sedimentos en el río Amazonas entre 1995 y 2007. Se combinaron datos de campo y de teledetección para producir una evaluación continua de la variabilidad interanual de la descarga de sedimentos del río Amazonas.

Conclusiones:

Los resultados muestran un aumento significativo en la descarga de sedimentos entre los periodos antes y después del ciclo hidrológico de 2001. Esto sugiere un cambio significativo en el régimen de transporte de sedimentos del río Amazonas. El aumento en la descarga de sedimentos puede atribuirse a procesos de erosión más fuertes causados por un cambio global (precipitación) o cambios regionales (por ejemplo, cambio de uso de la tierra resultante de la deforestación)

Brecha o vacío:

Aunque este estudio cubre los últimos 12 años, se necesitan más datos para llegar a una conclusión definitiva sobre el tema. Además, se necesitan más estudios para determinar si el cambio en la descarga de sedimentos se debe a un cambio en el patrón de lluvia o a otros factores.

3.1.3.3 Diámetro de sedimentos

1. "Comparación de concentraciones de sedimentos en suspensión y distribuciones de tamaño de partículas fluviales medidas con difracción láser en el flujo y en muestras

físicas". (Czuba, Straub, Curran, Landers, y Domanski, 2015)

Resumen:

Esta investigación comparó las concentraciones de sedimento suspendido y las distribuciones de tamaño de partículas medidas con difracción láser en el flujo y en muestras físicas. Se utilizaron datos de mediciones realizadas en verano en el Río Blanco, Washington, USA, el 29 de julio de 2011. Los resultados mostraron que la difracción láser es una herramienta útil para medir la distribución de tamaño de partículas en el flujo.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que la difracción láser es una herramienta útil para medir la distribución de tamaño de partículas en el flujo. Los resultados también mostraron que los errores en la medición pueden ocurrir debido a un fondo de agua limpia defectuoso que resulta en la anulación de ciertos rangos de tamaño de partículas.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó la variabilidad espacial de la distribución de tamaño de partículas en el flujo. Esta es una brecha importante en el conocimiento actual, ya que la variabilidad espacial puede tener un gran impacto en la calidad del agua.

2. "Características del tamaño de partícula de sedimentos en suspensión en escorrentía de ladera y flujo de corriente". (Slattery y Burt, 1997)

Resumen:

Esta investigación proporcionó información detallada sobre las características del tamaño de partículas de sedimento de ladera y sedimento suspendido fluvial en la forma en que se erosiona el campo bajo lluvias naturales. Los principales hallazgos de la análisis de tamaño de sedimentos fueron:

- a) La distribución de tamaño del sedimento erosionado (no disperso) fue más gruesa que la distribución de tamaño de las partículas primarias, tanto en las muestras de sedimento de la corriente como en las muestras de escurrimiento superficial, debido a que gran parte del sedimento estaba en forma de agregados.
- b) La relación entre las características de tamaño de partículas de sedimento suspendido en la corriente y caudal fue compleja. En general, la proporción de finos (limo y arcilla) aumentó y la proporción de sedimento de tamaño de arena disminuyó con el aumento del caudal.
- c) Se observaron contrastes inter-tormenta en las características de tamaño de partículas, con el sedimento suspendido volviéndose más fino y menos bien agregado con el tiempo después de la reforestación de laderas a principios del otoño.

Conclusiones:

Esta investigación ha demostrado que la mayor parte del material que se mueve a través de la cuenca de drenaje se transporta en forma de agregados en lugar de partículas discretas. La revisión de la literatura actual indica que este aspecto del transporte de sedimentos está subestudiado y poco comprendido. Los datos de microscopía electrónica de barrido proporcionaron algunas evidencias para indicar que la mayoría del aporte evidente en la corriente refleja la persistencia de agregados de suelo durante el transporte.

Brecha o vacío:

Un aspecto que aún no se ha abordado aquí es si el aporte evidente del sedimento de la corriente que es resultado de procesos de agregación secundarios que ocurren en la corriente misma o la supervivencia de agregados primarios de suelo creados en horizontes de suelo. Esta área de investigación es una brecha o vacío en la literatura actual.

3.1.4 Investigaciones de Régimen de Lluvia en:

3.1.4.1 Precipitación

1. "El papel de la variabilidad de las precipitaciones en la disminución de los sedimentos suspendidos en la superficie en la cuenca superior del Madeira (2003-2017)". (Ayes Rivera et al., 2021)

Resumen:

Este estudio tiene como objetivo evaluar el papel de las precipitaciones en la tendencia decreciente de la concentración de sedimentos suspendidos superficiales del río Madeira. En ése sentido aplica el análisis de correlación y tendencia en la descarga de agua, SSSC y series de tiempo de lluvia sobre los principales afluentes de la cuenca del Alto Madeira.

Conclusiones:

Los resultados de este estudio indican que, durante un período relativamente corto (2003-2017), una disminución significativa en la serie temporal de concentración de sedimentos en suspensión superficial (SSSC) de la cuenca del Alto Madeira está asociada con la variabilidad espacio temporal de las precipitaciones en la cuenca. Asimismo, menciona que disminución de la precipitaciones ocurre entre Octubre a Diciembre y se evidencia principalmente en la subcuenca del río Madre de Dios y en la parte nororiental de la cuenca del Alto Madeira; ésto resultó en una probable disminución de SSSC del río Madeira.

Brecha o vacío:

La brecha que tiene ésta investigación es que los datos de SSSC usados solo fueron los de la estación aguas abajo de toda la cuenca del río Madeira. A pesar de que los datos de disminución de SSSC corresponden a las fechas de construcción de presas

en la cabecera de cuenca, la investigación no puede asegurar que la disminución de SSSC en la estación de monitoreo aguas abajo se deba a la construcción de dichas presas dado que los datos de precipitación anteriores a la construcción de dichas obras revelan una disminución de precipitación. Es por eso que menciona que el monitoreo de SSSC no solo debe realizarse en el punto de drenaje de toda la cuenca sino también en la cabecera de cuenca para determinar los impactos que puedan producir cualquier infraestructura que se construya sobre el río.

2. "Control de la lluvia en el flujo de sedimentos del Amazonas: síntesis de 20 años de monitoreo". ([Armijos et al., 2020](#))

Resumen:

Esta investigación analizó el flujo de sedimentos suspendidos en la llanura amazónica, considerando dos tipos de sedimentos suspendidos (fino y grueso) durante 20 años (1995-2014). Los sedimentos se relacionaron con el caudal y la precipitación. El retraso temporal entre la precipitación y caudal se estableció y está relacionado con el área aguas arriba de la estación de medición.

Conclusiones:

Esta investigación estableció el retraso temporal entre la precipitación y caudal, el cual está relacionado con el área aguas arriba de la estación de medición. Esto es una preocupación primaria, ya que los sedimentos de arcilla, limo y arena tienen diferentes impactos en el transporte de nutrientes o metales pesados, geomorfología del río, biodiversidad, transporte fluvial y/o los proyectos de presas.

Brecha o vacío:

Aún hay desconocimientos fundamentales sobre cómo la variabilidad hidrológica y de la precipitación influyen en el flujo de sedimentos en el río Amazonas. Esta investigación contribuye a llenar esta brecha, pero aún hay mucho por descubrir sobre cómo la variabilidad hidrológica y de la precipitación influyen en el flujo de sedimentos en el río Amazonas.

3. "Variabilidad espacio-temporal de la lluvia en los países de la cuenca del Amazonas (Brasil, Perú, Bolivia, Colombia y Ecuador)". ([Espinoza Villar et al., 2009](#))

Resumen:

Esta investigación examina la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en América del Sur tropical, derivada de la fusión de los datos de precipitación del Centro de Predicción Climática. Se examinan los mecanismos de precipitación en la región amazónica, la variabilidad de las precipitaciones en América Subtropical y África y su relación con los principales modos de temperatura de la superficie del mar, la variabilidad de la precipitación en Colombia y su relación con el evento El Niño-Oscilación del Sur, la variabilidad de la precipitación en Bolivia y su relación con las temperaturas de la superficie del océano Atlántico extra-tropical, y la variabilidad de la precipitación en

el Perú.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación muestran que la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en América del Sur tropical es significativa. Los mecanismos de precipitación en la región amazónica son complejos y están relacionados con la variabilidad de la precipitación en América Subtropical y África, así como con los principales modos de temperatura de la superficie del mar. La variabilidad de la precipitación en Colombia está relacionada con el evento El Niño-Oscilación del Sur, mientras que la variabilidad de la precipitación en Bolivia está relacionada con las temperaturas de la superficie del océano Atlántico extra-tropical.

Brecha o vacío:

Esta investigación no aborda directamente el impacto de la deforestación en el patrón de lluvia en la cuenca amazónica. Sin embargo, hay varios estudios que han examinado el impacto de la deforestación en el patrón de lluvia en la cuenca amazónica.

4. "Evolución de las descargas regionales contrastantes en la cuenca del Amazonas (1974 – 2004)". (Villar et al., 2009)

Resumen:

Esta investigación examina las características hidrológicas y climáticas regionales y su variabilidad, así como los datos de descarga y los métodos utilizados. Se muestran los ciclos anuales en diferentes subcuencas y se explica la evolución temporal de la descarga en Óbidos. Además, se relaciona la variabilidad de la descarga con la precipitación en la cuenca amazónica y con los indicadores climáticos regionales.

Conclusiones:

Los cambios en los extremos de descarga están relacionados con la variabilidad pluri-anual de la precipitación regional y la circulación atmosférica asociada, así como con los indicadores climáticos a gran escala tropicales. Se observan diferentes regímenes de escorrentía en la cuenca amazónica y se destaca la contribución relativamente importante de las cuencas tropicales del sur, que no son muy lluviosas pero son muy amplias. La tendencia de las tres series temporales anuales (Q_{mean} , Q_{max} y Q_{min}) para el período 1974 – 2004 muestra que los cambios principales se observan en las cuencas andinas, con una oposición entre el sur y el noroeste.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en la investigación actual es la falta de una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes que controlan la variabilidad de la descarga en la cuenca amazónica. Además, se necesitan más estudios para comprender mejor la variabilidad de la descarga en diferentes escalas espaciales y temporales.

3.1.4.2 Modelos climáticos

1. "¿Han mejorado los productos de precipitación satelital en las últimas dos décadas? Una comparación exhaustiva de GPM IMERG con nueve conjuntos de datos satelitales y de reanálisis." (Tang et al., 2020).

Resumen:

Esta investigación se centró en el análisis de los productos de precipitación de la NASA, incluidos los productos de reanálisis y satélite. Estos productos se reensamblaron a una resolución de 0.25° y acumulados a una escala diaria para ser consistentes con las observaciones de los medidores. El método de resampling fue promedio espacial para IMERG, GSMaP a 0.1° de resolución y CHIRPS a 0.05° de resolución.

Conclusiones:

Esta investigación reveló las características de error de los productos IMERG y analizó las ventajas y desventajas de los modelos climáticos. Asimismo demostró la importancia de los modelos climáticos en la obtención del régimen de lluvia.

Brecha o vacío:

Se necesitan más estudios para evaluar la precisión de los productos de precipitación de la NASA en diferentes regiones geográficas y para mejorar los algoritmos de IMERG.

2. "Un enfoque de modelado para diagnosticar los impactos de los cambios globales en el caudal y la concentración de sedimentos suspendidos en la cuenca del río Rojo". (Wei et al., 2019)

Resumen:

Esta investigación se enfocó en el análisis de los impactos de los cambios globales en el caudal y la concentración de sedimentos suspendidos en la cuenca del Río Rojo. Se utilizaron modelos hidrológicos para simular el caudal y la concentración de sedimentos suspendidos en la cuenca del Río Rojo. Los resultados mostraron que los cambios globales afectaron significativamente el caudal y concentración de sedimentos suspendidos en la cuenca del Río Rojo.

Conclusiones:

Esta investigación demostró que los cambios globales afectan significativamente el caudal y concentración de sedimentos suspendidos de los ríos, teniendo como caso específico la cuenca del Río Rojo. Los cambios en el caudal y concentración de sedimentos suspendidos fueron mayores en la parte baja de la cuenca.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó el impacto de los cambios globales en los procesos de erosión y sedimentación en la cuenca del Río Rojo. Esto es una brecha importante en la investigación, ya que los procesos de erosión y sedimentación son importantes para el equilibrio de una cuenca.

3.1.5 Investigaciones de Hidroacústica en:

3.1.5.1 Concentración de sedimentos

1. "Medición de concentración sin calibración de partículas de sedimentos naturales mediante detección de retrodispersión con fibras ópticas" (R. Huang y Zhang, 2021).

Resumen:

Esta investigación desarrolla un nuevo instrumento de medición de concentración de sedimentos naturales basado en fibra óptica miniatura. Establece dos relaciones unificadas para obtener la concentración de sedimentos sin necesidad de calibración y se propone un concepto para caracterizar la propiedad de retrodispersión óptica. Menciona que este nuevo método es más conveniente para la medición de concentración de sedimentos naturales si se conoce la distribución de tamaño de partículas.

Conclusiones:

A partir de su nuevo instrumento de medición de concentración con fibra óptica miniatura desarrolla un método que usa el diámetro medio D_{50} y el diámetro de partícula compositivo D_w como parámetros de entrada, establece dos relaciones únicas entre la concentración y la intensidad de retrodispersión óptica. Y concluye que se puede obtener la distribución de tamaño de partículas del sedimento natural siempre que se conozca sus rango de diámetros.

Brecha o vacío:

La investigación menciona que su método utilizado actualmente solo es aplicable para mediciones de concentración de sedimentos en laboratorio donde se conoce de antemano las diámetros de sedimentos existentes. Y que con el fin de mejorar la comodidad y precisión de la medición, la medición sincrónica de la distribución de tamaño de partículas de sedimento y la concentración de sedimento en campo es su objetivo de investigación futura.

2. "Caracterización de la composición de suspensiones de arena y lodo en ambientes costeros y estuarinos mediante mediciones ópticas y acústicas combinadas". (Pearson et al., 2021)

Resumen:

Esta investigación discute el uso de perfiladores acústicos de Doppler (ADCPs) para medir las concentraciones de sedimento suspendido (SSC) en ríos con lechos de arena. Se describe el método de calibración para relacionar los datos ADCP con SSC, que implica recopilar una serie de perfiles estacionarios usando un ADCP y recopilación de muestras de sedimento concurrentes o cercanas al mismo tiempo en varios puntos de cada perfil. Los resultados muestran el potencial de usar ADCPs para estimar y visualizar rápidamente SSC con una alta resolución espacial.

Conclusiones:

Los mejores calibraciones se encontraron con el ADCP de 1200 kHz en comparación con el ADCP de 600 kHz. Las estimaciones del STA (Software de Transectos Acústicos de Sedimentos) de SSC_f (Concentración de sedimentos suspendidos cohesivos) fueron menores que las muestras de validación de SSC en todos los casos, excepto en el río Missouri en la ciudad de Nebraska. Los calibraciones de SSC_c (Concentración de sedimentos suspendidos no cohesivos) fueron buenas, pero generalmente no eran adecuados para calibrar SSC_f (Concentración de sedimentos suspendidos cohesivos) o SSC_t (Concentración de sedimentos suspendidos totales). La selección de un mínimo de dos verticales, una en una zona más tranquila y otra en una zona más turbulenta y dinámica, representando una amplia gama de condiciones de transporte y backscatter para la sección transversal, parece producir calibraciones que están razonablemente cerca de las calibraciones hechas con datos de las cinco verticales medidas.

Brecha o vacío:

Una de las principales limitaciones de este método es la incapacidad de desarrollar una calibración específicamente para SSC_f , lo que limita la capacidad de aplicar la calibración a otro período de tiempo y obtener una estimación de SSC_t sin tener que recolectar muestras de sedimento.

3. "Hacia una evaluación de las características del transporte de carga de fondo utilizando las salidas Doppler y de retrodispersión de ADCPs". (Conevski, Guerrero, Rennie, y Ruther, 2021)

Resumen:

Esta investigación examinó la correlación entre la tasa de transporte de carga de fondo medida físicamente (trampa de sedimentos) y la velocidad aparente de carga de fondo y la fuerza de backscattering medida por diferentes instrumentos y configuraciones. Los resultados mostraron que la tasa de transporte de carga de fondo está positivamente correlacionada con la velocidad aparente de carga de fondo y la fuerza de backscattering.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los instrumentos y configuraciones de ADCP pueden ser utilizados para estimar la tasa de transporte de carga de fondo. Sin embargo, los resultados también indican que los parámetros de procesamiento interno y la profundidad de la señal pueden introducir incertidumbre adicional en el análisis posterior de la tasa de transporte de carga de fondo.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó la incertidumbre asociada con la medición de la tasa de transporte de carga de fondo con ADCPs. Esta es una área de investigación futura que debe ser abordada para mejorar la precisión de las mediciones de ADCP.

4. "Retrodispersión acústica y atenuación debido a los sedimentos finos del río: evaluación experimental de modelos y métodos de inversión". (Vergne, Berni, Le Coz, y Tencé, 2021)

Resumen:

Esta investigación se centró en el uso de métodos acústicos para medir la concentración de sedimentos suspendidos en un tanque de agua. Se utilizaron cuatro bombas sumergidas y dos agitadores de hélice para generar turbulencia y mantener los sedimentos en suspensión. Se tomaron muestras de agua dentro del tanque y se encontró que la distribución de tamaño de partícula y la concentración eran bastante homogéneas en el espacio.

Conclusiones:

Los métodos acústicos se mostraron eficaces para medir la concentración de sedimentos suspendidos en el tanque de agua. Se encontró que la distribución de tamaño de partícula y la concentración eran homogéneas en el espacio.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en esta investigación es que no se consideraron otros factores que pueden afectar la concentración de sedimentos suspendidos, como la temperatura del agua, salinidad y presión. Estos factores deberían ser considerados en futuras investigaciones.

5. "Aplicación de ADCP para el monitoreo a largo plazo de la concentración de sólidos suspendidos en ríos". (Aleixo, Guerrero, Nones, y Ruther, 2020)

Resumen:

Esta investigación presenta un método para monitorear continuamente los flujos de sedimento suspendido en dos ríos diferentes usando perfiladores acústicos Doppler de corriente de mirada lateral (H-ADCPs). El método fue probado para estudiar eventos hidrológicos individuales y se analizó el efecto de la materia orgánica e inorgánica en los resultados de la concentración de sedimento suspendido (SSC). El método fue validado con muestras directas y mejoró las desviaciones promedio entre las concentraciones inferidas acústicamente y las muestreadas de un orden de magnitud a un 20% de los valores reales.

Conclusiones:

El método acústico presentado en este documento se puede usar para medir las propiedades locales de los ríos. La función de conversión tiene en cuenta las variaciones de materia suspendida entre eventos de inundación y estaciones, incluida la información específica local. El método acústico propuesto se usó para monitorear continuamente los cursos de agua en términos de caudal y SSC. La combinación del caudal medido con la concentración de sedimento suspendido proporcionó estimaciones confiables de la carga de sedimento que cruza el canal del río.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en esta investigación es la falta de información sobre la influencia de la materia orgánica en la medición de ADCP. Aunque se hicieron análisis para investigar la fracción de materia inorgánica y orgánica presente en el volumen de agua, se necesitan más datos para comprender mejor la influencia de la materia orgánica en las mediciones de ADCP.

6. "Caja de herramientas de estimación de sedimentos acústicos (ASET). Un paquete de software para calibrar y procesar datos de ADCP de TRDI para calcular el transporte de sedimentos suspendidos en ríos arenosos". ([Ruben et al., 2020](#))

Resumen:

Este artículo presenta la Caja de Herramientas de Estimación Acústica de Sedimentos (ASET), una caja de herramientas gratuita basada en MATLAB desarrollada para post-procesamiento de ADCPs de marca Teledyne usado en corrientes o ríos naturales con sedimento de lecho suspendido y carga de lavado en transporte. Tiene dos módulos integrados en una Interfaz de Usuario Gráfica (GUI). El Módulo de Transporte de Sedimento Suspendido admite dos tipos de archivos de entrada, dependiendo de si se realizaron mediciones únicas o múltiples en la misma sección transversal. El Módulo de Calibración Acústica de Sedimentos combina un conjunto de mediciones de campo, características sedimentológicas y datos ADCP obtenidos de mediciones estáticas en diferentes verticales a través de una sección donde se muestreó el sedimento.

Conclusiones:

ASET es una caja de herramientas para visualizar y calcular el transporte de sedimento suspendido en una sección de corriente o río desarrollando una calibración entre las muestras de sedimento suspendido y los datos acústicos recopilados con un ADCP de marca Teledyne. Es adecuado para ríos con lecho de arena con una distribución de sedimento suspendido bimodal y puede estimar con precisión el transporte de sedimento de lecho suspendido en grandes ríos con lecho de arena.

Brecha o vacío:

Se necesitan más investigaciones para evaluar la variación del ruido acústico para diferentes instrumentos acústicos y condiciones ambientales. Además, todavía hay incertidumbres asociadas con la metodología y la selección adecuada y el uso del equipo y los procedimientos de laboratorio son críticos para obtener calibraciones precisas.

7. "Integrando el flujo de sedimentos suspendidos en los canales de ríos aluviales grandes: aplicación de un modelo sinóptico basado en Rouse a los ríos Irrawaddy y Salween". ([Baronas et al., 2020](#))

Resumen:

Esta investigación se centró en el uso de un modelo sintópico basado en Rouse para aplicarlo a los ríos Irrawaddy y Salween. Se empleó un enfoque diferente de los

estudios anteriores para abordar las condiciones de flujo altamente dinámicas de los ríos estudiados, utilizando un número menor de muestras de sedimento. Se calibraron los valores de C_i^0 (Concentración de sedimentos en una altura de referencia z_0 , definida como una fracción fija de la profundidad total del agua H .) y b_i (parámetro empíricamente calibrado para cada clase de tamaño de sedimento i) empíricamente y se aplicaron a los datos de velocidad primaria de ADCP para calcular y mapear la variación en la concentración de sedimentos C_i con profundidad y a través del canal del río.

Conclusiones:

Esta investigación demostró que el modelo sintópico basado en Rouse puede ser aplicado exitosamente a los ríos Irrawaddy y Salween. El modelo fue capaz de recuperar los valores iniciales y calcular la variación en la concentración de sedimentos C_i con profundidad y a través del canal del río.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó la relación entre la concentración de sedimentos C_i^0 y la velocidad u^* (velocidad de cizallamiento calculada a partir de la velocidad de flujo integrada en profundidad durante la recolección de muestras). Esta relación es importante para entender mejor la dinámica de los sedimentos en los ríos estudiados.

8. Estimación de concentraciones de arena usando inversión acústica basada en ADCP en un gran sistema fluvial caracterizado por distribuciones bimodales de sedimentos suspendidos (Szupiany et al., 2019).

Resumen:

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la aplicación de técnicas de retrodispersión acústica derivado de los perfiladores de corriente Doppler acústicos (ADCP) para cuantificar sedimentos suspendidos en un gran río de lecho de arena con distribuciones de tamaño de partículas bimodales, carga de lavado y arena suspendida que varían acorde las secciones de estudio. Asimismo, se menciona que para lograr dicho objetivo se recolectaron muestras físicas de sedimento suspendido a lo largo del Río Paraná, Argentina, bajo varios regímenes hidro-sedimentológicos.

Conclusiones:

Este estudio demuestra que los ADCP comercialmente disponibles de frecuencias comúnmente utilizadas (1200 kHz y 600 kHz) se pueden utilizar para obtener información sobre las concentraciones de arena suspendida en sistemas de ríos de lecho de arena. Asimismo, hace énfasis en que el uso de ADCP para estimar las concentraciones de arena suspendida es particularmente atractivo en comparación con otros métodos indirectos. Se menciona que ésta investigación, puede ser usado en otros ríos con características similares ya que las características de sedimento suspendido de los ríos descritos en este estudio son similares a muchos otros ríos con cama de arena,

especialmente en grandes sistemas fluviales en todo el mundo

Brecha o vacío:

En la investigación se menciona que una brecha o vacío existente es que las técnicas de muestreo tradicionales todavía serían necesarias para desarrollar y validar periódicamente las calibraciones, asimismo menciona que se necesitan mas esfuerzos para desarrollar una metodología acústica general que pueda proporcionar datos más precisos y de mayor resolución espacial y temporal en estudios SS de ríos.

9. "Comparación de las mediciones continuas de concentraciones de sedimentos en suspensión por retrodispersión acústica y óptica y su caracterización en un río afectado por la agricultura". ([Sirabahenda et al., 2019](#))

Resumen:

Esta investigación se centró en la comparación de la monitorización continua de la concentración de sedimentos suspendidos (SSC) mediante técnicas acústicas y ópticas en el río Dunk. Los resultados mostraron una buena correlación entre los dos métodos de medición indirecta de SSC. Se encontró que la SSC estaba más correlacionada con el caudal y la velocidad del agua que con la precipitación. Los patrones de histéresis entre el caudal y la SSC fueron dominados por bucles de histéresis en sentido horario, lo que sugiere una rápida movilización de sedimentos desde la zona riparia cercana y desde el lecho del río durante los eventos de lluvia intensos.

Conclusiones:

Los resultados de esta comparación revelan el potencial de la técnica de backscatter acústico para una monitorización no intrusiva de la SSC dentro de los ríos con altas cargas de sedimentos. La SSC estaba más correlacionada con el caudal y la velocidad del agua que con la precipitación. Los patrones de histéresis entre el caudal y la SSC fueron dominados por bucles de histéresis en sentido horario, lo que sugiere una rápida movilización de sedimentos desde la zona riparia cercana y desde el lecho del río durante los eventos de lluvia intensos.

Brecha o vacío:

Se necesitan más investigaciones para evaluar la precisión de los resultados de los dos enfoques de medición mediante muestreo automático in situ durante los eventos de lluvia. Además, se necesitan investigaciones más profundas para comprender mejor los patrones de procesos de sedimentos durante todos los periodos del año.

10. "Aprendizaje acerca de medios aleatorios a partir de retrodispersión de superficie cercana: usando aprendizaje automático para medir el tamaño y la concentración de partículas". ([Gower, Gower, Deakin, Parnell, y Abrahams, 2018](#))

Resumen:

Esta investigación mostró que se puede medir con precisión el radio y la concentración de partículas con condiciones de frontera de Dirichlet en un medio aleatorio usando

ondas retrodispersadas emitidas y recibidas desde una sola fuente. Esto es desafiante para una amplia gama de fracciones de volumen de partículas, desde el 1% al 21%, ya que para altas fracciones de volumen los efectos de la dispersión múltiple no están completamente comprendidos. Se demostró que la concentración se puede medir con precisión solo a partir de la onda retrodispersada promedio, pero el radio de la partícula requiere la varianza retrodispersada o la intensidad.

Conclusiones:

Conclusiones: Se demostró que el rango de ondas incidentes óptimo para medir el radio de la partícula entre 0 y 2 es $0 \leq k \leq 0.8$. Esto significa que ni la teoría, ni la simulación ni los experimentos necesitan ir más allá de $ka = 1.6$.

Brecha o vacío:

Una de las principales limitaciones de esta investigación es que solo se consideraron partículas con condiciones de frontera de Dirichlet. Esto significa que los resultados no se pueden generalizar a partículas con condiciones de frontera diferentes. Además, se necesitan más investigaciones para comprender mejor los efectos de la dispersión múltiple en altas fracciones de volumen de partículas.

11. "Evaluación de sedimentos suspendidos combinando mediciones de atenuación de sonido y retrodispersión: método analítico y validación experimental". (M. Guerrero y Di Federico, 2018)

Resumen:

Esta investigación presenta un método acústico novedoso para la estimación de la concentración de sedimentos suspendidos en ambientes acuáticos. El método combina la medición de la atenuación del sonido y el backscatter para determinar el coeficiente de atenuación normalizado de los sedimentos suspendidos y su correspondiente concentración. Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para validar la técnica, que estima con mayor precisión la concentración de partículas suspendidas que van desde arcilla hasta arena fina y da una indicación sobre su distribución de tamaño de partícula real.

Conclusiones:

El método propuesto para la evaluación de la concentración de sedimentos explota la relación entre atenuación, backscatter y dependencia de ζ_s (coeficiente de atenuación normalizado) de las variables independientes que consisten en características de distribución de tamaño de partículas a una frecuencia dada. La predicción del coeficiente de atenuación normalizado es la base para una evaluación confiable de la concentración de sedimentos mediante el perfilamiento de I_{dB} (intensidad emitida) en un volumen de agua que contiene una suspensión homogénea. Esto es consistente con un proceso de medición correcto también en regiones con una distribución heterogénea esperada de la concentración.

Brecha o vacío:

Esta investigación avanza el uso de la hidroacústica para medir sedimentos suspendidos en ríos, a pesar de la suposición de una suspensión homogénea. Sin embargo, todavía hay una brecha en la comprensión de cómo la relación entre la atenuación del sonido y la concentración de masa es dependiente de la distribución de tamaño de partículas a través del coeficiente de atenuación normalizado ζ_s . Esta brecha debe ser abordada para mejorar la exactitud de la evaluación de la concentración de sedimentos suspendidos.

12. "Avances en acústica para estudiar el flujo de capa límite impulsado por ondas y la dinámica sedimentaria sobre lechos de arena ondulados". (Thorne et al., 2018)

Resumen:

Esta investigación discute el desarrollo de instrumentos acústicos para estudiar la dinámica de sedimentos cerca de la cama en entornos marinos dinámicos. Los instrumentos discutidos son: Imagenador de formas de lecho y sedimentos suspendidos (BASSI), perfilador acústico tridimensional de olas (3D-ARP) y los perfiladores acústicos de concentración y velocidad (ACVPs). Estos instrumentos se utilizan para medir formas de cama, carga de cama, concentración suspendida y componentes de velocidad horizontal y vertical.

Conclusiones:

Los resultados del despliegue de estos instrumentos demuestran la capacidad expandida de la aplicación de la acústica para estudiar el flujo y la dinámica de sedimentos cerca de la cama. Los resultados mostraron cómo estas mediciones ACVP cerca de la cama se pueden utilizar para investigar procesos de transporte de arena impulsados por olas, y que los instrumentos fueron capaces de medir con precisión las dimensiones de las olas bajo condiciones dinámicas de carga suspendida alta.

Brecha o vacío:

Las perspectivas futuras de los ACVP en mediciones acústicas de alta resolución se encuentran en mediciones acústicas de dos fases de multi-frecuencia para la medición simultánea y temporalmente resuelta tanto del perfil de flujo de fluido como del perfil de velocidad de partículas.

13. "Actuaciones de medición de carga suspendida y sobre fondo en flujos laminares utilizando perfiladores acústicos y de conductividad". (Fromant et al., 2018)

Resumen:

Esta investigación comparó las mediciones acústicas y basadas en conductividad en flujos laminares impulsados por cizallamiento con dos tamaños de partículas de acrílico livianas. El ACVP (Perfilador acústico de concentración y velocidad) proporcionó estimaciones de concentración confiables y no intrusivas a través de toda la capa de suspensión diluida, mientras que la tecnología CCP proporcionó perfiles de concentración precisos a lo largo de toda la capa de flujo. Las mediciones de volumen de

partículas transportadas mostraron que el ACVP tuvo la mayor precisión, mientras que los instrumentos CCPs (Perfiladores de concentración de conductividad.) tuvieron una precisión similar en la medición de los perfiles de concentración. El ACVP también tuvo la mayor precisión en la medición de la espesor de la capa de flujo laminar.

Conclusiones:

Esta investigación demostró que el ACVP es el instrumento más preciso para medir el volumen total de partículas transportadas, mientras que los instrumentos CCPs (Perfiladores de concentración de conductividad.) tienen una precisión similar en la medición de los perfiles de concentración. El ACVP también tuvo la mayor precisión en la medición del espesor de la capa de flujo laminar.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en esta investigación es que no se abordaron los efectos de la turbulencia en la medición de los parámetros de flujo y partículas. Esto podría ser un área de investigación futura para mejorar la precisión de las mediciones.

14. "Un uso combinado de dispositivos acústicos y ópticos para investigar el sedimento suspendido en ríos". (M. Guerrero, Rüter, Haun, y Baranya, 2017)

Resumen:

Esta investigación se centró en el uso de un transductor monostático para medir la concentración de sedimentos suspendidos en el medio fluvial. Se utilizaron los coeficientes de atenuación acústica y óptica para relacionar la concentración de sedimentos suspendidos con la pendiente del perfil medido. Se llevaron a cabo mediciones en la sección media del Danubio cerca de la ciudad de Esztergom entre el 7 y el 9 de mayo de 2013.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que el uso de un transductor monostático es una herramienta útil para medir la concentración de sedimentos suspendidos en el medio fluvial. Los coeficientes de atenuación acústica y óptica se pueden usar para relacionar la concentración de sedimentos suspendidos con la pendiente del perfil medido.

Brecha o vacío:

Esta investigación no abordó la influencia de la densidad del agua y los sedimentos en los resultados obtenidos con el LISST-SL. Esta es una brecha importante que debe abordarse en futuras investigaciones.

15. "Una evaluación del uso de una ecosonda multihaz para observaciones de sedimentos suspendidos". (Simmons et al., 2017)

Resumen:

Esta investigación evaluó el rendimiento de un sistema de sonar de eco multihaz en una prueba controlada con cantidades conocidas de material suspendido, y relacionó

estos resultados con los resultados de un despliegue de campo del sistema en un ambiente fluvial. Se demostró el claro potencial del sonar de eco multihaz para cuantificar las concentraciones de sedimento suspendido y visualizar estructuras suspendidas, se proporcionó un análisis de los parámetros acústicos que requieren atención en estas aplicaciones.

Conclusiones:

Esta investigación demostró el claro potencial del sonar de eco multihaz para cuantificar las concentraciones de sedimento suspendido y visualizar estructuras suspendidas. El sistema SeaBat 7125 (sonar de eco multihaz) mostró una sensibilidad similar para ambas frecuencias de operación de 200 kHz y 396 kHz. Los resultados de campo demostraron la capacidad del sonar de eco multihaz para imaginar estructuras suspendidas de sedimento en dos dimensiones en el ambiente natural.

Brecha o vacío:

Una mejor metodología de campo incorporaría un análisis in situ de los datos grabados a diferentes frecuencias de repetición para proporcionar una estimación del tiempo de reverberación.

16. "Las propiedades acústicas del sedimento suspendido en ríos grandes: consecuencias en la aplicabilidad de los métodos ADCP". (M. Guerrero et al., 2016)

Resumen:

Esta investigación comparó los valores de backscatter y atenuación asociados con diferentes muestras de sedimentos recolectadas en el río Paraná (Argentina) y en una sección del río Danubio (Hungría). Se encontró un gradiente espacial dominante de backscatter de arena y arcilla-limo para los alcances del Paraná y la sección del Danubio, respectivamente, mientras que las atenuaciones del sonido debido a los sedimentos suspendidos se encontraron con magnitudes similares en los dos ríos.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los métodos acústicos son aplicables para la medición indirecta del transporte de sedimentos en ríos con diferentes condiciones.

Brecha o vacío:

Aunque esta investigación proporciona una guía para la selección de métodos acústicos para la medición indirecta del transporte de sedimentos en ríos, todavía hay una brecha en la comprensión de cómo los diferentes métodos acústicos se aplican a diferentes condiciones de río.

17. "Estimación de la concentración y carga de sedimentos de fondo suspendidos en un río grande mediante la tecnología Doppler acústica". (Latosinski et al., 2014)

Resumen:

Esta investigación presenta y discute la correlación entre el backscatter corregido de

un ADCP de 1200 kHz y la concentración suspendida de un muestreador integrado en profundidad. A pesar de los supuestos requeridos para utilizar este método (es decir, grano monotamaño y concentración vertical homogénea), los resultados mostraron diferencias aceptables cuando se compararon con los métodos tradicionales.

Conclusiones:

Los resultados de esta investigación sugieren que los supuestos descritos anteriormente no introducirán errores significativos en los resultados. Además, se puede ver que a pesar de que la morfología y las condiciones hidráulicas cambian significativamente, la distribución de tamaño de grano se mantiene aproximadamente constante con desviaciones medias, " $\sigma_g \sim 1.4$ ". Esto sugiere que una extrapolación directa de la metodología presentada se puede aplicar a otros grandes ríos, con un gran impacto en la comunidad de investigación y la ingeniería que trabaja a estas escalas.

Brecha o vacío:

Una brecha o vacío en esta investigación es la falta de una evaluación más profunda del backscatter y la atenuación del sonido producido por materiales finos y gruesos. Esto podría mejorar la precisión de los resultados obtenidos con el método ADCP.

18. "Visión general sobre el uso de retrodispersión acústica para medir perfiles de tamaño y concentración de partículas suspendidas en estudios de transporte de sedimentos inorgánicos no cohesivos". ([Thorne y Hurther, 2014](#))

Resumen:

Esta investigación se centra en el uso de retrodispersión acústica para medir la concentración y el tamaño de partículas suspendidas en el transporte de sedimentos de capa límite. El objetivo de esta investigación es proporcionar una visión general del enfoque acústico para medir los parámetros de sedimento suspendido y evaluar su aplicación en el estudio de procesos de transporte de sedimentos suspendidos inorgánicos no cohesivos.

Conclusiones:

El estudio ha proporcionado una revisión y evaluación de la metodología comúnmente utilizada para extraer parámetros de sedimentos suspendidos de los datos acústicos retrodispersados recopilados sobre lechos móviles de sedimentos inorgánicos no cohesivos a frecuencias ABS (retrodispersión acústica) de megahertzios bajos normalmente utilizados. El enfoque del estudio se centró en la inversión de datos ABS para obtener perfiles de suspensión, y se presentaron ecuaciones que proporcionan la solución general para estimar los perfiles de concentración de sedimentos suspendidos. La investigación concluye que la medición de la concentración y el tamaño de las partículas suspendidas mediante el uso de ABS es una técnica viable y efectiva. Los resultados obtenidos de la simulación muestran que la técnica es sensible a las variaciones de tamaño y concentración de las partículas suspendidas. Sin embargo,

la complejidad y el tiempo de cómputo aumentan cuando se utilizan ABS de múltiples frecuencias para obtener una serie temporal de a_M (Estimación acústica del radio de partícula suspendida [m]) y M (Estimación acústica de la concentración suspendida [kg/m^3]).

Brecha o vacío:

La simulación realizada en el presente estudio se basó en la suposición de que el tamaño de las partículas y la velocidad de sedimentación eran constantes con el tiempo y la altura sobre el lecho. Esta suposición puede no ser válida en situaciones de sedimentación natural. Se requiere investigación adicional para determinar la validez de la suposición y para investigar la influencia de las variaciones en la velocidad de sedimentación en la precisión de la medición de la concentración de sedimentos suspendidos mediante ABS. Además, la investigación futura podría centrarse en la utilización de ABS para la medición de partículas cohesivas y la mejora de la precisión de la técnica mediante la mejora de la resolución temporal y espacial.

19. "Acústica multifrecuencia para estudios de sedimentos en suspensión: Una aplicación en el río Paraná". (M. Guerrero, Szupiany, y Latosinski, 2013)

Resumen:

Esta investigación se basa en una encuesta de campo realizada en la bifurcación del Río Paraná cerca de la ciudad de Rosario, Argentina. Se utilizaron dos ADCPs Teledyne-RDI operando a "600 y 1200 kHz" para perfiles de columnas de agua simultáneos. Se recolectaron muestras de sedimento suspendido y de lecho en cuatro ubicaciones fijas. El método de multi-frecuencia se utilizó para calibrar las intensidades de eco de los ADCPs con las concentraciones y tamaños de grano de las muestras de sedimento suspendido.

Conclusiones:

El método de multi-frecuencia se mostró eficaz para mejorar las capacidades de los ADCPs para investigar los procesos de los ríos. El método fue validado con muestras de sedimento y perfiles de flujo/sedimento en ubicaciones fijas. Los resultados mostraron una estructura de pluma de suspensión en posiciones de baja profundidad, mientras que en la posición de mayor profundidad, los patrones de concentración y magnitud de la velocidad de flujo parecían estar correlacionados.

Brecha o vacío:

Aunque el método de multi-frecuencia se mostró eficaz para mejorar las capacidades de los ADCPs para investigar los procesos de los ríos, hay una brecha en la comprensión de los mecanismos de transporte de sedimentos en los ríos. Esto se debe a la falta de datos precisos sobre la distribución de tamaños de grano y concentraciones de sedimentos suspendidos en los ríos.

20. "El uso de la tecnología Doppler para la determinación de la descarga de sedimentos

en suspensión en el Río Amazonas". (Filizola y Guyot, 2004)

Resumen:

Esta investigación se llevó a cabo en la estación hidrométrica de Obidos en el río Amazonas. Se realizaron mediciones de descarga de agua y sólidos suspendidos totales (TSS) con un ADCP y otros dispositivos diferentes. Se estableció una relación entre la señal de retrodispersión del ADCP y el TSS total para calcular las descargas de TSS. Se probaron exitosamente los muestreadores brasileños tradicionales y un muestreador de 12 litros especialmente construido para el proyecto HiBAm. El protocolo brasileño fue validado.

Conclusiones:

Los resultados demostraron que las diferencias entre todos los muestreadores fueron muy bajas (4%). Se usaron diferentes métodos de cálculo para los datos de TSS obtenidos por estos muestreadores. El método que usa la señal de retrodispersión del ADCP en comparación con los datos de TSS dio un valor más alto (3% mayor que la media). La descarga de agua y el rendimiento de TSS para la estación hidrométrica de Obidos el 24 de marzo de 1995 fueron, respectivamente, $172400 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3.15 \times 10^6 \text{ t/día}$.

Brecha o vacío:

Se necesitan más puntos de muestreo y mejores procedimientos de calibración para justificar plenamente el uso de ese método.

21. "Técnicas de campo para la medición de sedimentos suspendidos". (Wren, Barkdoll, Kuhnle, y Derrow, 2000)

Resumen:

Este artículo proporciona una comparación en profundidad de las técnicas existentes de medición de sedimentos suspendidos y busca ayudar al profesional e investigador en la selección y uso de equipos de medición de sedimentos suspendidos. Se discuten técnicas retrodispersión acústica, botella, bomba, reflectancia de haz focalizado, difracción láser, nuclear, backscatter óptico, transmisión óptica y reflectancia espectral.

Conclusiones:

La tecnología de retrodispersión acústica (si se desarrolla más) emerge como una tecnología prometedora debido a su capacidad de medir el perfil de concentración sin entrar en el flujo. Esta información de transferencia de tecnología será valiosa para los profesionales y los investigadores que necesiten elegir un medio para medir los sedimentos suspendidos.

Brecha o vacío:

La mayor brecha o vacío en esta investigación es el desarrollo de la tecnología de retrodispersión acústica para mejorar su capacidad de medir el perfil de concentración

sin entrar en el flujo.

3.2 ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO

En esta sección se presenta un listado de diversos estudios existentes sobre el área de estudio, con el objetivo de adicionar contexto y una comprensión más profunda del tema de investigación en cuestión.

La recopilación de estos estudios se realizó a través de una exhaustiva revisión bibliográfica, lo que permitió identificar y seleccionar los trabajos más relevantes y actualizados en el área de estudio.

TABLA N° 3.2: *Principales estudios existentes en el área de estudio*

ID	Nombre	Fecha de publicación	Tipo de documento	Entidad	Referencia
1	Ríos danzantes: Lineamientos metodológicos para el desarrollo de una línea base física de ríos en la Andes-Amazonia	2022	Libro	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2022)
2	Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en las cuencas andino-amazónicas	2021	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2021a)
3	Recomendaciones técnicas para los Términos de Referencia de estudios ambientales de proyectos de hidrovías caso de la Hidrovía Amazónica	2021	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2021b)
4	Monitoreo de sedimentos en cuencas andino-amazónicas como medida de adaptación al cambio climático	2021	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2021c)
5	Recomendaciones técnicas para los Términos de Referencia para estudios ambientales de represas hidroeléctricas	2021	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2021b)
6	Webinar - Hidrovías en América del Sur: experiencias y desafíos	2020	Libro	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2020)
7	Influencia de la precipitación sobre los flujos de sedimentos en el Amazonas: una síntesis basada en 20 años de monitoreo	2020	Investigación	IGP	Armijos et al. (2020)
8	Evaluación de la concentración de precipitaciones en la cuenca del Amazonas a partir de diferentes conjuntos de datos satelitales	2019	Investigación	IGP	Zubieta et al. (2019)
9	Informe del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Huallaga (noviembre - diciembre de 2018)	2019	Informe	ANA	Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2019)
10	Metodología de línea base geomorfológica para los ríos de la Hidrovía Amazónica: Aplicación en el río Huallaga	2019	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2019b)
11	Mejores prácticas para el estudio de los ríos amazónicos frente al desarrollo de infraestructura: Caso EIA-d Hidrovía Amazónica	2019	Informe	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA)	Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECA) (2019a)
12	Proyecciones de máxima crecida de los ríos Amazonas, Marañón, Ucayali y Huallaga	2016	Informe	SENAMHI	SENAMHI (2016)
13	Presupuesto de sedimentos en la cuenca del río Ucayali, afluente andino del río Amazonas	2015	Investigación	Instituto de Investigación para el Desarrollo, Francia (IRD)	Santini et al. (2015)
14	Balance de sedimentos en la cuenca del río Ucayali, afluente andino del río Amazonas	2015	Investigación	IGP	Santini et al. (2015)
15	Intensificación del ciclo hidrológico amazónico en las últimas dos décadas	2013	Investigación	IGP	Gloor et al. (2013)
16	Compendio de los recursos hídricos superficiales de Ucayali	2012	Informe	ANA	Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2012)
17	Monitoreo de la calidad de aguas superficiales: Vertiente del Atlántico, río Huallaga	2000	Informe	INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) (2000)

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 ÁMBITO

El ámbito de la investigación "Uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonía Peruana" se enfoca en los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas de la Amazonía peruana. Según la definición de [Creswell y Creswell \(2017\)](#), el ámbito se refiere al lugar físico donde se llevará a cabo la investigación. En este caso, el ámbito de la investigación son los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, ubicados en la región de la Amazonía peruana.

Por otro lado, [Booth, Colomb, y Williams \(2003\)](#) definen el ámbito como el contexto más amplio en el que se desarrolla la investigación, incluyendo factores políticos, culturales, económicos e históricos que influyen en el problema de investigación. En este sentido, el ámbito de la investigación también incluiría el contexto político y socioeconómico de la región amazónica peruana, así como las prácticas culturales y tradicionales relacionadas con los ríos.

Además, según [Creswell y Poth \(2016\)](#), el ámbito se refiere al nivel más amplio de la realidad social en el que se centrará la investigación. En este caso, el ámbito de la investigación se centra en la realidad social y ambiental de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas en la Amazonía peruana.

[Kumar \(2018\)](#) define el ámbito como el contexto social y geográfico en el que se llevará a cabo la investigación. En este caso, el ámbito de la investigación incluiría la ubicación geográfica de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, así como los aspectos sociales y culturales que afectan el problema de investigación.

Finalmente, según [Bryman \(2016\)](#), el ámbito puede ser definido de forma amplia o limitada, dependiendo de los objetivos de investigación y el problema de investigación en sí. En este caso, el ámbito de la investigación se define de forma limitada a los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, ya que son los cuerpos de agua específicos que se están estudiando.

En conclusión, el ámbito de la investigación "Uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonía Peruana" se enfoca en los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas de la Amazonía peruana, considerando su ubicación geográfica, su realidad social y ambiental, así como las prácticas culturales y tradicionales relacionadas con estos cuerpos de agua.

4.2 POBLACIÓN

La población se refiere al grupo completo de personas o elementos que son objeto de investigación y que cumplen con los criterios de inclusión, y puede estar definida por una serie de características como la edad, género, ubicación geográfica, entre otros (Booth et al., 2003; Bryman, 2016; Kumar, 2018). Esta definición de población es importante para la investigación en la Amazonía peruana, ya que se centra en el estudio de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, y en la medición de la concentración de sedimentos suspendidos (SSC) en estos ríos utilizando la técnica de retrodispersión acústica (backscatter). Por lo tanto, la población se refiere a los ríos de la Amazonía peruana y a las características que influyen en la concentración de SS.

Además, Creswell y Creswell (2017); Creswell y Poth (2016) definen la población como un grupo social o una comunidad en la que se centrará la investigación. Esto es relevante para la investigación en la Amazonía peruana, ya que se busca analizar la influencia de la morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la SSC en los ríos de estudio.

En este sentido, la población de la investigación incluirá tanto los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas como las secciones de caudal medidas con ADCP, las secciones estáticas de mediciones de retrodispersión acústica usadas para calibración de la transformación de datos acústicos a concentración de sedimentos, los datos de concentración y diámetros de sedimentos suspendidos, las características morfológicas de los ríos obtenidas mediante análisis SIG y los datos de régimen de lluvia de las cuencas de drenaje de los principales afluentes de los ríos en estudio.

En resumen, la población para esta investigación en la Amazonía peruana se refiere al grupo completo de elementos que son objeto de estudio y que cumplen con los criterios de inclusión, incluyendo los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, así como las variables que influyen en la SSC en estos ríos, como la morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia de las cuencas de drenaje de los principales afluentes. Esta definición de población es fundamental para la investigación ya que permitirá obtener resultados precisos y confiables que contribuyan al monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonía peruana.

4.3 MUESTRA

Según Booth et al. (2003); Bryman (2016); Creswell y Creswell (2017); Creswell y Poth (2016); Kumar (2018), la muestra se define como un subconjunto representativo y aleatorio de la población que será estudiada en una investigación. En el contexto de ésta investigación titulada "Uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonía Peruana", la población de estudio se refiere a los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas en la Amazonía peruana y su concentración de sedimentos suspendidos.

El problema general de ésta investigación busca determinar si el uso de la técnica de retrodispersión acústica es confiable para monitorear continuamente la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana, mientras que los problemas específicos buscan determinar la influencia de la morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia sobre la concentración de sedimentos suspendidos en estos ríos.

Los datos utilizados en la investigación incluyen secciones de caudal medido con ADCP, secciones estáticas de mediciones de retrodispersión acústica usadas para calibrar la transformación de datos acústicos a concentración de sedimentos, datos de concentración y diámetros de sedimentos suspendidos muestreados en campo y analizados en el laboratorio, datos de características morfológicas de los ríos obtenidos mediante análisis SIG y datos de régimen de lluvia de las cuencas de drenaje de los principales afluentes de los ríos en estudio.

En esta investigación, la muestra se refiere al subconjunto representativo y aleatorio de los datos recopilados en la investigación, incluyendo secciones de caudal, mediciones de retrodispersión acústica, datos de concentración y diámetros de sedimentos suspendidos, características morfológicas de los ríos y datos de régimen de lluvia. La selección de la muestra debe garantizar la validez de la investigación y su representatividad de la población en su conjunto.

En conclusión, en la investigación "Uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonía Peruana", la muestra se define como un subconjunto representativo y aleatorio de los datos recopilados en la investigación, la cual incluye: secciones de caudal, mediciones de retrodispersión acústica, datos de concentración y diámetros de sedimentos suspendidos, características morfológicas de los ríos y datos de régimen de lluvia. La selección de la muestra debe garantizar la validez de la investigación y su representatividad de la población en su conjunto.

4.4 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

4.4.1 Tipo de Investigación

La investigación propuesta en este caso ha sido una combinación de investigación experimental y descriptiva. La investigación experimental se ha utilizado para verificar la fiabilidad y validez de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos en suspensión (SSC) en ríos de la Amazonia peruana. Por otro lado, la investigación descriptiva se ha utilizado para investigar la influencia de la morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia sobre la variabilidad de la SSC en ríos de la Amazonia peruana.

La combinación de estas dos técnicas permite una evaluación completa de la validez y fiabilidad de la técnica de retrodispersión acústica, así como una comprensión de los factores que influyen en la variabilidad de la SSC en la región amazónica del Perú. Según [Creswell y Creswell \(2017\)](#), la combinación de diferentes tipos de investigación puede ser efectiva para abordar preguntas de investigación complejas y para obtener una comprensión completa de un fenómeno. La investigación experimental es útil para evaluar la validez de una técnica o método, mientras que la investigación descriptiva es útil para comprender los factores que influyen en un fenómeno en particular.

4.4.2 Nivel de Investigación

La investigación propuesta en este caso es de nivel correlacional. El objetivo principal de ésta investigación es obtener la correlación entre los datos de SSC generados por backscatter vs datos medidos de SSC. Asimismo, los objetivos secundarios de ésta investigación es verificar si existe una relación entre la concentración de sedimentos en suspensión (SSC) y la morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia en ríos de la Amazonia peruana. Esto con motivo de tener todo el panorama de variables que influyen en la dinámica de la SSC, lo cual podría influir en el objetivo principal de estudio. La investigación correlacional es útil para investigar la relación entre dos o más variables ([Bryman, 2016](#)). En este caso, se busca entender cómo la variabilidad de la SSC se relaciona con las características de los ríos de la región amazónica del Perú y con la técnica de retrodispersión acústica.

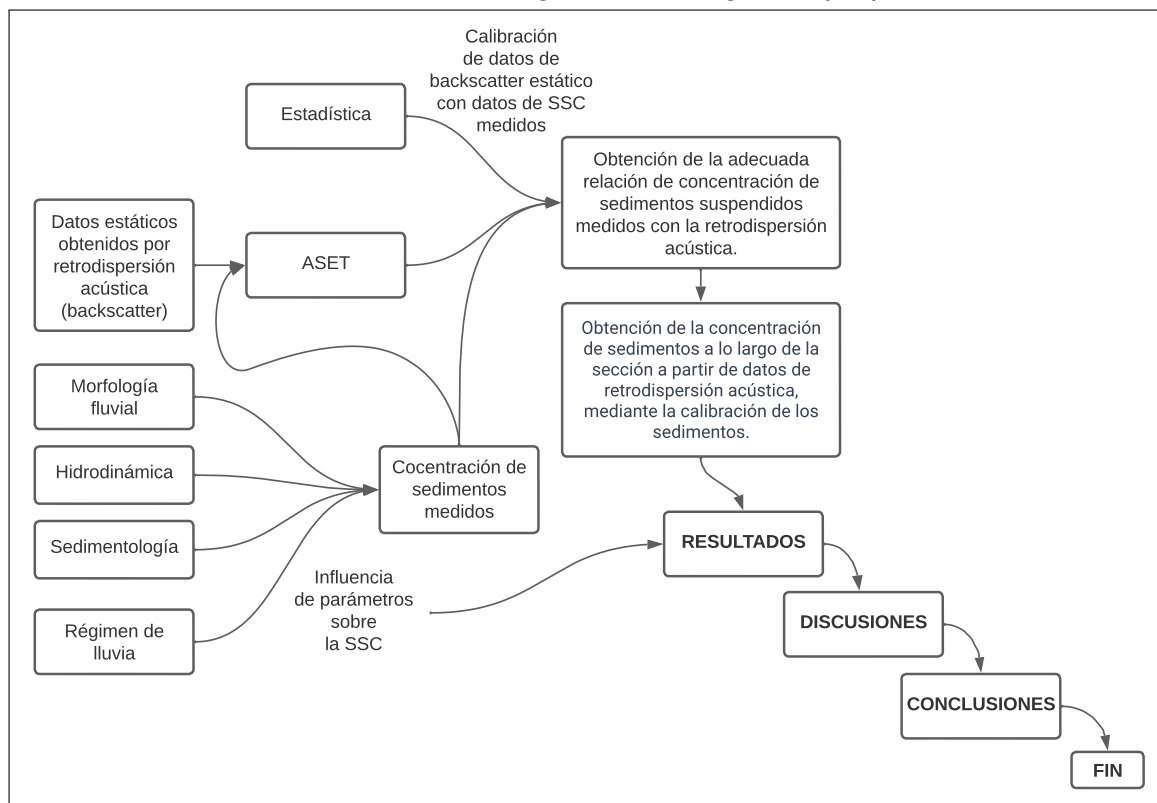
La investigación correlacional permite evaluar la relación entre variables sin manipularlas directamente. En lugar de eso, se miden las variables y se evalúa si existe una correlación entre ellas. Según [Kumar \(2018\)](#), la investigación correlacional es útil cuando se desea evaluar la relación entre variables que no pueden ser manipuladas debido a limitaciones éticas o prácticas. En este caso, la SSC no puede ser manipulada directamente, pero se pueden medir sus relaciones con las diversas variables de estudio.

4.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es uno de los elementos clave en cualquier proyecto de investigación, ya que establece la hoja de ruta que se seguirá para recolectar y analizar los datos. En este capítulo se presentará el esquema metodológico general que se utilizará en la investigación, el cual se representará a través de un diagrama de flujo (figura 4.1) que ilustrará las diferentes etapas y actividades que se llevarán a cabo para alcanzar los objetivos del estudio. Para ello, se tendrán en cuenta los conceptos y enfoques metodológicos de los expertos en investigación, como Booth et al. (2003); Bryman (2016); Creswell y Creswell (2017); Creswell y Poth (2016); Kumar (2018), entre otros, quienes ofrecen valiosas herramientas para la construcción de un diseño de investigación sólido y riguroso.

4.5.1 Esquema metodológico general

FIGURA N° 4.1: Metodología de investigación propuesta



Nota: Elaboración propia

4.6 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

[Booth et al. \(2003\)](#); [Bryman \(2016\)](#); [Creswell y Creswell \(2017\)](#); [Creswell y Poth \(2016\)](#); [Kumar \(2018\)](#) nos mencionan que esta sección es esencial en cualquier investigación, ya que aquí se describen los procedimientos y herramientas utilizados para recopilar y analizar datos. Los métodos, técnicas e instrumentos elegidos dependen del tipo de investigación y de las preguntas de investigación planteadas. En esta sección se presentan detalladamente las diferentes técnicas usadas, así como los instrumentos usados.

4.6.1 Métodos

La sección de métodos de una investigación es crucial para la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos. En esta investigación, se utilizó una metodología cuantitativa que permitió la recolección y análisis de datos numéricos. Los datos utilizados incluyen secciones de caudal medidas con ADCP, secciones estáticas de mediciones de retrodispersión acústica usadas para calibración de la transformación de datos acústicos a concentración de sedimentos, datos de concentración y diámetros de sedimentos suspendidos, muestreados en campo y analizados en laboratorio por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC), datos de características morfológicas de los ríos en estudio obtenidas mediante análisis SIG y datos de régimen de lluvia areales de las cuencas de drenaje de los principales afluentes de los ríos en estudio.

Para guiar la metodología cuantitativa utilizada en esta investigación, se consultaron diversas referencias en investigación. Entre ellas se encuentran [Booth et al. \(2003\)](#); [Creswell y Creswell \(2017\)](#); [Creswell y Poth \(2016\)](#).

El uso de estas referencias en investigación permitió una metodología rigurosa y sistemática en la recolección y análisis de los datos, lo que aumentó la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos. Además, la utilización de una metodología cuantitativa permitió el análisis estadístico de los datos, lo que proporcionó una comprensión más profunda de los patrones y tendencias en la concentración de sedimentos y las características morfológicas de los ríos en estudio.

4.6.2 Técnicas

En una investigación, una vez que se han definido los objetivos y el diseño de la investigación, es importante considerar las técnicas que se utilizarán para llevar a cabo la recopilación, análisis e interpretación de los datos. Las técnicas son herramientas y procedimientos que permiten operativizar los métodos elegidos en la investigación (Booth et al., 2003; Creswell y Creswell, 2017). Entre las técnicas más utilizadas en la investigación se encuentran: técnicas de recopilación de datos, técnicas de tabulación y codificación de datos, técnicas de análisis e interpretación de datos, técnicas de evaluación y técnicas de proyección o pronóstico de datos.

La elección de las técnicas adecuadas depende del enfoque metodológico de la investigación y de los tipos de datos que se recojan. Booth et al. (2003); Creswell y Creswell (2017); Creswell y Poth (2016) nos mencionan que es importante tener en cuenta que las técnicas deben ser coherentes con los objetivos de la investigación y con el método seleccionado. Las técnicas deben garantizar la validez y confiabilidad de los datos obtenidos, así como la calidad de los resultados de la investigación.

4.6.2.1 Técnicas de recopilación de datos:

Creswell y Creswell (2017) nos dicen que las técnicas de recopilación de datos son fundamentales en cualquier proceso de investigación ya que permiten obtener información relevante sobre el objeto de estudio. Es importante considerar que cada técnica tiene sus ventajas y desventajas, y que la elección de la técnica adecuada dependerá del tipo de información que se requiera y de las características de la población o muestra a estudiar.

4.6.2.2 Técnicas de tabulación y codificación de datos:

Una vez que se han recopilado los datos, es necesario procesarlos mediante técnicas de tabulación y codificación. Estas técnicas permiten transformar la información recopilada en datos numéricos que pueden ser analizados posteriormente. En este proceso se pueden utilizar herramientas como softwares estadísticos (SPSS y Excel) o códigos de programación (Python y R).

4.6.2.3 Técnicas de análisis e interpretación de datos:

Una vez que los datos están tabulados y codificados, se pueden aplicar técnicas de análisis e interpretación de datos para obtener información relevante sobre el objeto de estudio. Estas técnicas pueden ser cuantitativas, cualitativas o mixtas, y se utilizan para responder a las preguntas de investigación planteadas.

4.6.2.4 Técnicas de evaluación:

Otras técnicas importantes en la investigación son las de evaluación, que permiten determinar la calidad y la relevancia de los datos obtenidos y de la investigación en sí misma.

4.6.2.5 Técnicas de proyección o pronóstico de datos:

También existen técnicas de proyección o pronóstico de datos que permiten predecir el comportamiento futuro de las variables estudiadas. Según [Bryman \(2016\)](#), las técnicas de pronóstico pueden incluir el análisis de tendencias, modelos estadísticos, simulaciones y análisis de series temporales.

En conclusión, las técnicas de investigación son fundamentales en cualquier proceso de investigación y su elección adecuada dependerá del tipo de información que se requiera y de las características del objeto de estudio. Es importante tener en cuenta que la aplicación de las técnicas debe estar respaldada por un marco teórico sólido y una metodología clara y coherente.

4.6.3 Instrumentos

La selección y uso de instrumentos de investigación es un aspecto crítico en cualquier proyecto de investigación. Los instrumentos permiten al investigador recopilar y analizar datos de manera efectiva y precisa.




Creswell y Creswell (2017); Kumar (2018) nos dicen que existen diversos tipos de instrumentos, tanto para investigación cualitativa como cuantitativa, que pueden variar desde cuestionarios y entrevistas hasta observaciones y análisis de documentos.

En esta sección, se explorará en detalle los instrumentos usados para el desarrollo de ésta investigación.

4.6.3.1 Instrumentos usados para el análisis de los datos de morfología fluvial

La tabla 4.1 nos presenta los principales instrumentos usados para el análisis de datos de métricas de morfología fluvial.

TABLA N° 4.1: *Instrumentos usados para análisis de datos de Morfología Fluvial*

ID	Software	Icono	Función
1	QGIS		Software libre y de código abierto de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, editar y analizar datos espaciales
2	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
3	Google Earth Engine		Es una plataforma en línea desarrollada por Google que proporciona acceso a una gran cantidad de datos de imágenes de satélite y datos geoespaciales. Los usuarios pueden utilizar la plataforma para realizar análisis geoespaciales, crear mapas interactivos y desarrollar aplicaciones utilizando una variedad de lenguajes de programación.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.2 Instrumentos usados para el análisis de los datos de Hidrodinámica

La tabla 4.2 nos presenta los instrumentos usados para el análisis de datos de mediciones de ADCP.

TABLA N° 4.2: *Instrumentos usados para análisis de datos de Hidrodinámica*




ID	Software	Icono	Función
1	QRev		Es un programa que se utiliza para verificar y procesar los datos de mediciones de ADCP. Permite la edición, verificación y corrección de datos de corrientes de tiempo continuo en tiempo real o diferido.
2	VMT		Es una herramienta especializada para el análisis y visualización de datos de mediciones de ADCP. Permite obtener los patrones de velocidades primarias, secundarias y superficial.
3	Winriver II		El software hidrográfico procesa datos del ADCP RiverRay para medir y analizar profundidad y velocidad del agua en tiempo real. Permite la creación de perfiles de datos.
4	QGIS		Software libre y de código abierto de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, editar y analizar datos espaciales
5	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
6	Google Earth Engine		Es una plataforma en línea desarrollada por Google que proporciona acceso a una gran cantidad de datos de imágenes de satélite y datos geoespaciales. Los usuarios pueden utilizar la plataforma para realizar análisis geoespaciales, crear mapas interactivos y desarrollar aplicaciones utilizando una variedad de lenguajes de programación.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.3 Instrumentos usados para análisis de datos Sedimentológicos

La tabla 4.3 nos presenta la lista de instrumentos usados para la evaluación y análisis de los datos de sedimentos proporcionados por el laboratorio sedimentológico del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC).

TABLA N° 4.3: *Instrumentos usados para análisis de datos Sedimentológicos*

ID	Software	Icono	Función
1	QGIS		Software libre y de código abierto de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, editar y analizar datos espaciales
2	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
3	Google Earth Engine		Es una plataforma en línea desarrollada por Google que proporciona acceso a una gran cantidad de datos de imágenes de satélite y datos geoespaciales. Los usuarios pueden utilizar la plataforma para realizar análisis geoespaciales, crear mapas interactivos y desarrollar aplicaciones utilizando una variedad de lenguajes de programación.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.4 Instrumentos usados para obtención y análisis de datos del régimen de lluvia

La tabla 4.4 nos presenta la lista de instrumentos usados para la obtención, procesamiento, evaluación y análisis del régimen de lluvia de los principales afluentes de los ríos de estudio.

TABLA N° 4.4: *Instrumentos usados para obtención y análisis de datos del régimen de lluvia*





ID	Software	Icono	Función
1	Producto PISCO		Herramienta que proporciona información climática y meteorológica para la toma de decisiones.
2	QGIS		Software libre de Sistema de Información Geográfica (SIG) para la visualización, edición y análisis de datos espaciales.
3	SRTM DEM		Modelo Digital de Elevación (DEM) de la NASA que proporciona datos de altura en todo el mundo.
4	Lekan		Software hidrológico: aplicación de código abierto para el análisis hidrológico, modelización y simulación de cuencas hidrográficas.
5	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
6	RStudio		Entorno integrado de desarrollo (IDE) para el lenguaje de programación R utilizado en el análisis estadístico y visualización de datos.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.5 Instrumentos usados para análisis Hidroacústico

La tabla 4.5 nos presenta la lista de instrumentos usados para la calibración de sedimentos suspendidos y análisis de datos de retrodispersión acústica.

TABLA N° 4.5: *Instrumentos usados para análisis Hidroacústico*

ID	Software	Icono	Función
1	ASET		Herramienta para estimación acústica de sedimentos
2	QGIS		Software libre y de código abierto de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, editar y analizar datos espaciales
3	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
4	Google Earth Engine		Es una plataforma en línea desarrollada por Google que proporciona acceso a una gran cantidad de datos de imágenes de satélite y datos geoespaciales. Los usuarios pueden utilizar la plataforma para realizar análisis geoespaciales, crear mapas interactivos y desarrollar aplicaciones utilizando una variedad de lenguajes de programación.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.6 Instrumentos usados para análisis Estadístico

La tabla 4.6 presenta la lista de instrumentos usados para el análisis estadístico, el cual forma parte del análisis de las variables enumeradas anteriormente en esta sección.

TABLA N° 4.6: *Instrumentos usados para Estadística de los datos*


ID	Software	Icono	Función
1	Google Colaboratory		Plataforma gratuita basada en la nube para ejecutar código de Python y colaborar en tiempo real en proyectos de análisis de datos.
2	RStudio		Entorno integrado de desarrollo (IDE) para el lenguaje de programación R utilizado en el análisis estadístico y visualización de datos.

Nota: Elaboración propia

4.6.3.7 Instrumentos usados para redacción de ésta investigación

La tabla 4.7 nos presenta la lista de instrumentos usados para la redacción de ésta investigación.

TABLA N° 4.7: *Instrumentos usados para redacción de ésta investigación*

ID	Software	Icono	Función
1	Overleaf		Overleaf es una plataforma en línea para la edición colaborativa de documentos LaTeX, que permite la creación y edición de documentos científicos y técnicos de alta calidad.

Nota: Elaboración propia

4.7 VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

4.7.1 Validación

La validación de un instrumento de medición es un aspecto clave en cualquier investigación científica, ya que permite asegurar que los resultados obtenidos son confiables y precisos. Según [Creswell y Creswell \(2017\)](#), la validación de un instrumento de medición se refiere a "la capacidad del instrumento para medir lo que se supone que mide"(p. 178). Es decir, se busca confirmar que el instrumento utilizado para medir una variable realmente mide lo que se quiere medir y no otra cosa.

En este sentido, para determinar la validez de un instrumento, existen diferentes tipos de validación que se pueden realizar. Según [Hernández, Fernández, y Baptista \(2016\)](#), entre los tipos de validación más comunes se encuentran la validez de contenido, la validez de criterio y la validez de constructo. La validez de contenido se refiere a la medida en que los ítems del instrumento son relevantes y representan adecuadamente el constructo que se quiere medir. La validez de criterio se refiere a la medida en que los resultados del instrumento se correlacionan con otros criterios externos que miden el mismo constructo. La validez de constructo se refiere a la medida en que el instrumento mide el constructo teórico que se quiere medir.

Para llevar a cabo una validación de instrumentos, es importante contar con la opinión de expertos en el campo de estudio. Según [Hernández et al. \(2016\)](#), la opinión de expertos es esencial para determinar la validez de contenido, ya que estos pueden evaluar si los ítems del instrumento son relevantes y representan adecuadamente el constructo que se quiere medir. Además, los expertos pueden ayudar en la identificación de posibles problemas o deficiencias en el instrumento.

En ésta investigación, se contó con la participación de especialistas del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) para determinar la validez de los procedimientos, muestreo y ensayos realizados para la obtención de datos. De esta manera, se aseguró que los procedimientos, mediciones y ensayos utilizados para medir las variables de interés son confiables, válidos y precisos.

4.7.2 Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la consistencia y estabilidad de los resultados obtenidos a través de un instrumento de medición. En otras palabras, "la confiabilidad se refiere a la capacidad del instrumento para producir resultados consistentes y estables en diferentes momentos y en diferentes contextos"([Creswell y Creswell, 2017](#))(p.198).

Según ([Booth et al., 2003](#)), "la confiabilidad de un instrumento se puede medir a través de diferentes métodos, como el test-retest, la consistencia interna y la equivalencia de formas"(p. 132). El método de test-retest implica administrar el mismo instrumento en dos

momentos diferentes y comparar los resultados para determinar la consistencia de los resultados. La consistencia interna se refiere a la relación entre los diferentes ítems del instrumento y se puede medir a través de diferentes estadísticos, como el coeficiente alpha de Cronbach. La equivalencia de formas implica administrar dos formas diferentes del mismo instrumento y comparar los resultados para determinar si los resultados son consistentes.

Además, la confiabilidad también puede ser evaluada a través de la participación de expertos. Según (Creswell y Poth, 2016), "la revisión de expertos puede ayudar a identificar posibles problemas o deficiencias en el instrumento que pueden afectar la confiabilidad de los resultados"(p. 131). Es importante contar con la participación de expertos en el campo de estudio para asegurarse de que el instrumento utilizado es confiable y produce resultados consistentes.

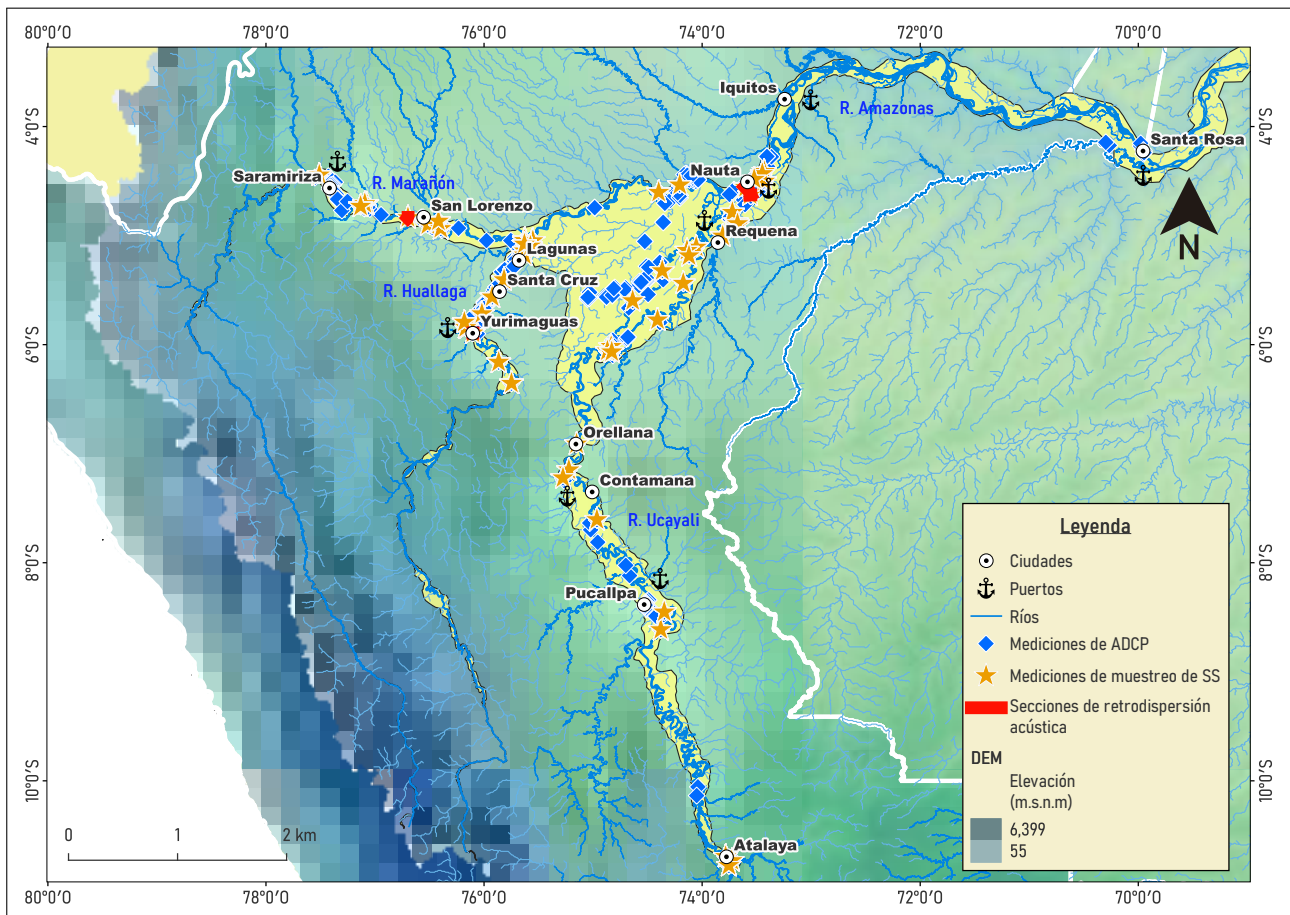
En resumen, la confiabilidad de un instrumento es esencial para asegurar que los resultados obtenidos son precisos y confiables. Para determinar la confiabilidad de un instrumento, es importante utilizar diferentes métodos de evaluación y contar con la participación de expertos en el campo de estudio. En el caso de ésta investigación especialistas del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC), dan validez y confiabilidad de los datos muestreados en campo y procesados.

4.8 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.8.1 Área de estudio

El área de estudio de ésta investigación corresponde a los ríos Amazónicos peruanos nororientales (Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas)

FIGURA N° 4.2: Área de estudio de la presente investigación

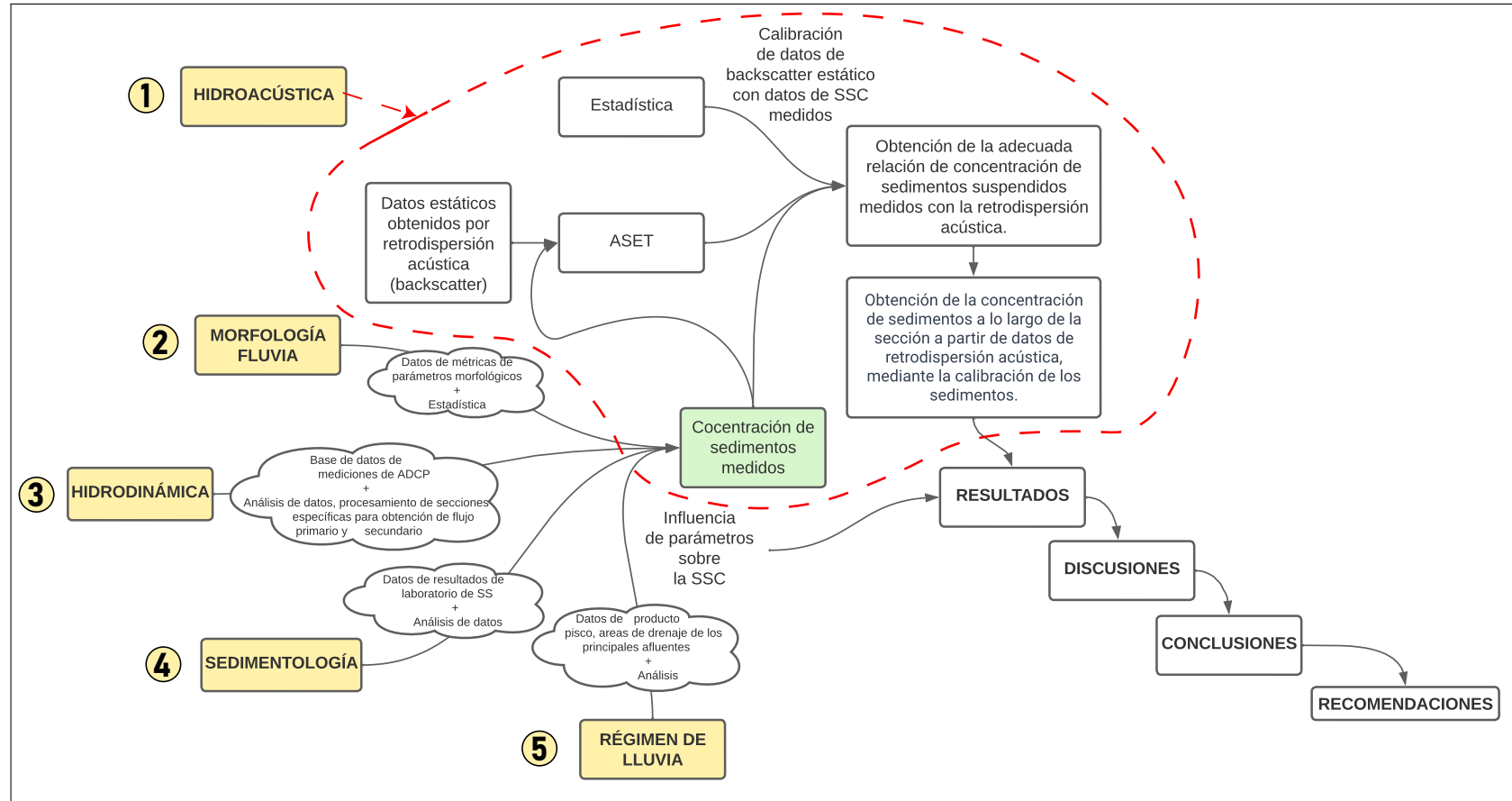


Nota: Elaboración propia

4.8.2 Detalle de los procedimientos del flujograma de la investigación

En esta subsección se presenta la figura 4.3, la cual es el detalle del flujograma de la metodología general de investigación propuesta presentada en la figura 4.1.

FIGURA N° 4.3: *Detalle de metodología de investigación propuesta*



Nota: *Elaboración propia*

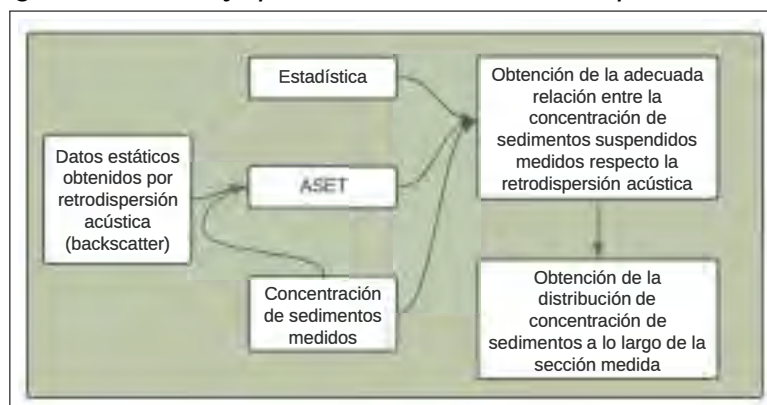
Como la metodología de estudio propuesta incluye varias variables, a continuación se detallará cada una de ellas.

Antes de presentar los esquemas o flujogramas metodológicos para cada variable, es importante recordar que el objetivo general de esta investigación es "verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa confiable para el monitoreo continuo de SSC en los ríos de la Amazonia peruana". Por este motivo, la subsección 4.8.2.1 detalla los procedimientos de estudio para la variable Hidroacústica. Asimismo, los objetivos específicos de esta investigación, presentados en la tabla de matriz de consistencia (Anexo 06), nos indican que la razón de estudio de estas variables es verificar su influencia en la concentración de sedimentos suspendidos (SSC), ya que la SSC es sensible a dichas variables. En las subsecciones 4.8.2.2, 4.8.2.3 y 4.8.2.4 se presenta todo el proceso metodológico desde la planificación, muestreo en campo y procesamiento. Es importante conocer todo el complejo proceso, a pesar de que para dichas variables solo se realizará el análisis a partir de los resultados obtenidos en esas variables, lo cual corresponde a los flujogramas finales de esas subsecciones. A excepción de la subsección 4.8.2.3, donde, además del análisis a partir de la base de datos, se tendrá que realizar el procesamiento de algunas secciones de interés. En este caso, los flujogramas que se usarán corresponden al último y penúltimo. En el caso de la subsección 4.8.2.5, que se refiere a la metodología de estudio de la variable de Régimen de lluvia, se presenta el flujograma que se utilizará para verificar su influencia sobre la concentración de sedimentos suspendidos.

4.8.2.1 Hidroacústica

En el marco metodológico, se utiliza el siguiente flujograma de trabajo presentado en la figura 4.4 para obtener la distribución en sección de la concentración de sedimentos suspendidos. Este proceso se lleva a cabo a través de la calibración de datos de secciones de backscatter estáticos utilizando mediciones de concentración de sedimentos suspendidos.

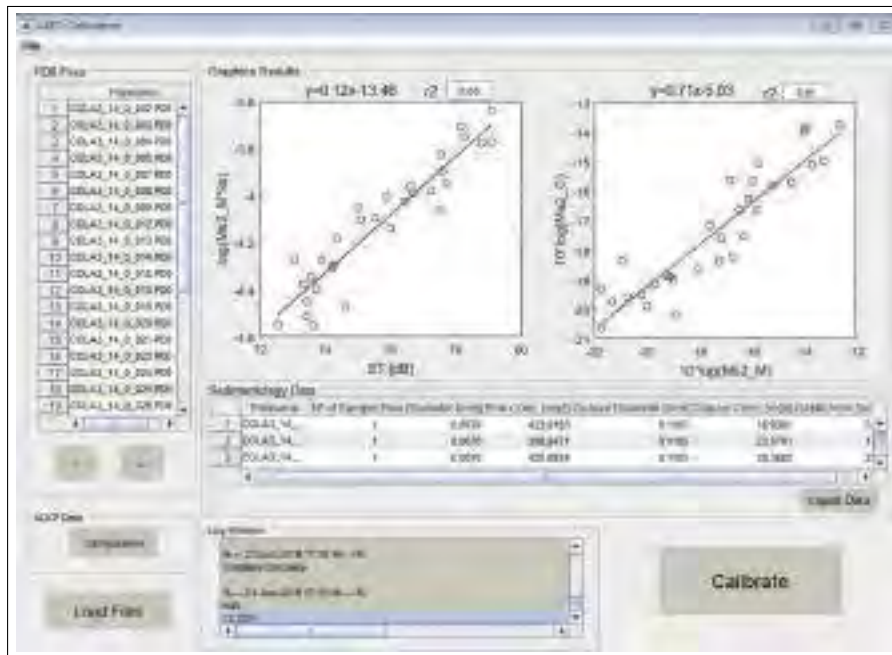
FIGURA N° 4.4: *Flujograma de trabajo para la técnica de retrodispersión acústica (backscatter)*



Nota: Elaboración propia.

La Figura 4.5 muestra un ejemplo de la calibración en ASET de los datos de retrodispersión acústica estática con los datos de concentración de sedimentos suspendidos medidos en la misma sección donde se realiza la medición de backscatter estático.

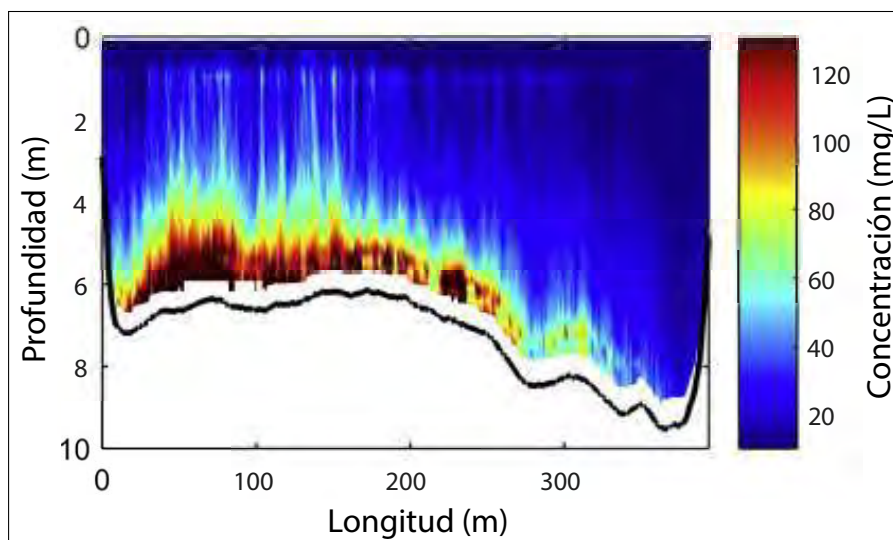
FIGURA N° 4.5: Ventana de calibración en ASET de datos de retrodispersión acústica con datos de SSC medidos



Nota: Adaptado de [Ruben et al. \(2020\)](#), "Caja de herramientas para estimación de sedimentos acústicos (ASET): Un paquete de software para calibrar y procesar datos de ADCP TRDI para calcular el transporte de sedimentos suspendidos en ríos arenosos." (p. 9).

En la Figura 4.6, se presenta un ejemplo de la interpolación en ASET de los datos de concentración de sedimentos suspendidos a partir de los datos de retrodispersión acústica calibrados con las mediciones de concentración de sedimentos suspendidos.

FIGURA N° 4.6: SSC interpolado a partir de datos de backscatter calibrados con datos medidos de SSC



Nota: Adaptado de [Ruben et al. \(2020\)](#), "Caja de herramientas para estimación de sedimentos acústicos (ASET): Un paquete de software para calibrar y procesar datos de ADCP TRDI para calcular el transporte de sedimentos suspendidos en ríos arenosos." (p. 10).

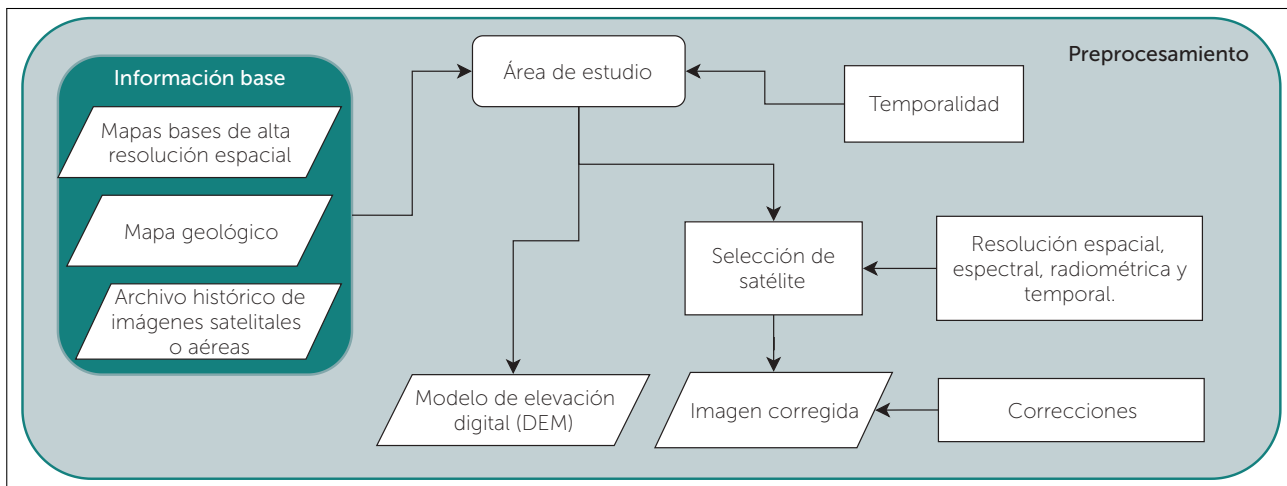
4.8.2.2 Morfología fluvial

En esta subsección se proporcionan los procedimientos para caracterización morfológica fluvial y verificación de la influencia de los parámetros morfológicos en la SSC. Asimismo se menciona explícitamente que los datos de parámetros morfológicos de los ríos en estudio, fueron previamente obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC). Se hace referencia al Anexo 01, donde se presenta la constancia de autorización de uso de datos por parte del CITA-UTEC.

4.8.2.2.1. Preprocesamiento de imágenes satelitales

La figura 4.7 nos presenta el flujograma que se realiza en la imágenes satelitales sin procesar.

FIGURA N° 4.7: *Flujograma de preprocesamiento de imágenes satelitales*

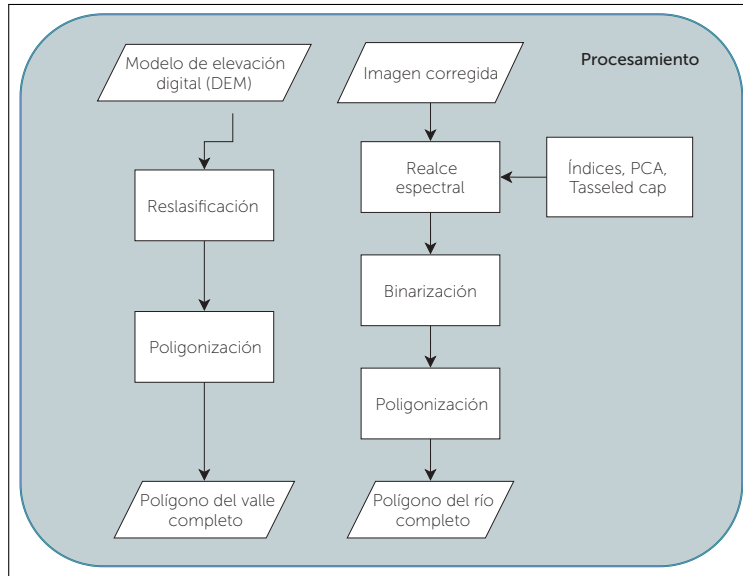


Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 86).

4.8.2.2.2. Procesamiento de imágenes satelitales

La figura 4.8 presenta el flujograma de procesamiento para imágenes satelitales con énfasis en la obtención de polígonos de valle y río para la caracterización morfológica fluvial.

FIGURA N° 4.8: *Flujograma de procesamiento de imágenes satelitales para obtención de polígonos de valle y río*

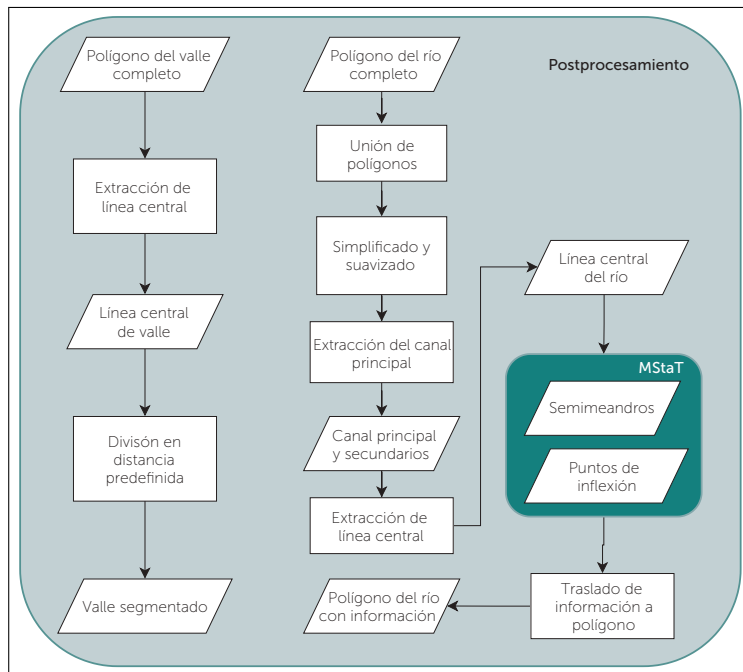


Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 88).

4.8.2.2.3. Post-procesamiento de polígonos de valle y río

La figura 4.9 nos presenta el flujograma de post-procesamiento de los polígonos completos de valle y río obtenidos mediante el flujograma de la figura 4.8.

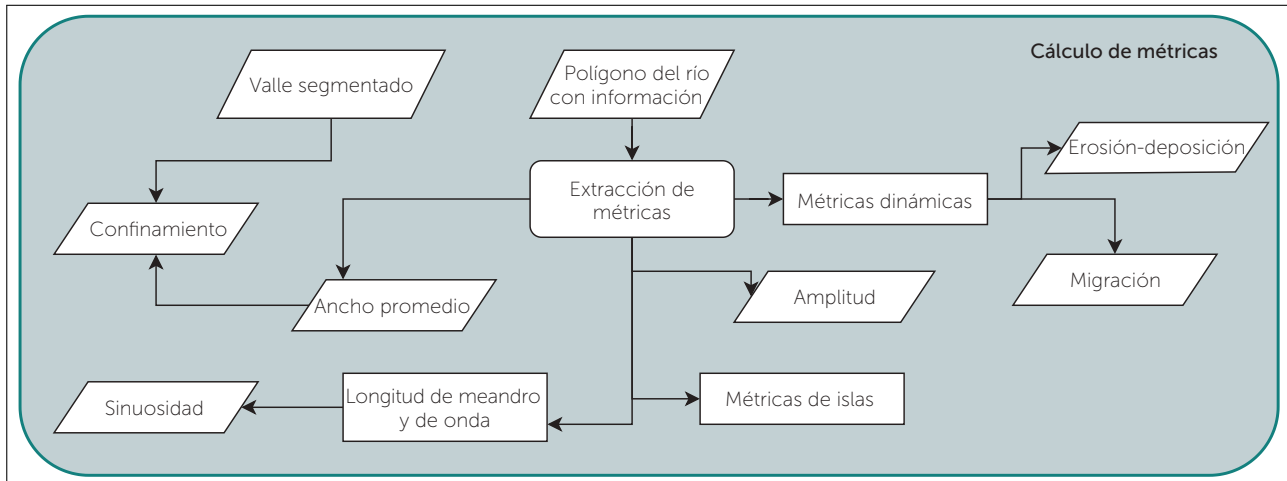
FIGURA N° 4.9: *Flujograma de post-procesamiento de polígonos de valle y río*



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 93).

4.8.2.2.4. Cálculo de métricas de parámetros morfológicos

La figura 4.10 nos presenta el flujograma de cálculo de obtención de métricas de los parámetros morfológicos de los ríos de estudio a partir de los polígonos de valle y río obtenidos en el flujograma de la figura 4.9.

FIGURA N° 4.10: *Flujograma de cálculo de métricas de parámetros morfológicos*

Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 106).

La tabla 4.8 presenta los años de estudio de los ríos. El Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) utilizó intervalos de 4 años para los ríos meándricos debido a su alta dinámica fluvial en cortos periodos de tiempo. Además, se emplearon intervalos de 6 años para los ríos multicanal debido a su baja dinámica fluvial característica. El período de estudio abarcó desde 1987 hasta 2017. Se seleccionó este periodo de tiempo debido a la disponibilidad de datos de los satélites Landsat (ver Tabla 4.9).

TABLA N° 4.8: *Intervalo de años de estudio para los diferentes tipos de ríos*

Tipo de río	Río	Intervalo de estudio	Periodo de estudio
Ríos multicanales	Amazonas	6 años	1987-2017
	Marañón		
Ríos méandricos	Huallaga	4 años	1989-2017
	Ucayali		

Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 118).

TABLA N° 4.9: Años de disponibilidad de datos de los satélites Landsat 5, 7 y 8.

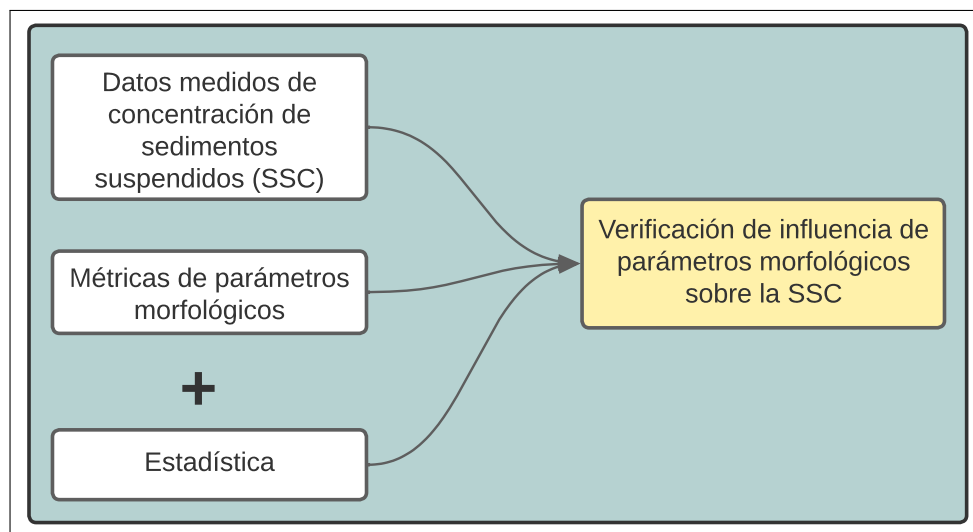
Satélite	Años de disponibilidad de datos
Landsat 5	1984 - 2013
Landsat 7	1999 - presente
Landsat 8	2013 - presente

Nota: Elaboración propia

4.8.2.2.5. Verificación de la influencia de la morfología fluvial en la SSC

La figura 4.11 nos presenta el flujograma para la verificación de la influencia de los valores de las métricas de los parámetros morfológicos sobre la concentración de sedimentos (SSC). Éste flujograma fué usado para la presente investigación para determinar la influencia de la variable Morfología Fluvial sobre la SSC.

FIGURA N° 4.11: *Flujograma de verificación de influencia de parámetros morfológicos sobre la SSC*



Nota: Elaboración propia.

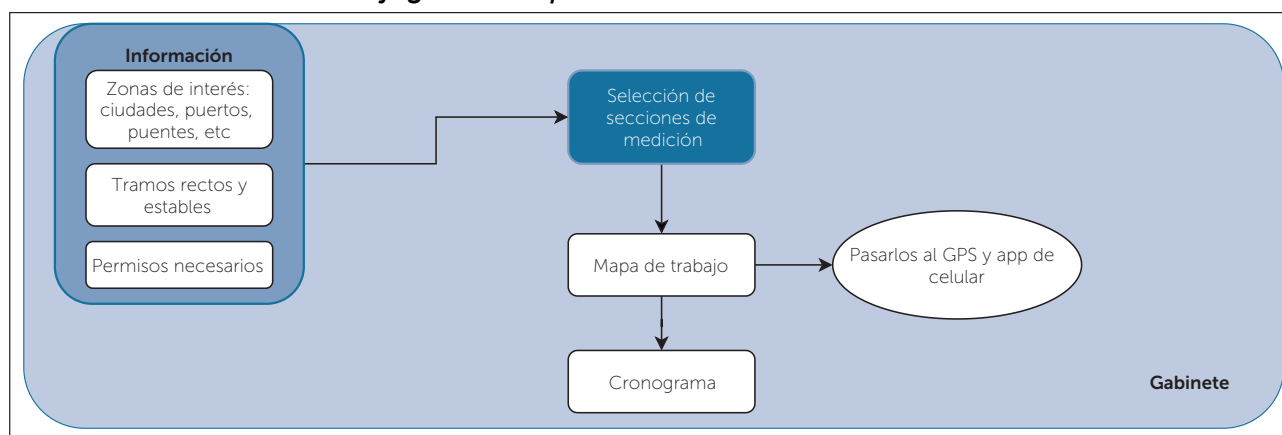
4.8.2.3 Hidrodinámica

En esta subsección se describen los procedimientos para la caracterización hidrodinámica y para la verificación de la influencia de los parámetros hidrodinámicos en la SSC. Además, se hace explícito que los datos hidrodinámicos de los ríos en estudio (medidos con ADCP) fueron obtenidos en campo por el Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC) durante los años 2017-2020, bajo diferentes regímenes fluviales. Es importante tener en cuenta que estos datos suelen ser procesados de acuerdo con las investigaciones específicas que se llevan a cabo, debido a la gran cantidad de secciones medidas en diferentes zonas o áreas específicas, como confluencias, meandros, zonas de cambio de canal principal, canales anabranching, zonas de disipación de energía entre montaña y amazonía, entre otros. Se hace referencia al Anexo 01, donde se presenta la constancia de autorización para el uso de los datos por parte del CITA-UTEC.

4.8.2.3.1. Planeamiento de mediciones hidrodinámicas

La figura 4.12 nos presenta el flujograma de planeamiento para mediciones hidrodinámicas.

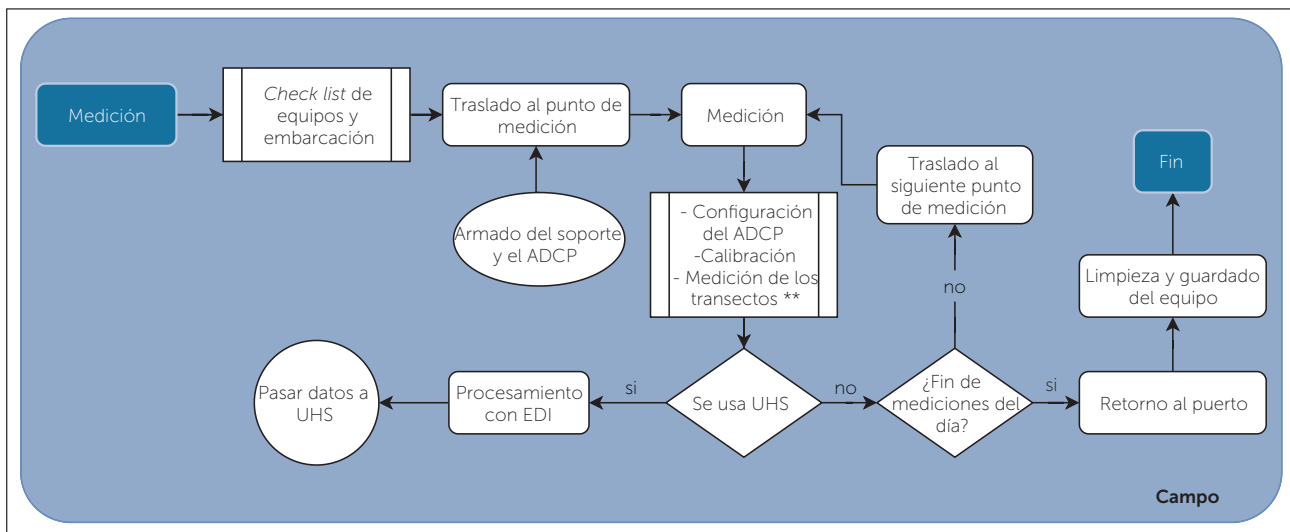
FIGURA N° 4.12: *Flujograma de planeamiento de mediciones hidrodinámicas*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 139).

4.8.2.3.2. Mediciones hidrodinámicas con ADCP

La figura 4.13 nos presenta el flujograma de pasos para mediciones hidrodinámicas con ADCP.

FIGURA N° 4.13: *Flujograma de mediciones hidrodinámicas con ADCP*

Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022)*, "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 139).

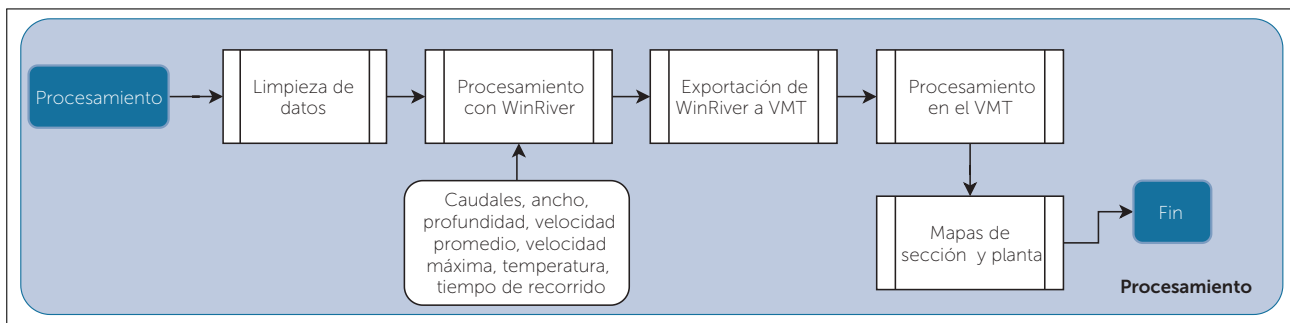
La figura 4.14 nos presenta la medición con ADCP en grandes ríos de Amazonía peruana.

FIGURA N° 4.14: *Medición de ADCP*

Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2019b)*, "Metodología de línea base geomorfológica para los ríos de la Hidrovía Amazónica: Aplicación en el río Huallaga" (p. 23).

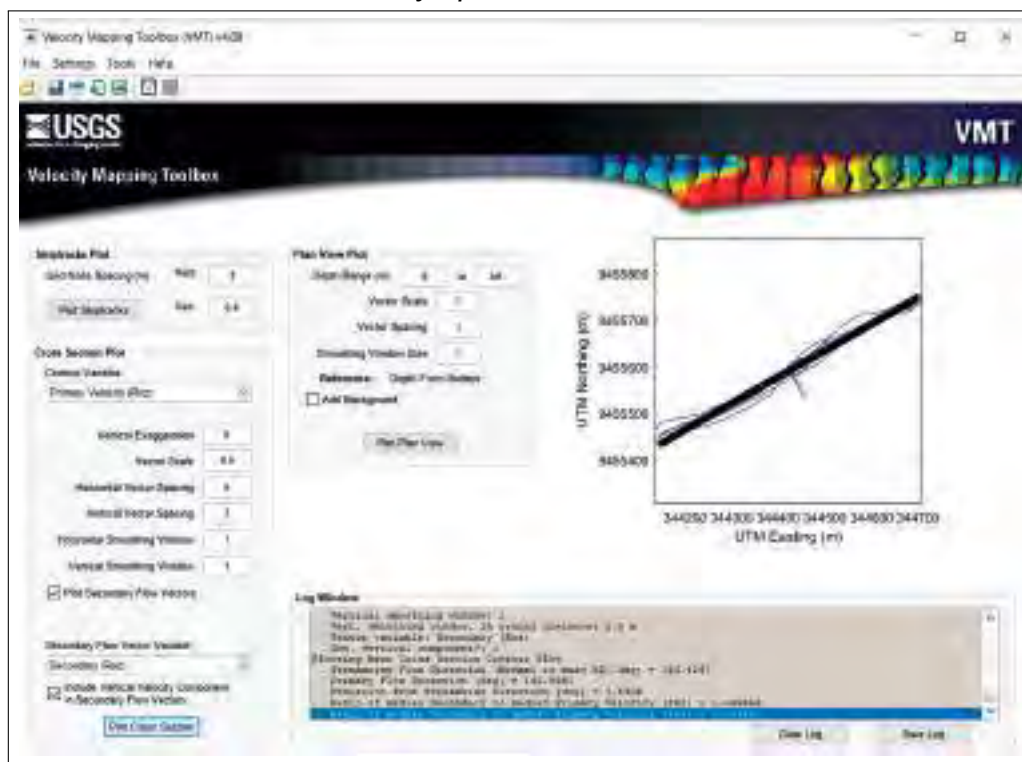
4.8.2.3.3. Procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP

La figura 4.15 nos presenta el flujograma de pasos para procesamiento de mediciones hidrodinámicas obtenidas por ADCP. Se menciona explícitamente que adicionalmente a éste flujograma es necesario la verificación de la calidad de datos de medición mediante el software Qrev (Mueller, 2016), tal como se enfatiza en el marco teórico (p. 25).

FIGURA N° 4.15: *Flujograma de procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP*

Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 139).

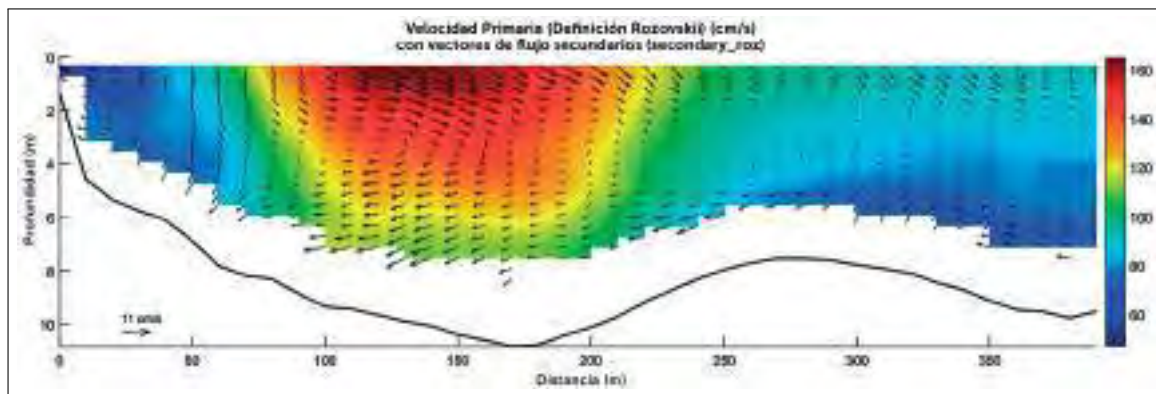
La figura 4.16 nos muestra la configuración de las vistas, escalas y opciones de visualización del software VMT. Cabe recalcar que ésta configuración es única y acorde al tipo de sección analizada.

FIGURA N° 4.16: *Vistas, escalas y opciones de visualización del software VMT*

Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 160).

La figura 4.17 nos muestra un ejemplo del patrón de flujo secundario obtenidos con VMT mediante el método de Rozovskii.

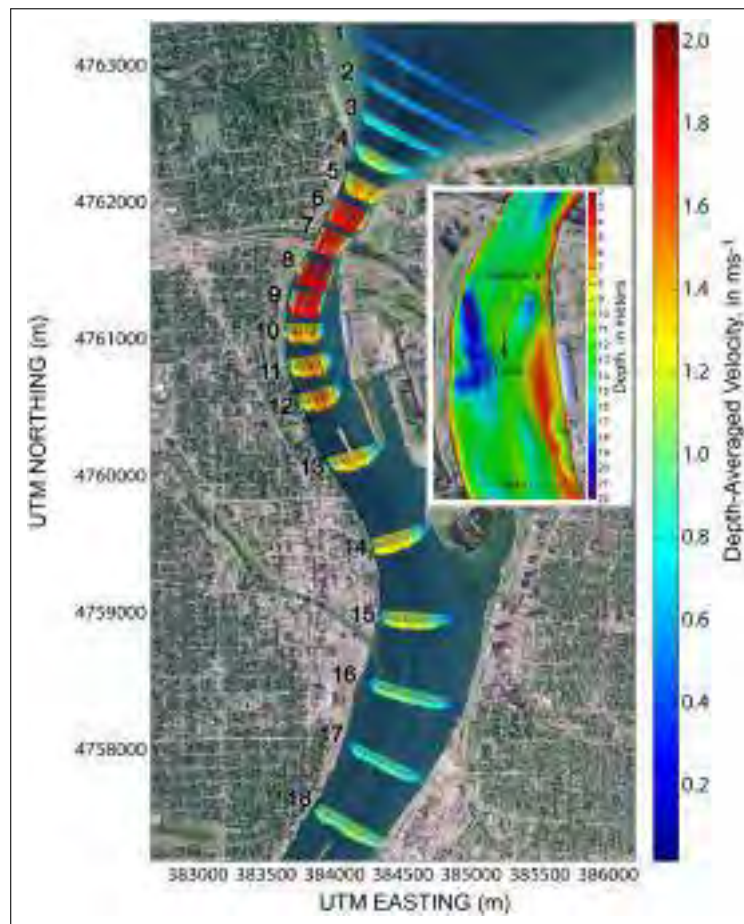
FIGURA N° 4.17: Patrón de flujo secundario



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 161).

La figura 4.18 nos muestra un ejemplo de distribución de velocidades superficiales obtenido mediante el procesamiento con el software VMT de datos correspondientes a mediciones de campo.

FIGURA N° 4.18: Distribución en planta de la velocidad de flujo superficial y promedio del patrón de velocidades primarias vertical del río St. Clair (MI, EE. UU.)

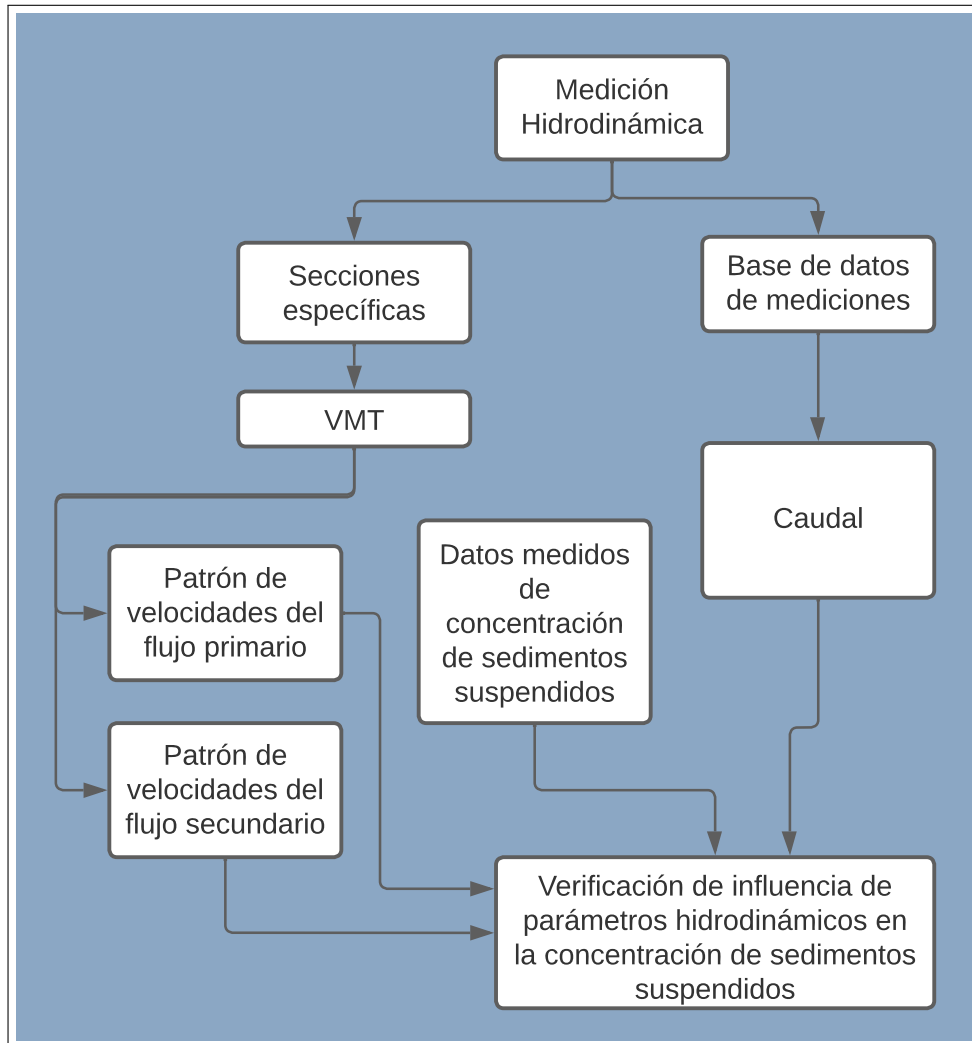


Nota: Adaptado de [Parsons et al. \(2013\)](#), "Herramienta de Mapeo de Velocidad (VMT): Un conjunto de procesamiento y visualización para mediciones ADCP de embarcaciones en movimiento." (p. 7).

4.8.2.3.4. Verificación de la influencia de la hidrodinámica en la SSC

La figura 4.19 nos presenta el flujograma para verificación de la influencia de la hidrodinámica (patrones de velocidades de flujo primario y secundario) sobre la concentración de sedimentos (SSC) medidos.

FIGURA N° 4.19: *Flujograma de procesamiento de mediciones hidrodinámicas con ADCP*



Nota: Elaboración propia

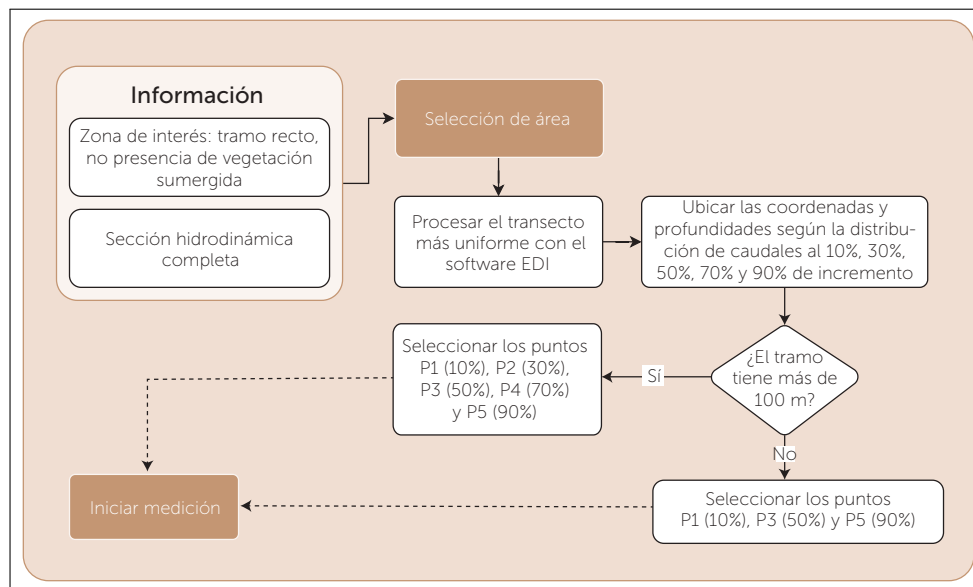
4.8.2.4 Sedimentología

En esta subsección se describen los procedimientos para la caracterización sedimentológica y la verificación de la influencia de los parámetros sedimentológicos en la SSC. Asimismo, se menciona explícitamente que los datos sedimentológicos corresponden a secciones estables que no han presentado cambios morfológicos en los últimos 30 años, lo cual fue determinado mediante un estudio morfológico de los ríos realizado por CITA-UTEC. Los datos de sedimentos fueron previamente muestreados en campo y analizados en laboratorio por el Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC) para el período de 2017 a 2020 bajo diferentes regímenes fluviales. Además, es importante tener en cuenta que en esta investigación se utilizan los resultados de laboratorio de los sedimentos suspendidos de las secciones de estudio con el fin de verificar su influencia sobre la SSC. Se hace referencia al Anexo 01, donde se presenta la constancia de autorización para el uso de los datos por parte de CITA-UTEC.

4.8.2.4.1. Procesos iniciales

La figura 4.20 nos presenta el flujograma de mediciones previas al muestreo de sedimentos suspendidos en la sección de estudio.

FIGURA N° 4.20: *Flujograma de procesos iniciales*



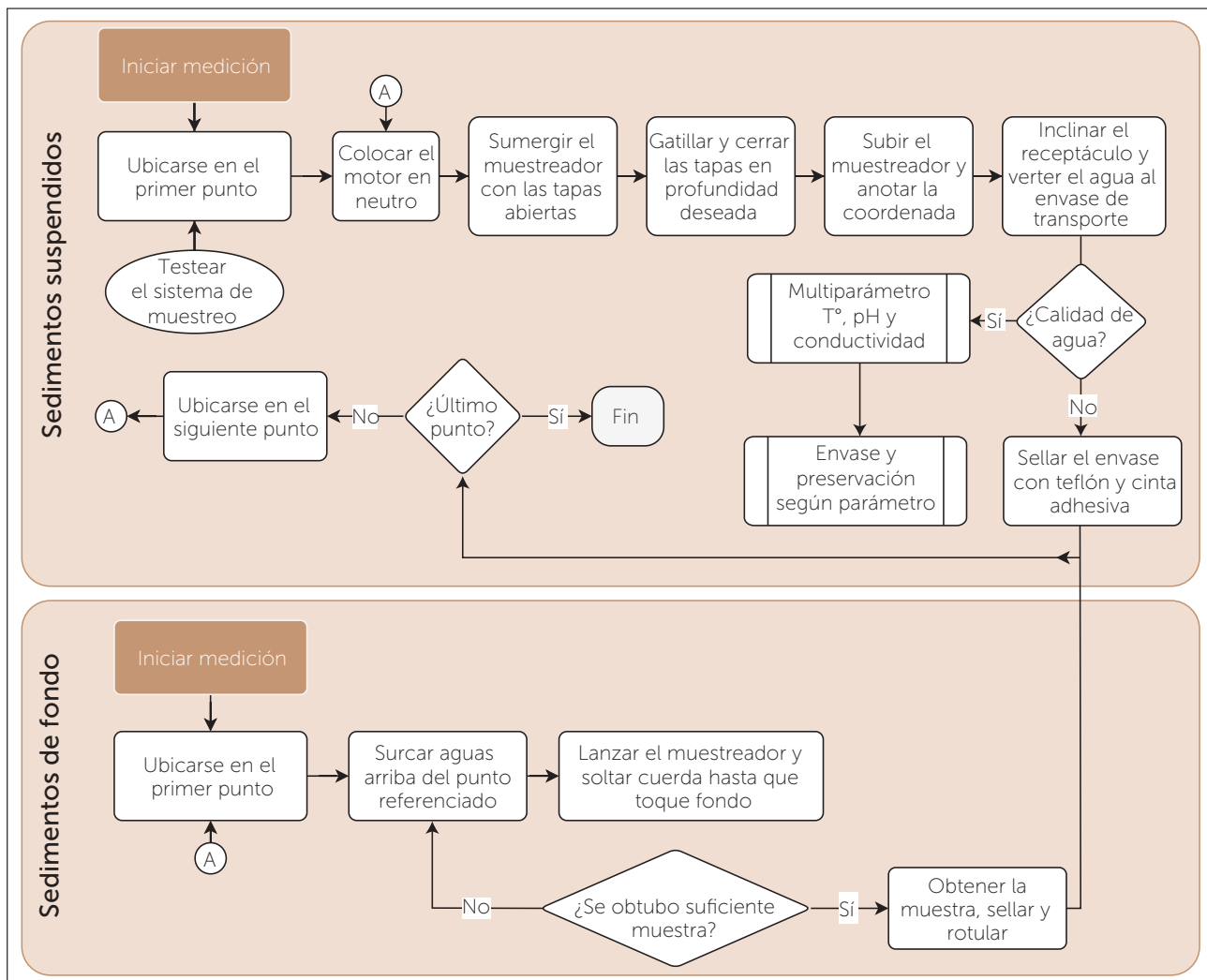
Nota: Adaptado del *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 191).*

4.8.2.4.2. Muestreo de sedimentos suspendidos y fondo

La figura 4.21 nos presenta el flujograma de mediciones de muestreo de sedimentos, el flujograma esquematiza el muestreo tanto de sedimentos suspendidos como del material

de lecho.

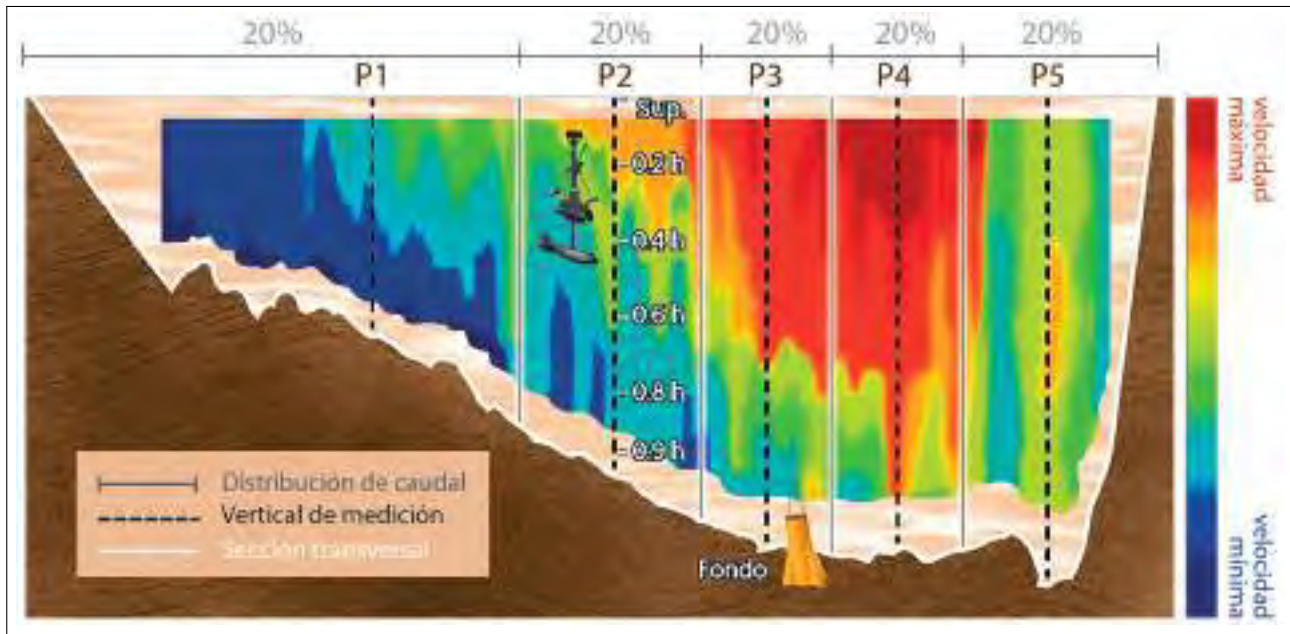
FIGURA N° 4.21: *Flujograma de procesos de muestreo de sedimentos suspendidos y de fondo*



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEA\)](#) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 192).

La figura 4.22 nos presenta una sección característica de ríos amazónicos, aquí se presenta los puntos de medición de SS que se encuentran sobre el eje centroide de las zonas de incremento de caudal obtenidos por el EDI a partir de un transecto de medición de ADCP. Las profundidades usadas para la medición de SS son 0 , $0.2h$, $0.4h$, $0.6h$, $0.8h$ y $0.9h$; donde " h " simboliza la profundidad correspondiente al eje centroide de la correspondiente área de porcentaje de caudal. La medición de SS es realizada mediante un muestreador niskin modificado el cual lleva un lastre hidrodinámico. Asimismo, se presenta el muestreador de sedimentos de lecho, el cual es un tubo con aletas similar a un ancla; la recolección de sedimentos de fondo se realiza mediante arrastre.

FIGURA N° 4.22: Esquema de puntos de medición de sedimentos suspendidos y medición de material de fondo



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2022\)](#), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 194).

La figura 4.23 nos presenta el muestreador de sedimentos suspendidos usado, acorde al flujograma presentado por la figura 4.21 y por la esquematización de puntos de medición presentado por la figura 4.22.

FIGURA N° 4.23: Muestreador para medición de sedimentos suspendidos



Nota: Adaptado del [Centro de Investigación y Tecnología del Agua \(CITA-UTEC\) \(2021a\)](#), "Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en ríos de las cuencas Andino-Amazónicas" (p. 38).

La figura 4.24 nos presenta el muestreador de sedimentos suspendidos usado para

la obtención de sedimento de lecho, de acuerdo con el flujograma presentado en la figura 4.21 y la esquematización de puntos de medición presentada en la figura 4.22.

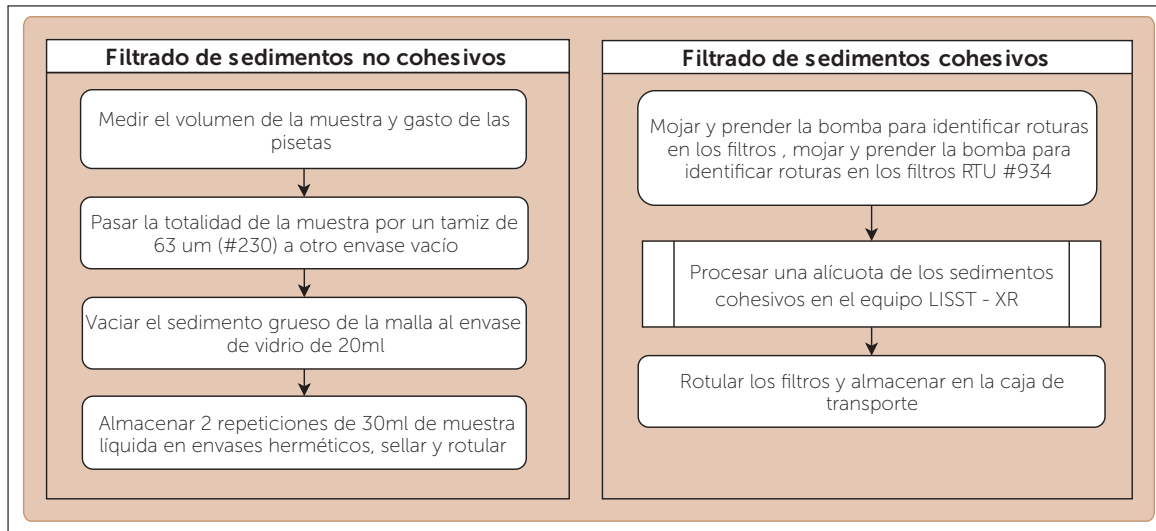
FIGURA N° 4.24: *Muestreador para medición de sedimentos de fondo*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2021a), "Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en ríos de las cuencas Andino-Amazónicas" (p. 39).

4.8.2.4.3. Proceso de filtrado en laboratorio de campo para sedimentos suspendidos

La figura 4.25 nos presenta el flujograma de los procesos del laboratorio de campo el cual consiste en la filtración de muestras de sedimentos suspendidos usando un tamiz de celulosa para así separar los sedimentos cohesivos y no cohesivos. Ésto facilita su transporte y almacenaje para ser analizados en laboratorio.

FIGURA N° 4.25: *Flujograma de procesos de laboratorio de campo*

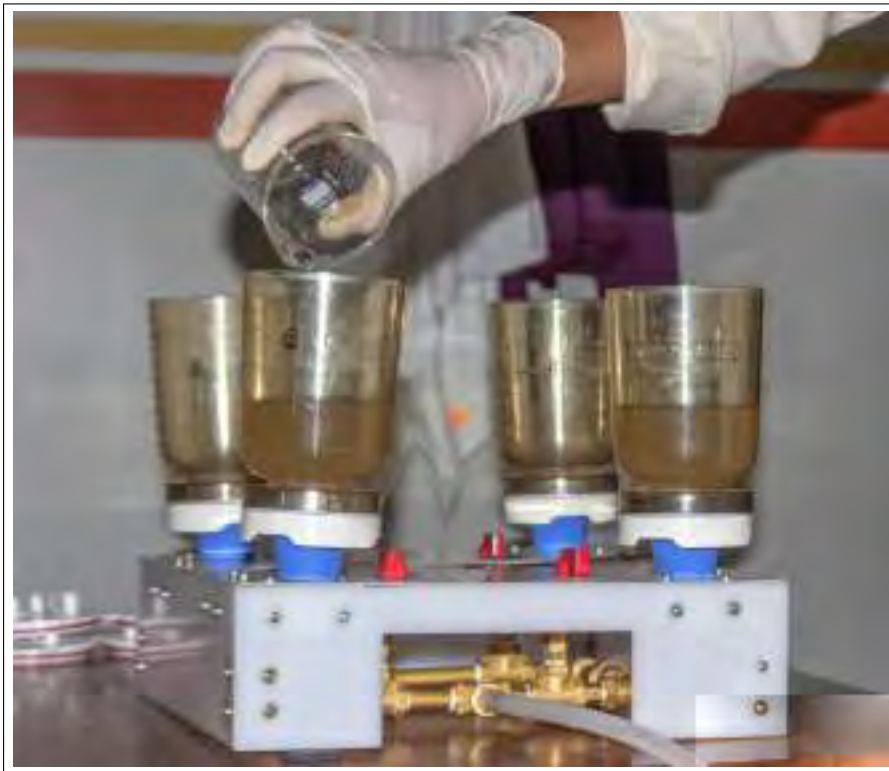
Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UPEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 199).

La figuras 4.26 y 4.27 nos muestran el filtrador portátil utilizado por el laboratorio de campo para separar los sedimentos cohesivos de los no cohesivos, tal como se muestra en la figura 4.25.

FIGURA N° 4.26: *Filtrador de sedimentos cohesivos y no cohesivos*

Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UPEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 184).

FIGURA N° 4.27: *Filtrador portátil de sedimentos suspendidos que se usarán por el CITA-UTEC*

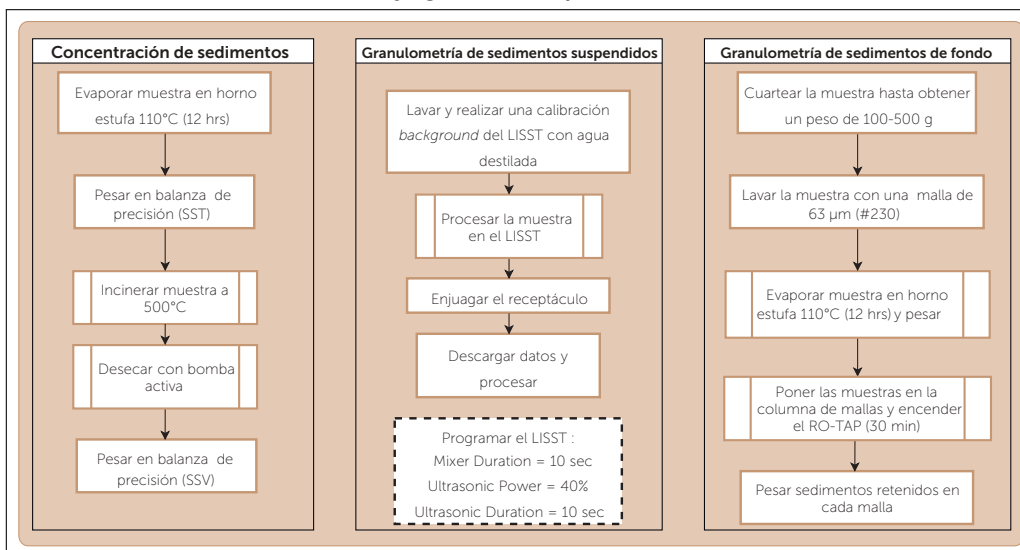


Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2021), "Taller: Medición y caracterización física de ríos Andino - Amazónicos" (Módulo 3: Diseño para la caracterización de sedimentos suspendidos en ríos amazónicos)

4.8.2.4.4. Procesos de laboratorio para obtención de concentración y granulometría

La figura 4.28 nos presenta el flujograma de los procesos de laboratorio para obtención de SSC y caracterización granulométrica de SS y de fondo.

FIGURA N° 4.28: *Flujograma de procesos de laboratorio*



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2022), "RIOS DANZANTES: Guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en Andes-Amazonía" (p. 202).

Como se mencionó en el marco teórico y en la figura 4.28, la concentración de sedimentos suspendidos es obtenida por el método de filtrado y su distribución granulométrica es obtenida mediante difracción láser utilizando el LISST-Portable|XR (instrumento portátil para medir tamaño y concentración de partículas suspendidas), como se presenta en la figura 4.29.

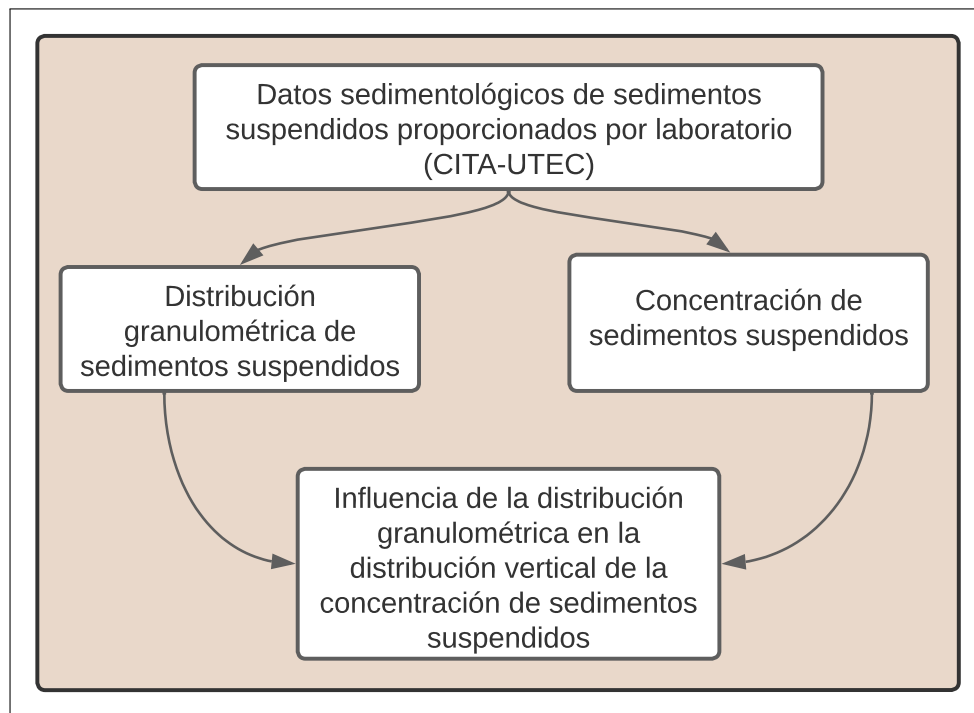
FIGURA N° 4.29: LISST-Portable|XR para obtención de distribución granulométrica de SS



Nota: Adaptado del Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2021), "Taller: Medición y caracterización física de ríos Andino - Amazónicos" (Módulo 3: Diseño para la caracterización de sedimentos suspendidos en ríos amazónicos)

4.8.2.4.5. Verificación la influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC

La figura 4.30 nos presenta el flujograma para la verificación de la influencia de las características sedimentológicas de los sedimentos suspendidos sobre el perfil vertical de concentraciones de sedimentos.

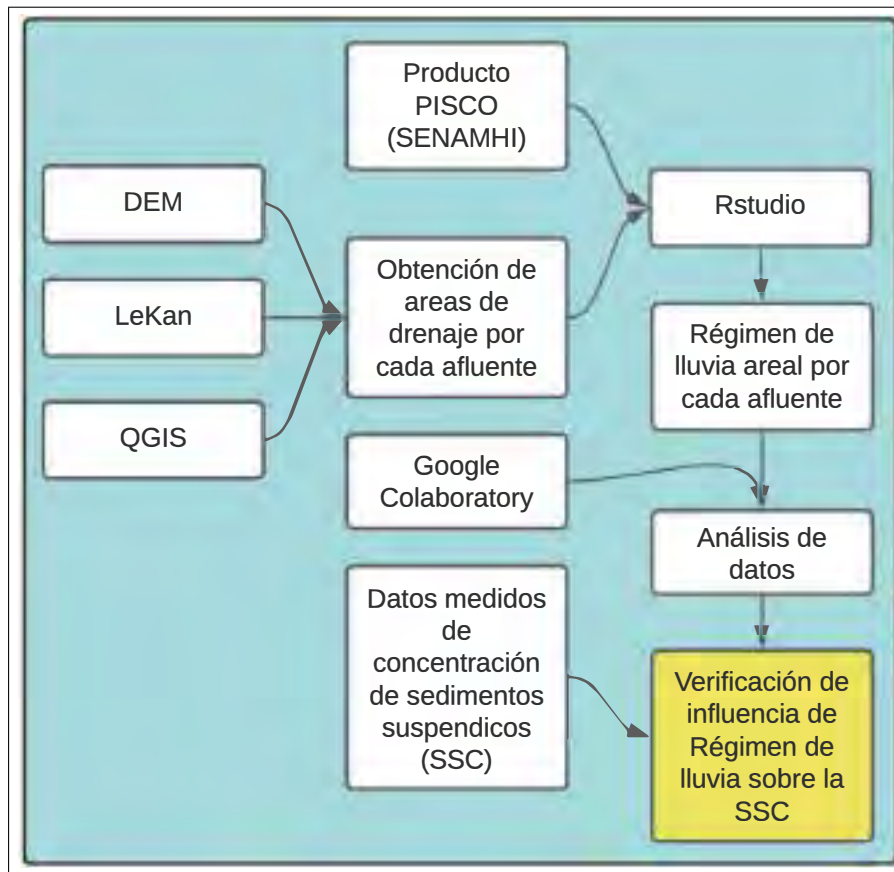
FIGURA N° 4.30: *Flujograma de procesos de laboratorio*

Nota: Elaboración propia.

4.8.2.5 Régimen de lluvia

La figura 4.31 nos presenta el flujograma que se seguirá para verificación de la influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la concentración de sedimentos suspendidos medidos.

FIGURA N° 4.31: *Flujograma para verificación de la influencia del régimen de lluvia sobre la SSC*



Nota: Elaboración propia.

4.9 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Uno de los aspectos más importantes de cualquier investigación, son las consideraciones éticas. En el caso de ésta investigación, es importante destacar que se basó en parte del proyecto "Evaluación científica de la forma y el caudal de los ríos: información de referencia para las directrices de infraestructura en la Amazonía peruana (Grant GBMF7711)" que fue financiado por la Fundación Gordon and Betty Moore y ejecutado por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UPEC), lo cual garantiza su calidad y rigor científico, así como su compromiso con los más altos estándares éticos.

En el desarrollo de la investigación, se tomaron medidas para garantizar la protección y el bienestar de los ríos y sedimentos analizados, los cuales fueron recogidos de forma cuidadosa y sin causar daño al ecosistema. Además, se obtuvo una autorización explícita del CITA-UPEC para el uso de los datos puntuales (Anexo 01), lo que garantiza que no se violaron los derechos de propiedad intelectual de los mismos.

En cuanto al uso de referencias bibliográficas, se hizo un esfuerzo para reconocer y dar crédito a los autores cuya teoría y trabajo previo fueron utilizados en la investigación. Esto se hizo para garantizar la integridad académica de la investigación, así como para mostrar respeto y agradecimiento por el trabajo de los demás.

Además, en la realización de ésta investigación se siguieron pautas y normas éticas establecidas por el CITA-UPEC. Esto incluyó la utilización de herramientas y métodos que minimizaran el impacto en el medio ambiente y la garantía de la confidencialidad de los datos recopilados.

Por último, cabe mencionar que la investigación presentada es un esfuerzo del tesista, quien siguió los más altos estándares éticos de trabajo. Esto incluyó la evitación de cualquier forma de plagio, la presentación de resultados precisos y honestos, y la utilización de herramientas de análisis estadístico apropiadas para los datos recopilados.

En conclusión, la investigación presentada es un ejemplo de investigación rigurosa y ética, que sigue los más altos estándares de calidad en la recopilación, análisis y presentación de datos. El tesista siguió los principios éticos más estrictos para proteger la integridad académica de ésta investigación. Esto garantiza que los resultados presentados sean precisos y confiables. Y que ésta investigación sea un valioso aporte al conocimiento en el área estudiada.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 DISPONIBILIDAD DE DATOS

En ésta investigación, se utilizaron datos provenientes de cinco variables principales: morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología, régimen de lluvia y hidroacústica.

Los datos de morfología fluvial, hidrodinámica y sedimentología fueron obtenidos en el marco del proyecto "Evaluación científica de la forma y el caudal de los ríos: información de referencia para las directrices de infraestructura en la Amazonía peruana (Grant GBMF7711)", financiado por la Fundación Gordon and Betty Moore, del cual formé parte como investigador. La información sobre morfología fluvial se obtuvo a través del estudio morfológico realizado por el Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC) sobre los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas. Por su parte, los datos de hidrodinámica se recolectaron a través de secciones medidas con ADCP a lo largo de los mismos ríos, mientras que los datos de sedimentología se obtuvieron a partir de mediciones de SSC y tamaño de SS realizadas en campo a lo largo de las secciones de investigación, tanto en profundidad como a lo largo de la sección.

En cuanto a los datos del régimen de lluvia, se utilizaron las precipitaciones areales respecto a cada afluente de los ríos de investigación, generadas a partir de Producto Pisco (SENAMHI), utilizando el área de drenaje de cada cuenca de los afluentes principales mediante código R y Python.

Finalmente, los datos de hidroacústica corresponden a mediciones estáticas de backscatter y mediciones de ADCP utilizadas en la variable de hidrodinámica.

En resumen, todos los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron mediante técnicas de recolección de campo y análisis de datos remotos. Estos datos están disponibles para su consulta y uso por parte de la comunidad científica, previa solicitud y acuerdo con las instituciones responsables de su gestión. Cabe mencionar que la disponibilidad de los datos y su uso están sujetos a las políticas de acceso y propiedad intelectual de cada institución.

También se debe mencionar que se cuenta con la autorización de uso de datos por parte del Centro de Investigación y Tecnología (CITA-UTEC), lo cual se encuentra detallado en el Anexo 01 de esta investigación. Dicha autorización fue obtenida previamente al inicio de la investigación y es necesaria para garantizar la confidencialidad y el respeto a los derechos de propiedad intelectual de los datos utilizados en el investigación. La constancia de autorización se encuentra en dicho anexo y garantiza la legalidad del uso de los datos utilizados en este investigación.

5.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Para el tratamiento de los datos crudos, se realizó una limpieza exhaustiva de los mismos con el objetivo de eliminar datos atípicos y errores de medición. Los datos faltantes fueron imputados utilizando métodos estadísticos, como la imputación por media o la interpolación temporal o espacial.

Para la variable de morfología fluvial, a partir de los datos del estudio de morfología del CITA-UTEC se realizó un análisis estadístico exhaustivo para eliminar los valores atípicos y para así realizar el análisis estadístico para obtener los patrones de variación espacial y temporal

En cuanto a la hidrodinámica, se procesaron los datos de velocidad y descarga para calcular parámetros hidráulicos, como la profundidad media, la velocidad media, caudal, patrones de velocidades primarias y secundarias en las secciones de estudio. Se utilizó software especializado en hidráulica, como VMT y Winriver II, para procesar los datos de ADCP.

Para la sedimentología, a partir de los datos proporcionados por laboratorio, se aplicaron técnicas estadísticas para identificar patrones de variación espacial y temporal en la distribución de tamaño de partículas y SSC.

Para la variable de régimen de lluvia, se utilizaron datos de precipitación a escala diaria, que fueron procesados utilizando software de análisis de datos climáticos, como R y Python. Se aplicaron técnicas de interpolación espacial para estimar las precipitaciones en las cuencas de los afluentes principales.

Finalmente, para la variable de hidroacústica, se procesaron los datos de backscatter para obtener información sobre la distribución espacial de sedimentos en los ríos. Se utilizaron técnicas de análisis estadísticos para identificar patrones de variación espacial en la distribución de sedimentos.

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante técnicas estadísticas que permitieron analizar los datos recopilados para el estudio. Se dividen en las siguientes subsecciones:

5.3.1 Resumen de datos crudos usados

En esta subsección se presenta un resumen de los datos crudos utilizados en el estudio, con el fin de proporcionar una visión general de la distribución de las principales variables investigadas. Se detallará el número de observaciones recolectadas para cada variable.

5.3.1.1 Morfología fluvial

Para el análisis de ésta variable la métrica que se usará es la sinuosidad, debido a que ésta métrica es común tanto para canales meándricos (Huallaga y Ucayali) y multicanal (Amazonas y Marañón). Además, se utiliza esta métrica porque está directamente relacionada con otras variables comunes entre los dos principales tipos de ríos presentes en la Amazonía peruana.

Las tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 nos presentan el resumen de la cantidad de datos crudos de la métrica de sinuosidad por cada río de estudio.

TABLA N° 5.1: *Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Ucayali*

Descripción	Ubicación respecto al eje longitudinal del valle (km)	Sinuosidad	Año
Número de observaciones	3084.00	3084.00	3084.00
Valor promedio de las observaciones	483.31	1.63	2002.46
Desviación estándar de las observaciones	256.97	0.67	9.20
Valor mínimo en el conjunto de datos	10.00	1.00	1989.00
25 %	240.00	1.17	1993.00
50 %	570.00	1.41	2001.00
75 %	710.00	1.85	2009.00
Valor máximo en el conjunto de datos	870.00	7.00	2017.00

Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

TABLA N° 5.2: Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Huallaga

Descripción	Ubicación respecto al eje longitudinal del valle (km)	Sinuosidad	Año
Número de observaciones	3667.00	3667.00	3667.00
Valor promedio de las observaciones	459.71	1.34	2002.64
Desviación estándar de las observaciones	189.04	0.49	9.11
Valor mínimo en el conjunto de datos	180.00	1.00	1989.00
25%	300.00	1.06	1993.00
50%	430.00	1.15	2001.00
75%	620.00	1.38	2009.00
Valor máximo en el conjunto de datos	860.00	6.45	2017.00

Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECH). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTECH en el Anexo 01

TABLA N° 5.3: Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Marañón

Descripción	Ubicación respecto al eje longitudinal del valle (km)	Sinuosidad	Año
Número de observaciones	9422.00	9422.00	9422.00
Valor promedio de las observaciones	629.50	1.13	2001.66
Desviación estándar de las observaciones	340.61	0.20	10.20
Valor mínimo en el conjunto de datos	140.00	1.00	1987.00
25%	340.00	1.02	1993.00
50%	580.00	1.06	1999.00
75%	890.00	1.16	2011.00
Valor máximo en el conjunto de datos	1400.00	4.53	2017.00

Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECH). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTECH en el Anexo 01

TABLA N° 5.4: *Resumen de datos crudos de sinuosidad - Río Amazonas*

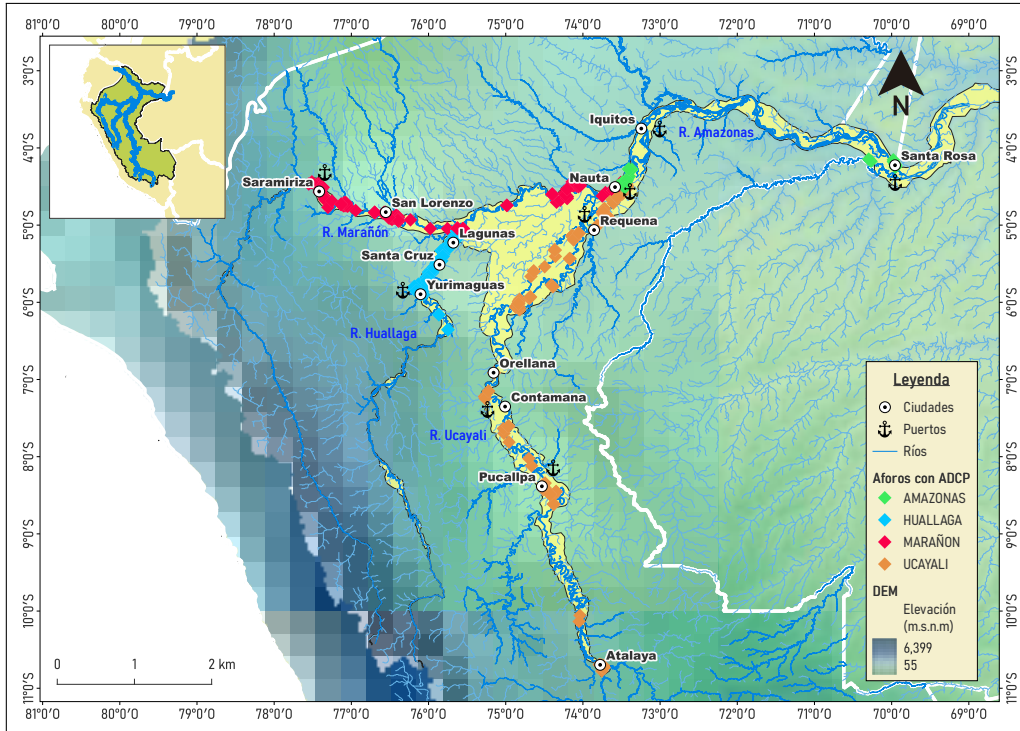
Descripción	Ubicación respecto al eje longitudinal del valle (km)	Sinuosidad	Año
Número de observaciones	1954.00	1954.00	1954.00
Valor promedio de las observaciones	260.36	1.14	2001.83
Desviación estándar de las observaciones	155.37	0.19	10.19
Valor mínimo en el conjunto de datos	10.00	1.00	1987.00
25%	120.00	1.02	1993.00
50%	250.00	1.06	1999.00
75%	390.00	1.17	2011.00
Valor máximo en el conjunto de datos	540.00	2.66	2017.00

Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.3.1.2 Hidrodinámica

La figura 5.1 nos presenta la disponibilidad de datos de mediciones de ADCP usados.

FIGURA N° 5.1: Mapa de localización de aforos de ADCP



Nota: Elaboración propia.

Las tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 nos presentan el resumen de la disponibilidad de datos crudos de mediciones de ADCP que se tienen.

TABLA N° 5.5: Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Ucayali

Descripción	Año	Meses	Caudal (m ³ /s)	Ancho (m)	Área (m ²)	h_{prom} (m)	h_{max} (m)	V_{max} (m/s)	V_{min} (m/s)	V_{prom} (m/s)
Número de observaciones	186.00	186.00	186.00	186.00	186.00	183.00	186.00	186.00	186.0	186.00
Valor promedio de las observaciones	2018.75	5.83	10877.07	717.66	6991.83	9.67	17.10	3.43	0.1	1.42
Desviación estándar de las observaciones	0.70	4.54	7019.58	254.05	3270.13	3.60	5.89	1.21	0.0	0.53
Valor mínimo en el conjunto de datos	2017.00	1.00	322.85	189.70	533.20	1.66	3.22	1.17	0.1	0.12
25 %	2019.00	2.00	4025.92	510.00	3685.40	7.16	13.10	2.72	0.1	1.00
50 %	2019.00	2.00	9875.00	737.05	7241.20	9.71	17.50	3.37	0.1	1.48
75 %	2019.00	11.00	17275.00	879.48	9753.92	12.16	20.70	3.93	0.1	1.81
Valor máximo en el conjunto de datos	2020.00	12.00	21500.00	1758.50	13729.50	20.64	34.20	9.74	0.1	2.23

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de ADCP realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEA). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEA en el Anexo 01

TABLA N° 5.6: *Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Huallaga*

Descripción	Año	Meses	Caudal (m ³ /s)	Ancho (m)	Área (m ²)	h_{prom} (m)	h_{max} (m)	V_{max} (m/s)	V_{min} (m/s)	V_{prom} (m/s)
Número de observaciones	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	166.00	192.00	192.00	192.0	192.00
Valor promedio de las observaciones	2019.04	5.64	2705.66	409.45	2483.90	5.83	10.94	2.22	0.1	1.03
Desviación estándar de las observaciones	0.58	2.93	1624.03	128.91	1132.92	2.29	4.12	0.52	0.0	0.28
Valor mínimo en el conjunto de datos	2017.00	2.00	94.41	89.80	375.49	1.51	2.33	1.03	0.1	0.05
25 %	2019.00	2.00	1135.01	329.38	1431.10	4.01	7.79	1.87	0.1	0.86
50 %	2019.00	5.00	2790.00	389.00	2755.30	5.75	11.00	2.17	0.1	1.03
75 %	2019.00	9.00	3933.84	478.59	3382.20	7.30	13.28	2.50	0.1	1.22
Valor máximo en el conjunto de datos	2020.00	11.00	6113.30	1087.14	5424.63	15.30	21.60	3.99	0.1	1.84

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de ADCP realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

TABLA N° 5.7: *Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Marañón*

Descripción	Año	Meses	Caudal (m ³ /s)	Ancho (m)	Área (m ²)	h_{prom} (m)	h_{max} (m)	V_{max} (m/s)	V_{min} (m/s)	V_{prom} (m/s)
Número de observaciones	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	147.00	153.00	154.00	154.0	154.00
Valor promedio de las observaciones	2018.86	4.66	9168.85	737.95	6698.71	8.35	14.85	3.01	0.1	1.37
Desviación estándar de las observaciones	0.58	2.13	6003.76	301.92	4421.56	3.52	5.92	0.76	0.0	0.31
Valor mínimo en el conjunto de datos	2017.00	1.00	221.00	145.10	292.10	1.57	2.47	1.28	0.1	0.53
25 %	2019.00	3.50	4380.00	471.78	3148.92	5.26	10.10	2.53	0.1	1.17
50 %	2019.00	5.00	7300.00	757.00	6059.88	8.37	15.00	3.06	0.1	1.36
75 %	2019.00	5.00	13500.00	1023.55	9263.90	10.95	18.40	3.42	0.1	1.61
Valor máximo en el conjunto de datos	2020.00	10.00	22800.00	1405.40	18365.30	17.30	32.10	6.68	0.1	2.13

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de ADCP realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

TABLA N° 5.8: *Resumen de datos de mediciones de ADCP - Río Amazonas*

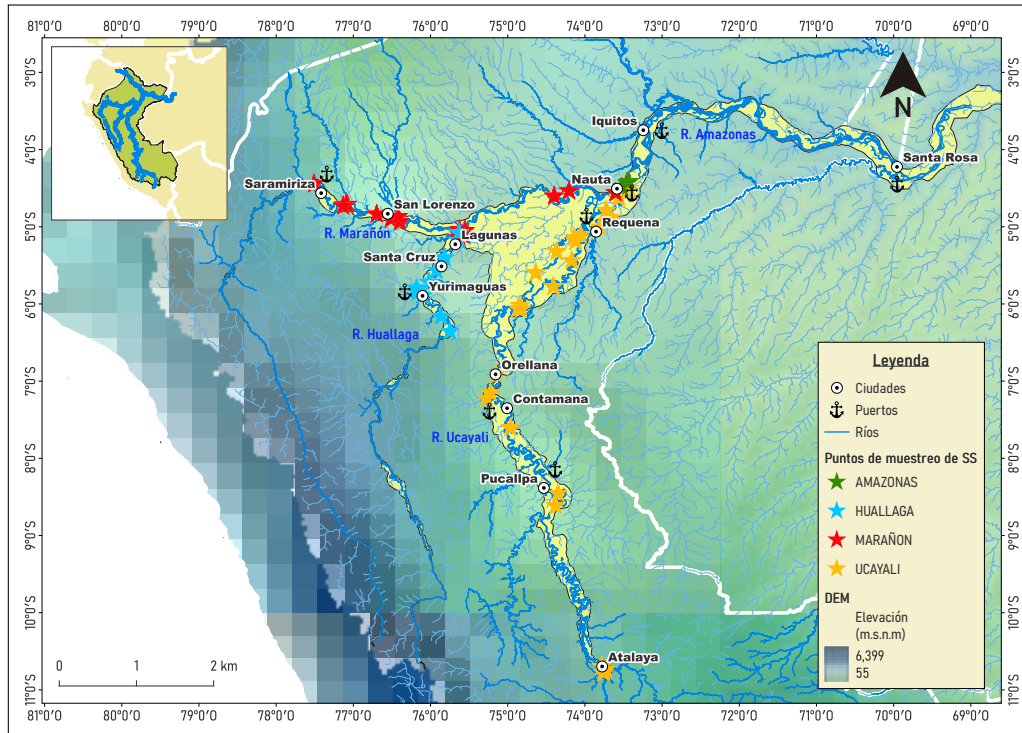
Descripción	Año	Meses	Caudal (m^3/s)	Ancho (m)	Área (m^2)	h_{prom} (m)	h_{max} (m)	V_{max} (m/s)	V_{min} (m/s)	V_{prom} (m/s)
Número de observaciones	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	12.00	15.00	15.00	15.0	15.00
Valor promedio de las observaciones	2018.53	4.13	23909.93	1304.86	17613.60	13.83	25.15	3.01	0.1	1.35
Desviación estándar de las observaciones	1.19	4.31	11038.83	438.18	6562.29	2.59	8.02	0.58	0.0	0.29
Valor mínimo en el conjunto de datos	2017.00	1.00	4115.75	366.02	2981.70	10.00	14.80	2.00	0.1	0.92
25%	2017.00	1.00	17300.00	1190.50	16661.50	12.00	18.00	3.00	0.1	1.12
50%	2019.00	1.00	30800.00	1356.00	19003.60	13.50	24.00	3.00	0.1	1.38
75%	2019.00	10.00	31600.00	1570.50	21485.50	16.00	31.50	3.00	0.1	1.50
Valor máximo en el conjunto de datos	2020.00	10.00	38817.38	1822.00	24265.00	18.00	38.00	4.00	0.1	2.04

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de ADCP realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.3.1.3 Sedimentología

La figura 5.2 nos presenta la disponibilidad de datos de mediciones de sedimentos suspendidos usados.

FIGURA N° 5.2: *Mapa de localización de medición de sedimentos suspendidos*



Nota: Elaboración propia.

La tabla 5.9 nos proporciona el resumen de datos de concentración de sedimentos suspendidos medidos en los ríos Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas.

TABLA N° 5.9: *Resumen de datos de concentración de sedimentos suspensivos*

Descripción	Concentración No Cohesivos (mg/L)	Concentración Cohesivos (mg/L)
Número de observaciones	1931.00	1931.00
Valor promedio de las observaciones	323.04	486.84
Desviación estándar de las observaciones	437.43	279.22
Valor mínimo en el conjunto de datos	-0.23	-306.53
25%	51.02	299.13
50%	165.24	426.32
75%	430.60	610.29
Valor máximo en el conjunto de datos	7660.25	2490.59

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La tabla 5.10 nos proporciona el resumen de datos de diámetros característicos de

sedimentos suspendidos no cohesivos de mediciones en los ríos Ucayali, Huallaga y Marañón.

TABLA N° 5.10: *Resumen de datos de diámetros característicos de sedimentos suspendidos No Cohesivos*

Descripción	D05 µm	D10 µm	D30 µm	D50 µm	D60 µm	D75 µm	D85 µm	D90 µm	D95 µm
Número de observaciones	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00	1368.00
Valor promedio de las observaciones	43.43	63.16	106.49	146.94	172.50	223.12	246.77	317.56	376.04
Desviación estándar de las observaciones	29.60	33.71	49.10	67.11	78.06	94.91	100.36	107.54	100.77
Valor mínimo en el conjunto de datos	1.25	1.88	4.97	8.81	11.43	17.77	21.68	39.16	62.71
25 %	18.42	41.57	81.09	106.54	122.16	157.34	173.79	236.60	320.99
50 %	41.05	65.00	100.36	134.30	157.52	207.25	232.08	328.07	415.53
75 %	63.24	81.30	127.35	177.69	211.86	288.82	323.05	409.88	460.87
Valor máximo en el conjunto de datos	186.13	224.08	333.29	443.77	462.64	465.84	466.77	468.47	469.26

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La tabla 5.11 nos proporciona el resumen de datos de diámetros característicos de sedimentos suspendidos no cohesivos de mediciones en los ríos Ucayali, Huallaga y Marañón.

TABLA N° 5.11: *Resumen de datos de diámetros característicos de sedimentos suspendidos Cohesivos*

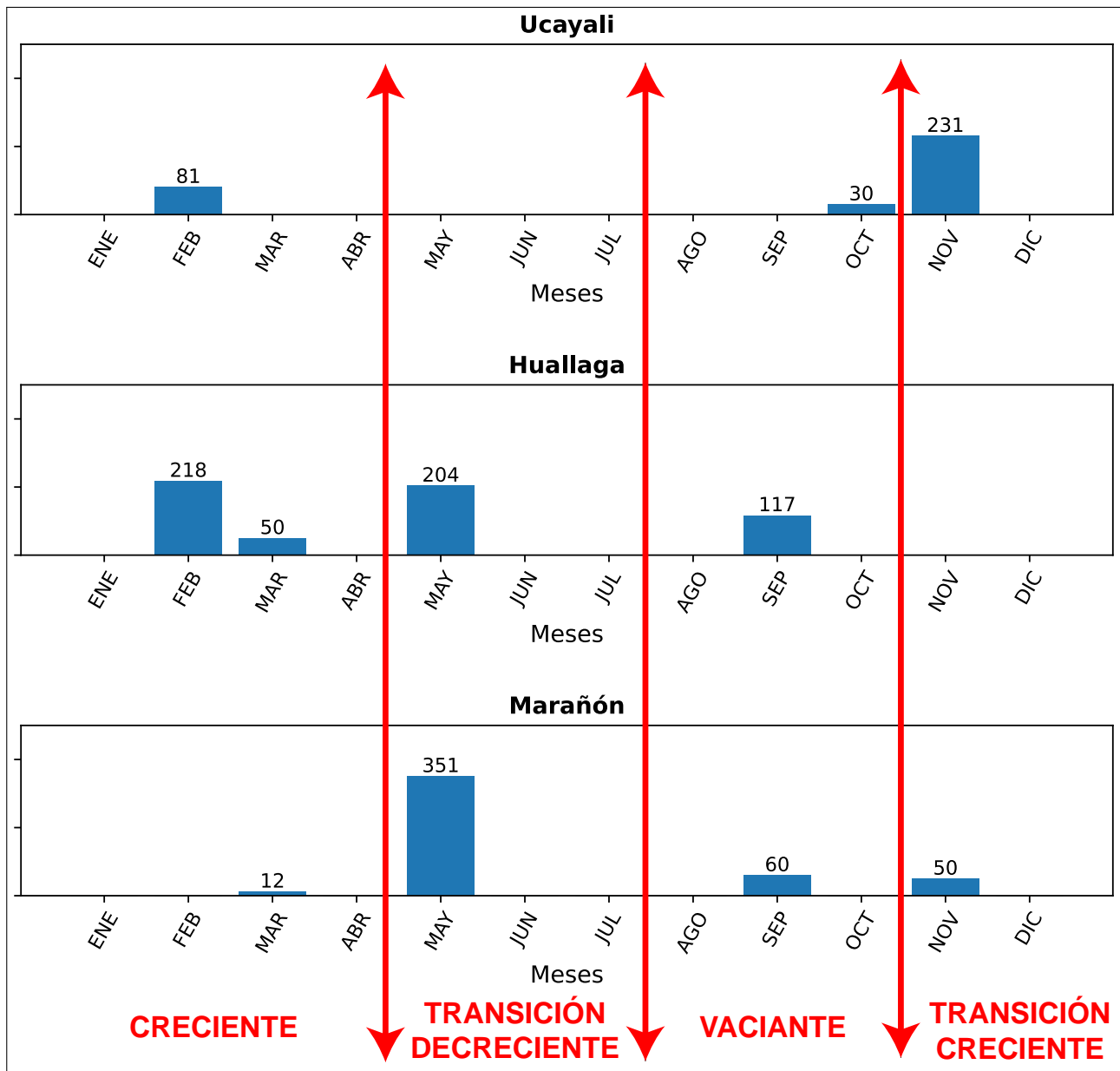
Descripción	D05 µm	D10 µm	D30 µm	D50 µm	D60 µm	D75 µm	D85 µm	D90 µm	D95 µm
Número de observaciones	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00	1504.00
Valor promedio de las observaciones	2.64	3.97	10.12	19.42	27.24	48.56	61.83	113.47	173.19
Desviación estándar de las observaciones	9.62	12.20	18.75	27.55	35.77	56.79	69.05	106.23	135.17
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.70	1.15	2.31	4.79	6.46	10.34	12.39	16.55	19.93
25 %	1.34	2.05	6.08	11.64	15.62	25.31	30.46	49.14	71.72
50 %	1.59	2.53	7.73	15.20	20.73	34.72	42.20	69.57	106.78
75 %	1.81	3.03	9.62	18.87	26.42	45.40	56.42	118.69	262.25
Valor máximo en el conjunto de datos	138.25	176.46	274.46	350.78	385.35	439.67	457.02	465.12	467.62

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Para obtener un mejor visión de la cantidad de datos usados de concentración de sedimentos suspendidos, diámetros característicos de sedimentos suspendidos cohesivos y diámetros característicos de sedimentos suspendidos no cohesivos se presentan la cantidad de datos por puntos medidos respecto a las meses de la medición.

La figura 5.3 muestra el número de muestras de sedimentos suspendidos cohesivos de las cuales se obtuvieron sus diámetros característicos. Estos datos se presentan considerando el total de puntos de muestreo, teniendo en cuenta los ejes, las profundidades, la espacialidad de las secciones y el régimen fluvial.

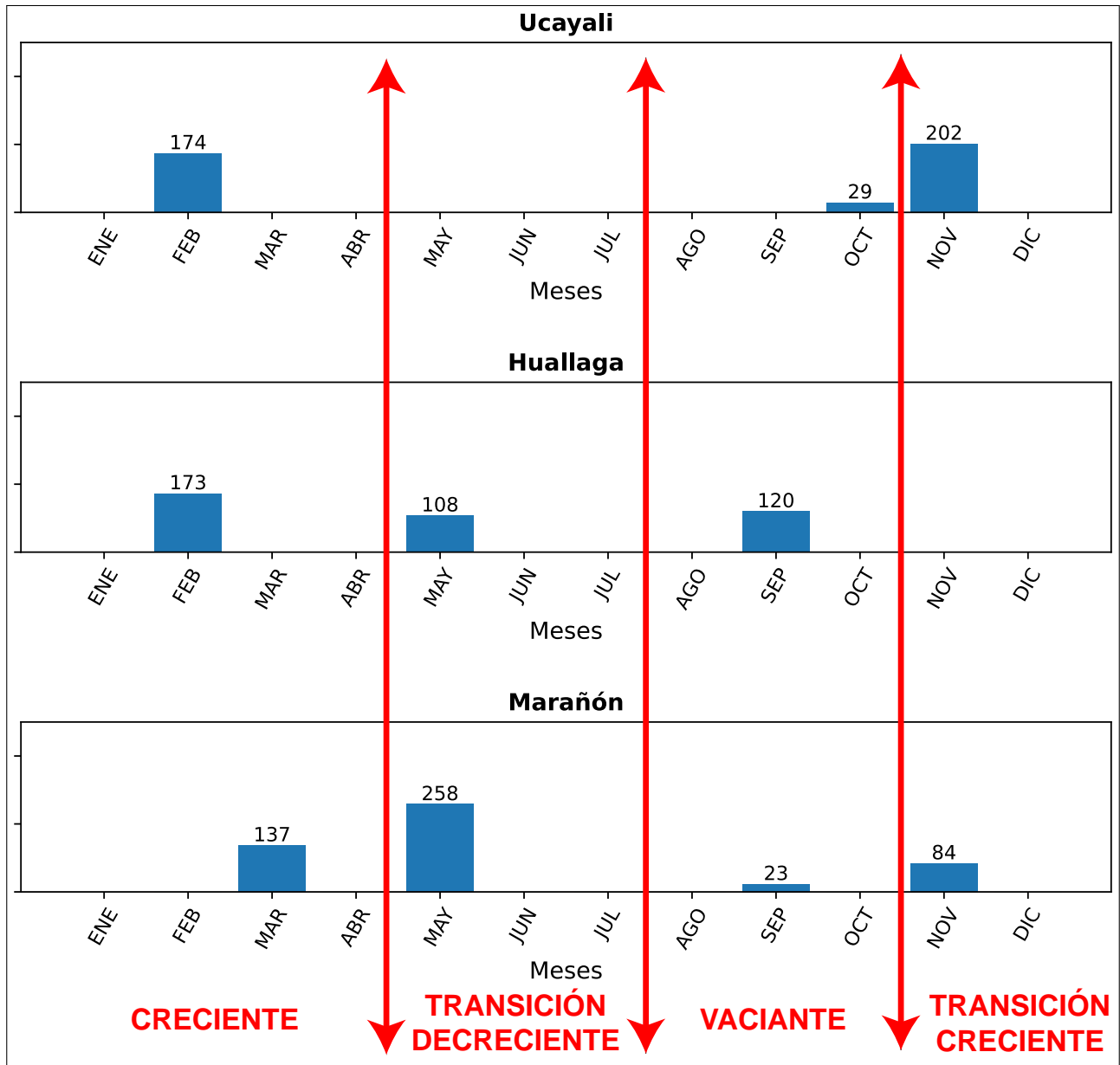
FIGURA N° 5.3: *Número de muestras de sedimentos suspendidos cohesivos de los cuales se obtuvo sus diámetros característicos*



Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTECH). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTECH en el Anexo 01

La figura 5.4 presenta el número de muestras de sedimentos suspendidos no cohesivos de los cuales se obtuvieron sus diámetros característicos. Estos datos se presentan considerando el total de puntos de muestreo, teniendo en cuenta los ejes, las profundidades y la espacialidad de las secciones.

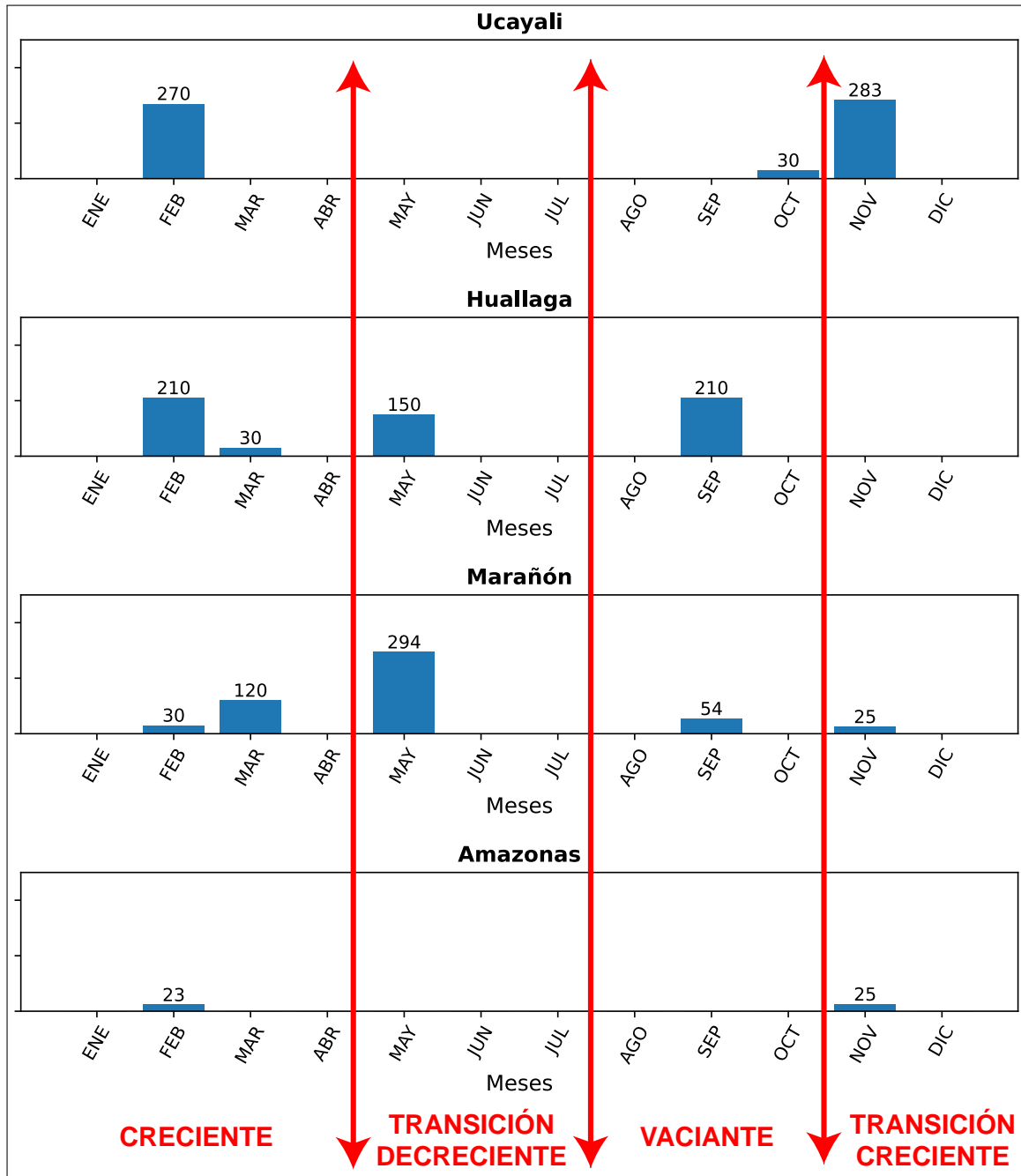
FIGURA N° 5.4: Número de muestras de sedimentos suspendidos no cohesivos de los cuales se obtuvo sus diámetros característicos



Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.5 presenta el número de muestras de sedimentos suspendidos de los cuales se obtuvieron sus concentraciones. Estos datos se presentan considerando el total de puntos de muestreo, teniendo en cuenta los ejes, las profundidades y la espacialidad de las secciones.

FIGURA N° 5.5: Número de muestras de sedimentos suspendidos de los cuales se obtuvo su CC

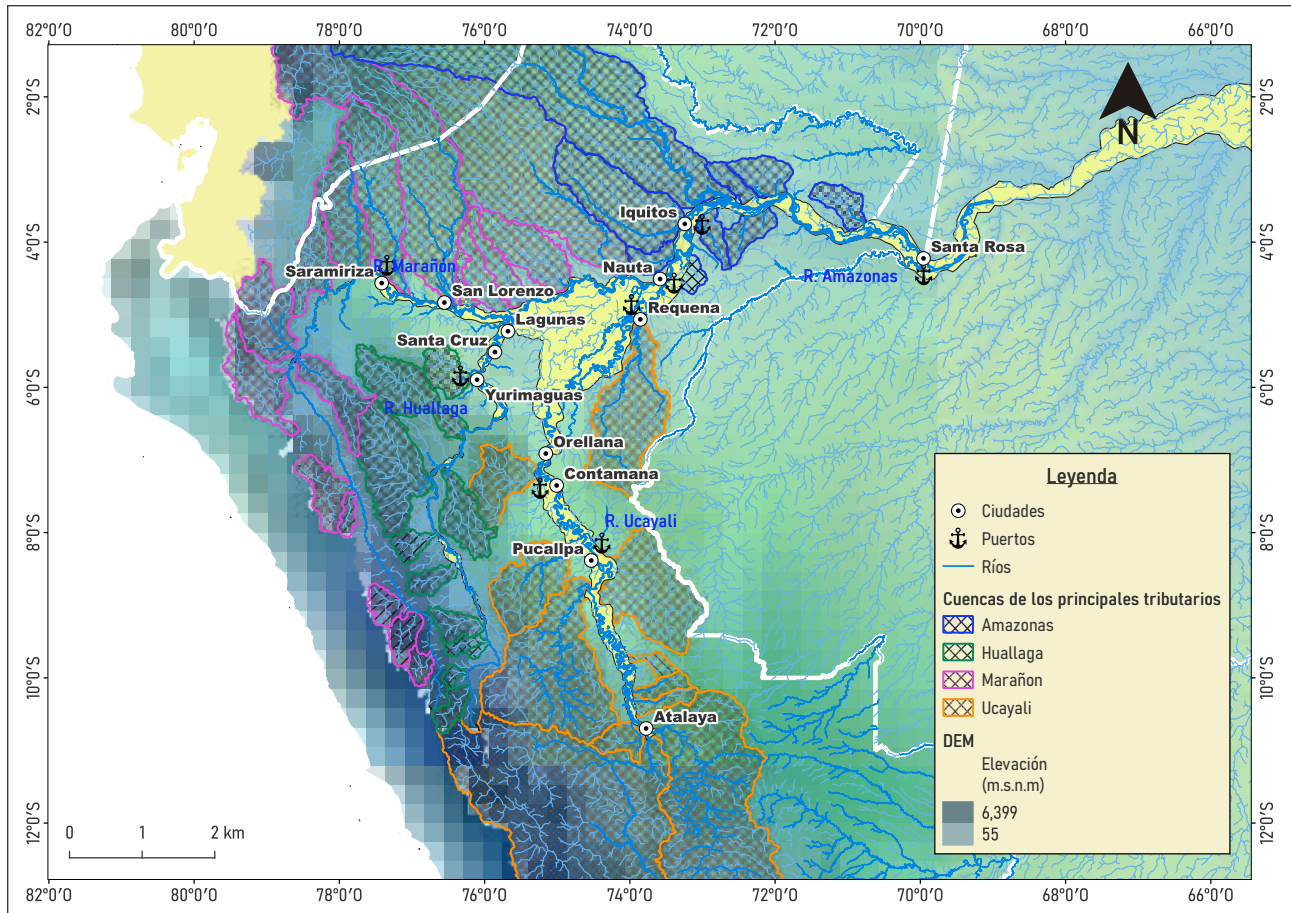


Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.3.1.4 Régimen de lluvia

La figura 5.6 nos presenta las cuencas de drenaje de los principales afluentes de los ríos de estudio (Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas).

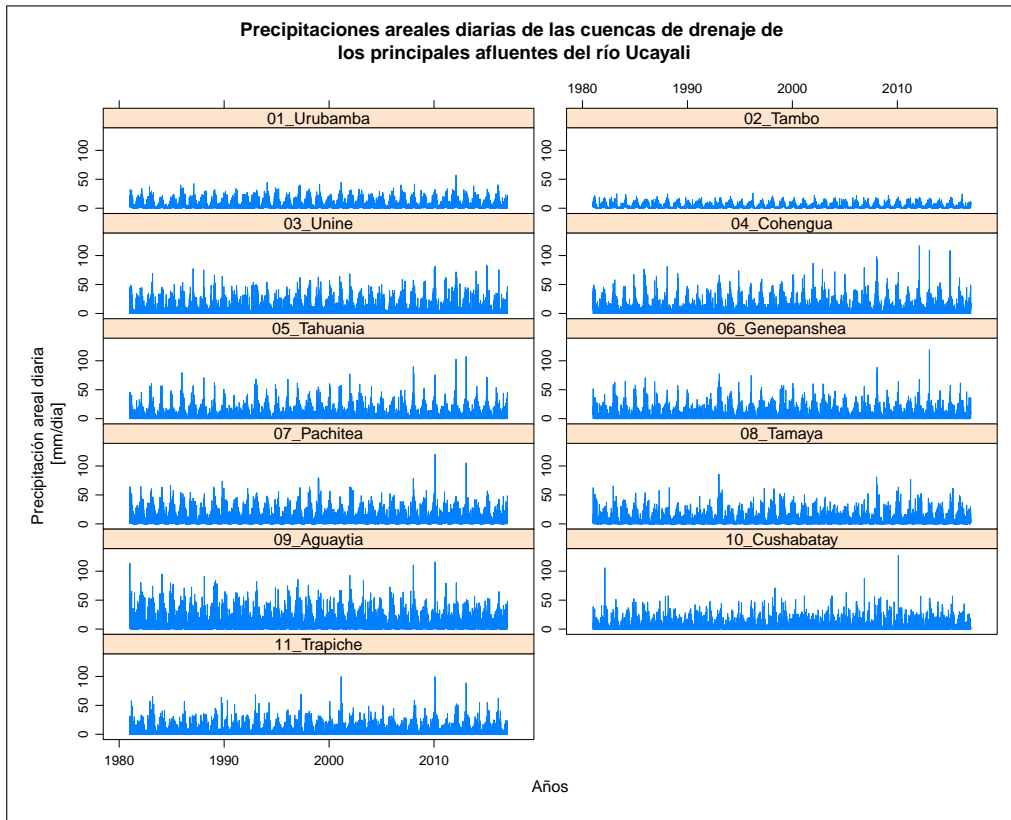
FIGURA N° 5.6: Áreas de drenaje de los principales afluentes de los ríos de estudio



Nota: Elaboración propia.

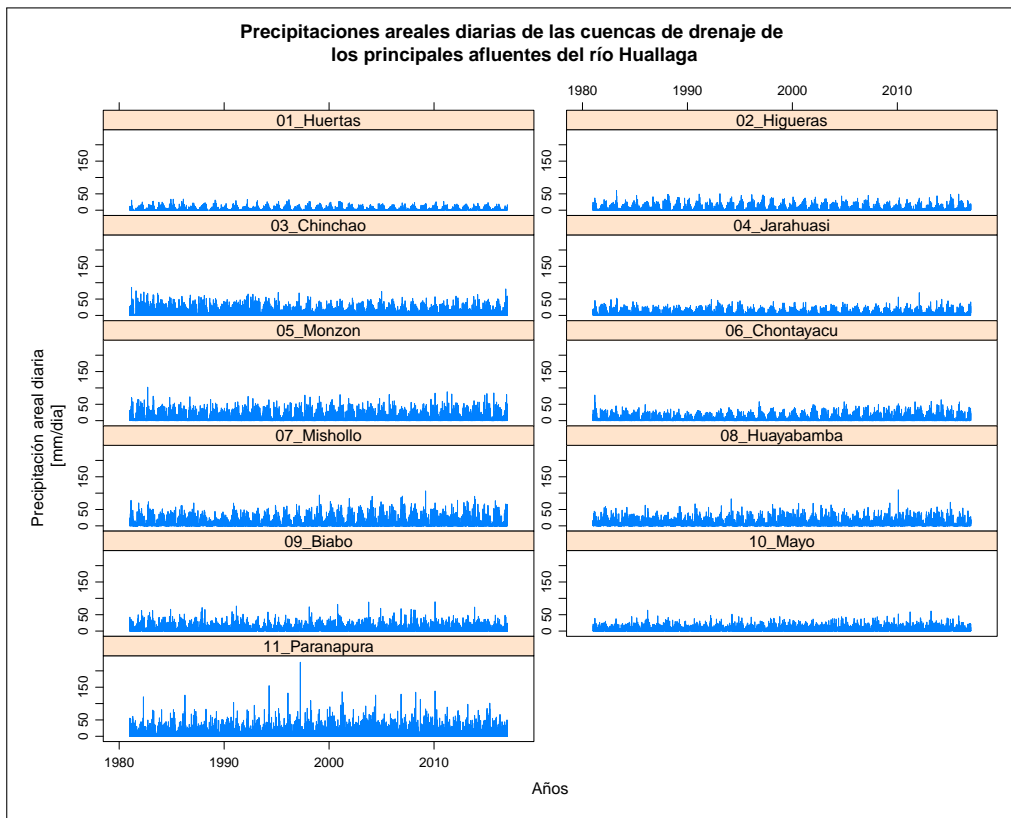
Las figuras 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10 nos presentan los regímenes de lluvia de los principales afluentes de los ríos Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas. Estas precipitaciones diarias fueron obtenidas a partir del producto grillado PISCO del SENANMHI.

FIGURA N° 5.7: Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Ucayali



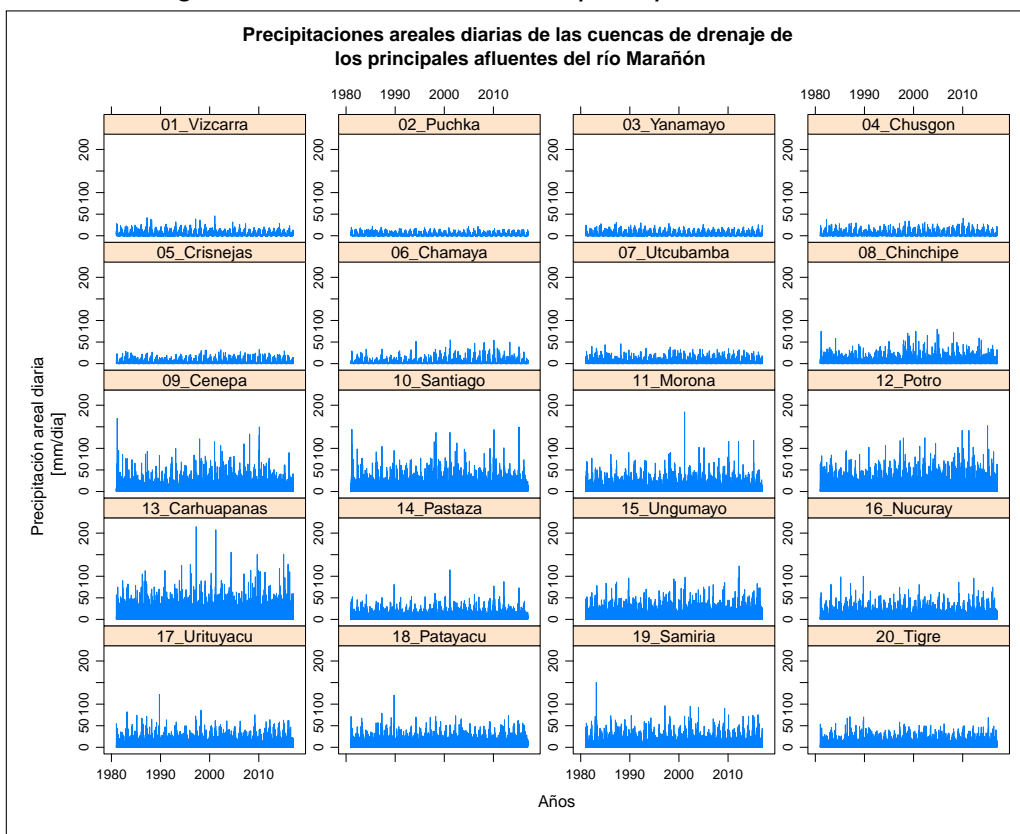
Nota: Elaboración propia.

FIGURA N° 5.8: Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Huallaga



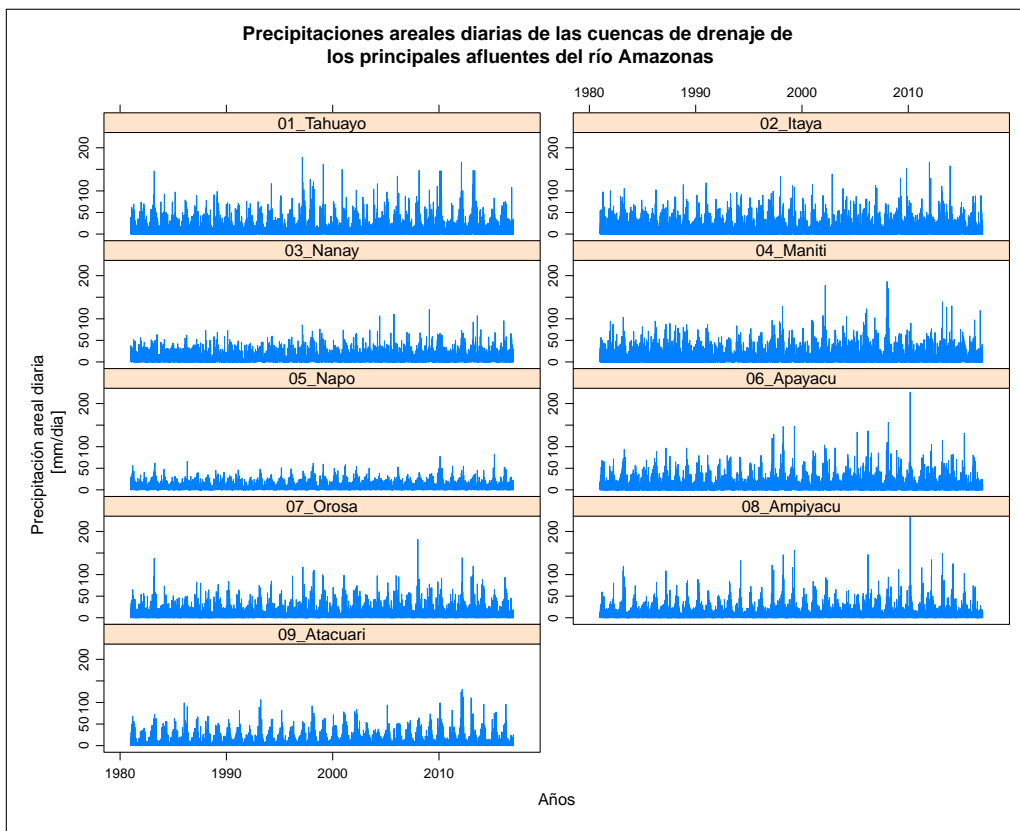
Nota: Elaboración propia.

FIGURA N° 5.9: Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Marañón



Nota: Elaboración propia.

FIGURA N° 5.10: Régimen de lluvia diaria de los principales afluentes del río Amazonas



Nota: Elaboración propia.

A continuación las tablas 5.12, 5.13, 5.14 y 5.15 nos presentan el resumen de la disponibilidad de datos crudos de precipitación diaria areal de los principales afluentes de los ríos de estudio.

TABLA N° 5.12: *Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Ucayali*

Descripción	01.- Uru-bamba	02.- Tambo	03.- Unine	04.- Cohengua	05.- Tahuania	06.- Gene-panshea	07.- Pachitea	08.- Tamaya	09.- Aguaytia	10.- Cushabatay	11.- Trapi-che
Número de observaciones	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149
Valor promedio de las observaciones	4.46	2.83	5.03	5.04	4.51	4.38	6.99	4.65	7.40	3.90	5.09
Desviación estándar de las observaciones	5.80	3.45	8.42	8.75	7.82	7.61	9.28	7.06	10.86	6.67	7.10
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25%	0.29	0.24	0.11	0.10	0.09	0.09	0.51	0.18	0.41	0.16	0.35
50%	2.06	1.49	1.22	1.02	0.87	0.80	3.35	1.79	2.95	1.23	2.39
75%	6.58	4.25	6.42	6.55	5.95	5.78	9.93	6.42	9.92	4.73	7.08
Valor máximo en el conjunto de datos	57.32	26.27	83.72	116.90	107.35	118.91	120.38	85.71	116.07	127.02	99.75

Nota: Elaboración propia

TABLA N° 5.13: *Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Huallaga*

Descripción	01.- Huer-tas	02.- Hi-gueras	03.- Chin-chao	04.- Ja-rahua-si	05.- Mon-zon	06.- Chon-tayacu	07.- Misho-illo	08.- Huaya-bamba	09.- Biabo	10.- Mayo	11.- Para-napura
Número de observaciones	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149
Valor promedio de las observaciones	2.31	2.97	6.01	4.31	7.20	4.17	6.18	5.52	4.78	4.03	7.20
Desviación estándar de las observaciones	3.70	5.77	9.33	6.22	10.33	7.01	10.74	8.35	7.67	5.81	12.14
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25%	0.06	0.04	0.09	0.26	0.44	0.16	0.16	0.32	0.23	0.41	0.28
50%	0.66	0.28	1.53	1.60	2.56	0.92	0.91	1.85	1.62	1.82	2.35
75%	3.03	3.20	8.64	5.83	10.12	5.18	7.67	7.38	6.06	5.17	9.01
Valor máximo en el conjunto de datos	34.02	59.91	85.77	69.51	102.25	78.18	106.73	110.00	89.49	63.73	226.27

Nota: Elaboración propia

TABLA N° 5.14: Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Marañón

Descripción	01.- Vizcarra	02.- Puchka	03.- Yanamayo	04.- Chusgon	05.- Crisnejas	06.- Chayama	07.- Utcubamba	08.- Chinchi-pe	09.- Cenepe	10.- Santiago	11.- Morona	12.- Potro	13.- Carhuapinas	14.- Pasataza	15.- Ungu-mayo	16.- Huallaga	17.- Nucuray	18.- Urituyacu	19.- Pata-yacu	20.- Samiria	21.- Tigre
Número de observaciones	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149
Valor promedio de las observaciones	2.19	1.69	1.96	2.10	2.33	1.83	2.48	2.63	5.15	6.38	6.16	7.03	7.45	4.91	5.80	5.24	5.48	5.43	5.76	5.94	5.70
Desviación estándar de las observaciones	3.63	2.54	3.24	3.59	3.76	3.72	4.03	5.40	9.91	10.83	9.44	11.75	12.60	6.65	9.28	6.02	8.30	7.98	8.12	8.72	7.07
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25 %	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.05	0.14	0.09	0.10	0.16	0.27	0.24	0.23	0.54	0.16	0.95	0.26	0.26	0.36	0.36	0.78
50 %	0.49	0.57	0.43	0.53	0.63	0.46	0.86	0.56	0.96	1.83	2.52	1.90	2.16	2.59	2.01	3.17	2.24	2.42	2.82	2.55	3.39
75 %	2.91	2.28	2.52	2.56	3.04	1.84	3.03	2.66	6.06	8.31	8.24	8.98	9.58	6.66	7.67	7.36	7.30	7.45	7.85	8.13	7.94
Valor máximo en el conjunto de datos	45.96	21.91	30.44	40.49	32.52	54.87	45.97	79.92	169.48	149.56	184.39	152.30	214.91	114.96	123.86	77.65	100.01	122.11	121.01	150.39	70.97

Nota: Elaboración propia

TABLA N° 5.15: Resumen de datos de precipitaciones diarias areales de las cuencas de los principales afluentes - Río Amazonas

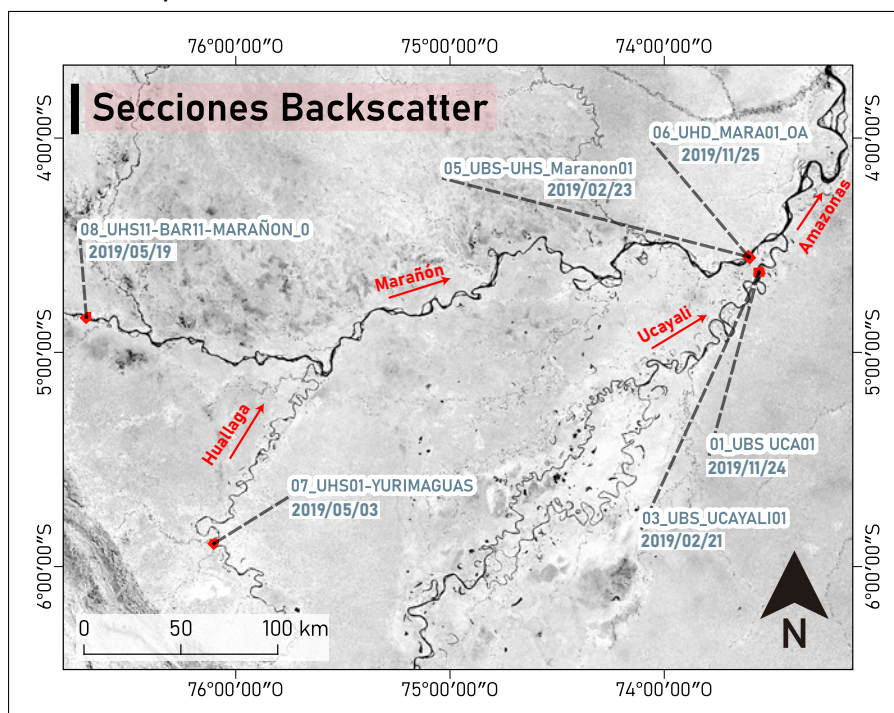
Descripción	01.- Mara-ñón	02.- Ucayali	03.- Taha-yo	04.- Ita-ya	05.- Na-nay	06.- Maniti	07.- Na-po	08.- Apaya-cu	09.- Orosa	10.- Ampiyacu	11.- Atacuari
Número de observaciones	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149	13149
Valor promedio de las observaciones	4.83	4.27	7.19	7.92	6.80	7.30	5.68	6.76	6.27	6.57	6.60
Desviación estándar de las observaciones	4.93	4.41	12.80	13.11	9.36	12.29	6.88	11.67	10.55	11.15	10.08
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25 %	1.24	0.79	0.20	0.27	0.78	0.42	1.06	0.33	0.34	0.36	0.33
50 %	3.37	2.93	2.30	2.84	3.45	2.61	3.38	2.47	2.40	2.65	2.77
75 %	6.79	6.36	8.49	9.65	9.10	8.61	7.75	8.00	7.55	8.04	8.57
Valor máximo en el conjunto de datos	59.45	51.63	178.25	166.01	121.91	186.39	82.85	226.45	181.34	235.79	130.08

Nota: Elaboración propia

5.3.1.5 Hidroacústica

La figura 5.11 nos presenta el mapa de localización de las secciones donde se realizaron mediciones estáticas de retrodispersión acústica (backscatter) y muestreo de sedimentos suspendidos.

FIGURA N° 5.11: *Mapa de localización de las secciones de backscatter medidos*



Nota: Elaboración propia.

La tabla 5.16 nos proporciona el resumen de datos concentración de sedimentos suspendidos cohesivos y no cohesivos que se tiene en las secciones de backscatter.

TABLA N° 5.16: *Resumen de datos de concentración de sedimentos suspendidos medidos en las secciones donde se tienen mediciones de backscatter*

Descripción	Concentración NC (mg/L)	Concentración CC (mg/L)
Número de observaciones	139.00	139.00
Valor promedio de las observaciones	406.68	580.93
Desviación estándar de las observaciones	485.70	289.65
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.29	124.04
25%	54.98	366.66
50%	202.70	444.92
75%	572.71	830.03
Valor máximo en el conjunto de datos	2170.19	1252.92

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La tabla 5.17 nos proporciona el resumen de datos del diámetro característico D50 de sedimentos suspendidos no cohesivos que se tiene en las secciones de backscatter.

TABLA N° 5.17: *Resumen de datos de D50 de sedimentos suspendidos no cohesivos que se tienen en las secciones de backscatter medidos*

Descripción	D50 (mm) - No Cohesivos
Número de observaciones	173.00
Valor promedio de las observaciones	0.12
Desviación estándar de las observaciones	0.08
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.01
25 %	0.09
50 %	0.11
75 %	0.15
Valor máximo en el conjunto de datos	0.39

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La tabla 5.18 nos proporciona el resumen de datos del diámetro característico D50 de sedimentos suspendidos cohesivos que se tiene en las secciones de backscatter.

TABLA N° 5.18: *Resumen de datos de D50 de sedimentos suspendidos cohesivos que se tienen en las secciones de backscatter medidos*

Descripción	D50 (mm) - Cohesivos
Número de observaciones	183.00
Valor promedio de las observaciones	0.01
Desviación estándar de las observaciones	0.01
Valor mínimo en el conjunto de datos	0.01
25 %	0.01
50 %	0.01
75 %	0.02
Valor máximo en el conjunto de datos	0.06

Nota: Elaboración propia a partir de datos de mediciones de sedimentos realizadas por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

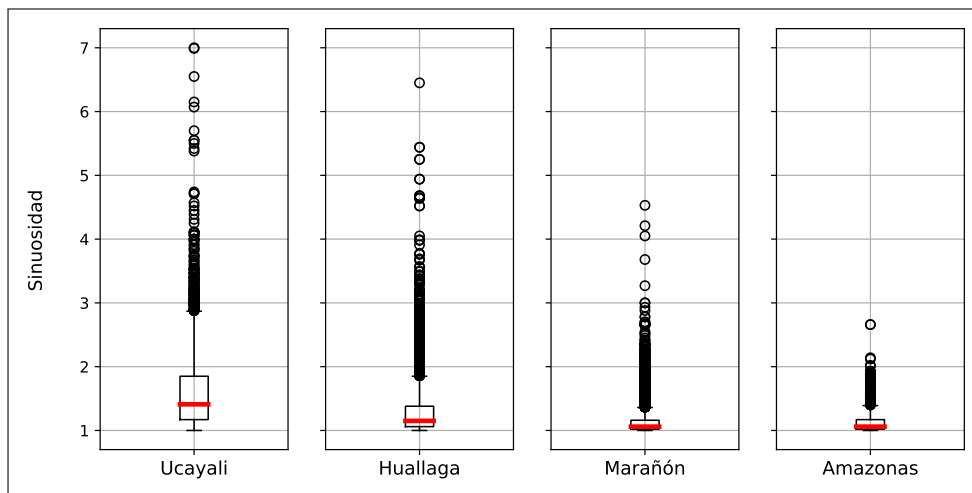
5.3.2 Tratamiento de datos atípicos

El tratamiento de datos atípicos es una parte esencial del análisis de datos y de la estadística. Los datos atípicos, también conocidos como valores atípicos o outliers, son observaciones que se encuentran significativamente alejadas de la mayoría de los demás datos. Pueden ser causados por errores en la medición, la entrada incorrecta de datos o simplemente por eventos raros o extremos.

Para identificar y tratar los datos atípicos, una de las herramientas más comunes es el boxplot, también conocido como diagrama de caja y bigotes. Este gráfico proporciona una representación visual de la distribución de los datos, mostrando la mediana, el rango intercuartil y los valores extremos. Los valores que se encuentran fuera del rango intercuartil son considerados atípicos y pueden ser eliminados o tratados de manera diferente a los datos restantes.

5.3.2.1 Morfología fluvial

FIGURA N° 5.12: *Valores atípicos de sinuosidad de los ríos de estudio*



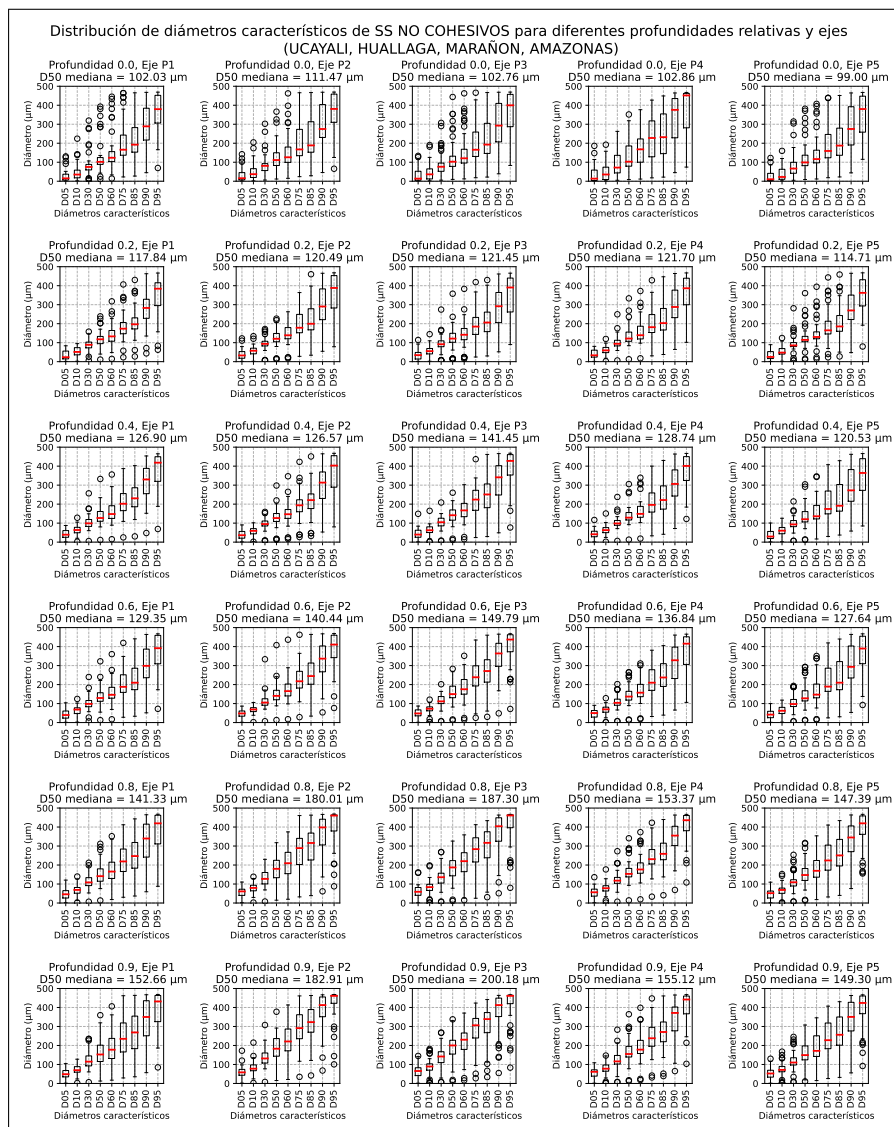
Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.3.2.2 Sedimentología

Dada la cantidad de datos, la visualización de la existencia de datos atípicos y su posterior filtración se presenta de la siguiente manera. Las figuras 5.13, 5.14 presentan los valores atípicos de la distribución de diámetros característicos cohesivos y no cohesivos de los ríos de estudio, respectivamente. Asimismo, las figuras 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 presentan la distribución de SSC no cohesivos filtrados para cada río de estudio. Además, las figuras 5.19, 5.20, 5.21 nos presentan la distribución de diámetros no cohesivos filtrado para cada río de estudio. Adicionalmente las figuras 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 presentan la distribución de diámetros cohesivos filtrados para cada río de estudio.

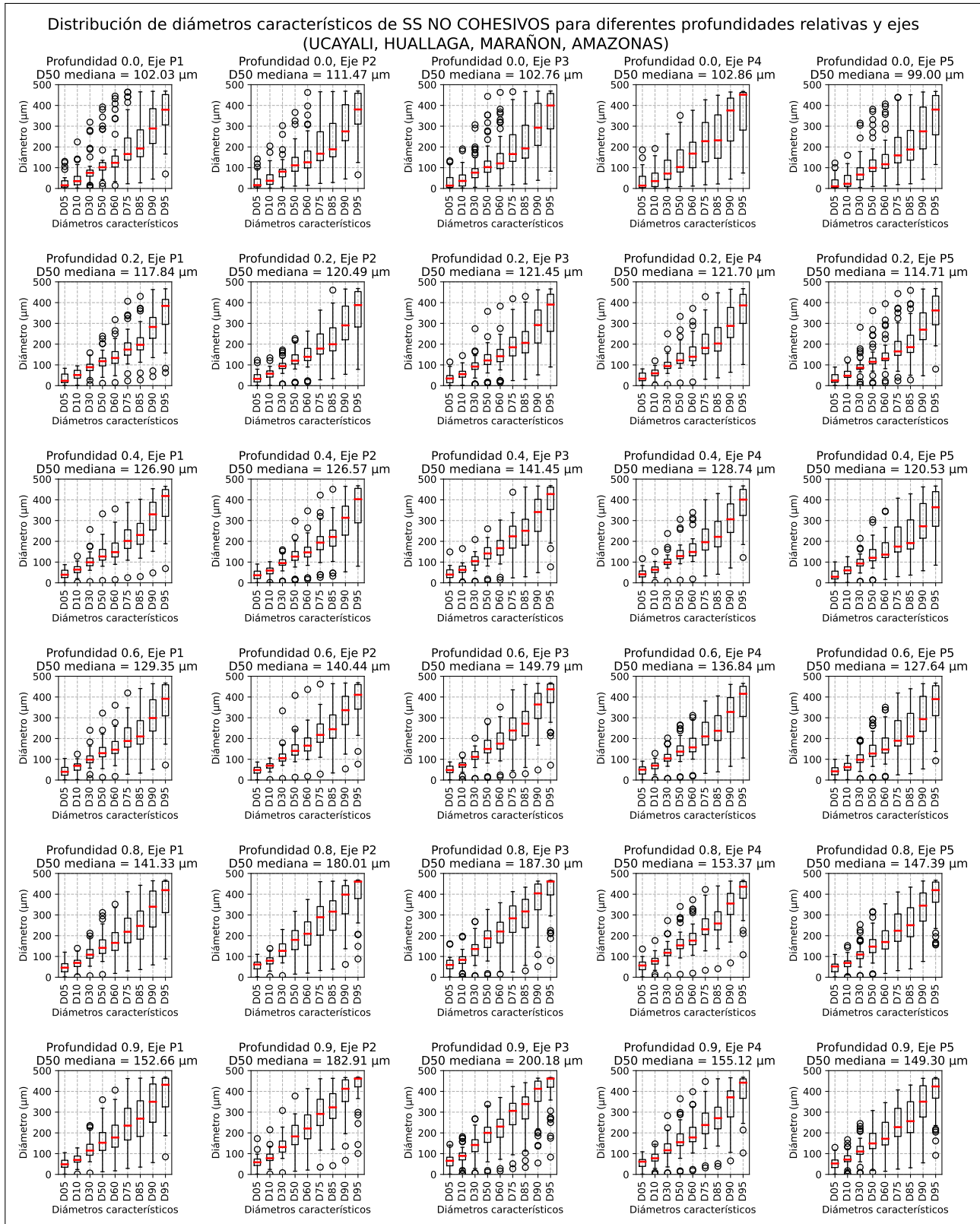
Más detalles sobre la distribución de diámetros y la concentración de sedimentos para cada río de estudio se presentan en el Anexo 08.

FIGURA N° 5.13: *Valores atípicos de los diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos de los ríos de estudio*



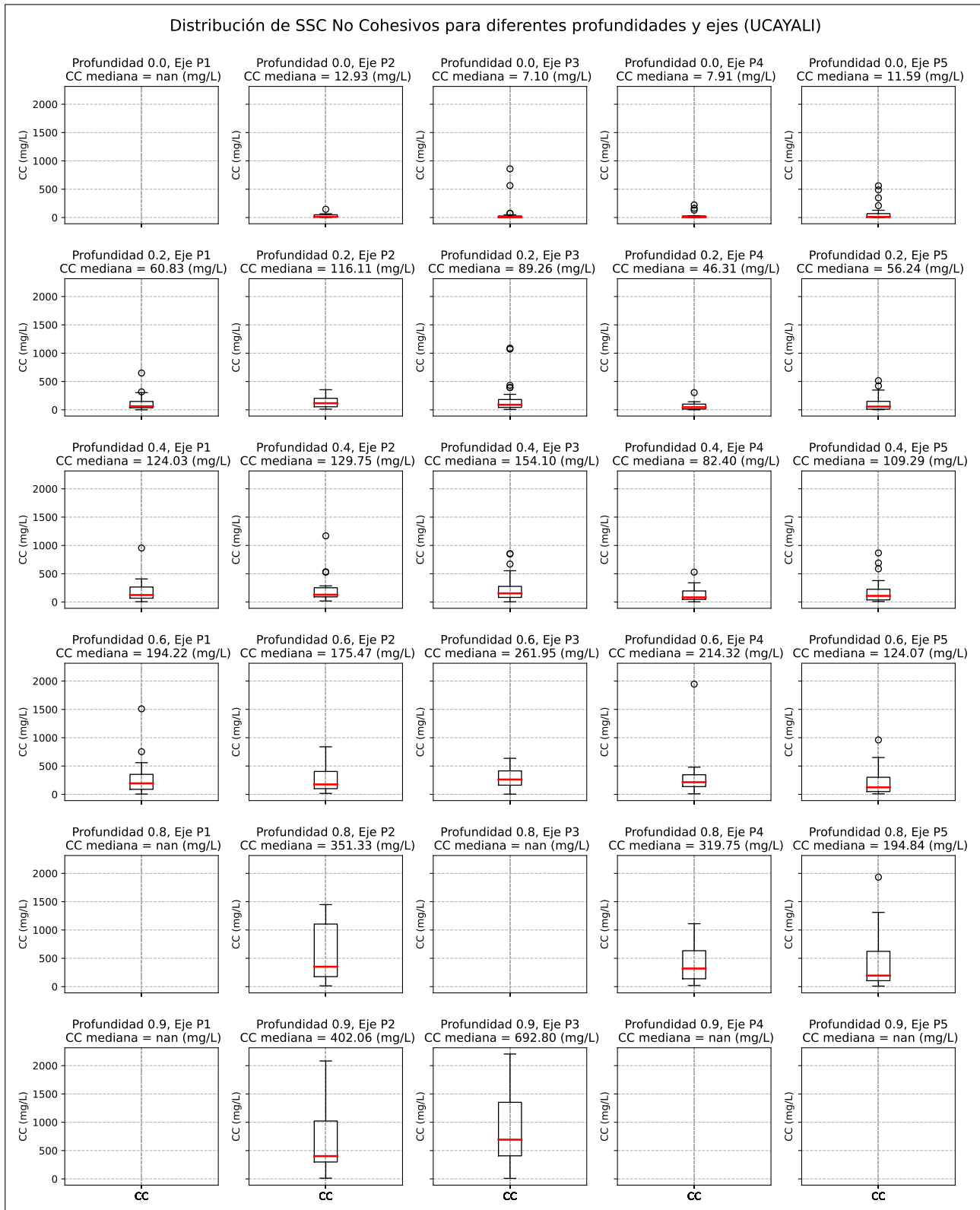
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.14: Valores atípicos de los diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos de los ríos de estudio



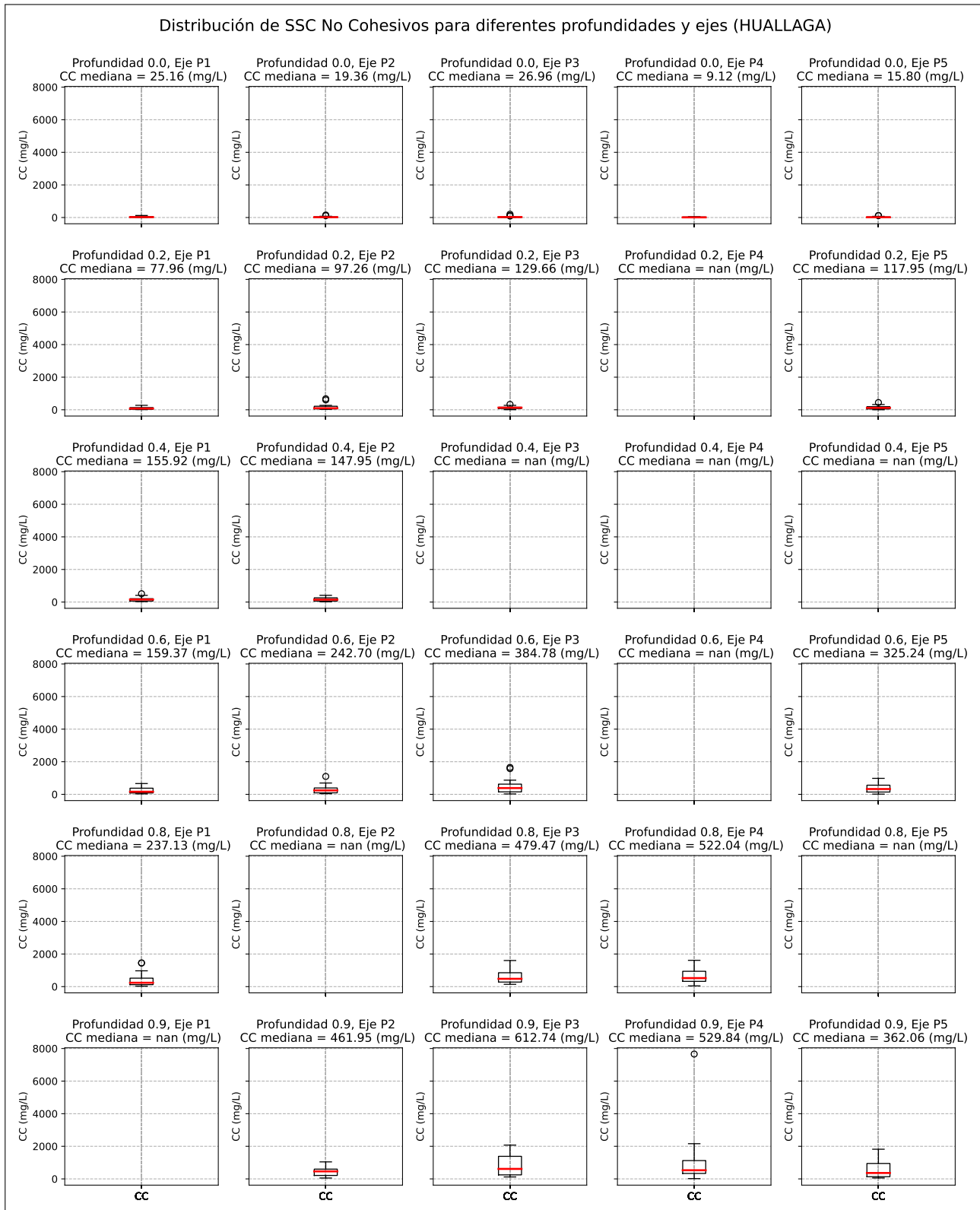
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.15: Valores atípicos de SSC no cohesivos, Ucayali



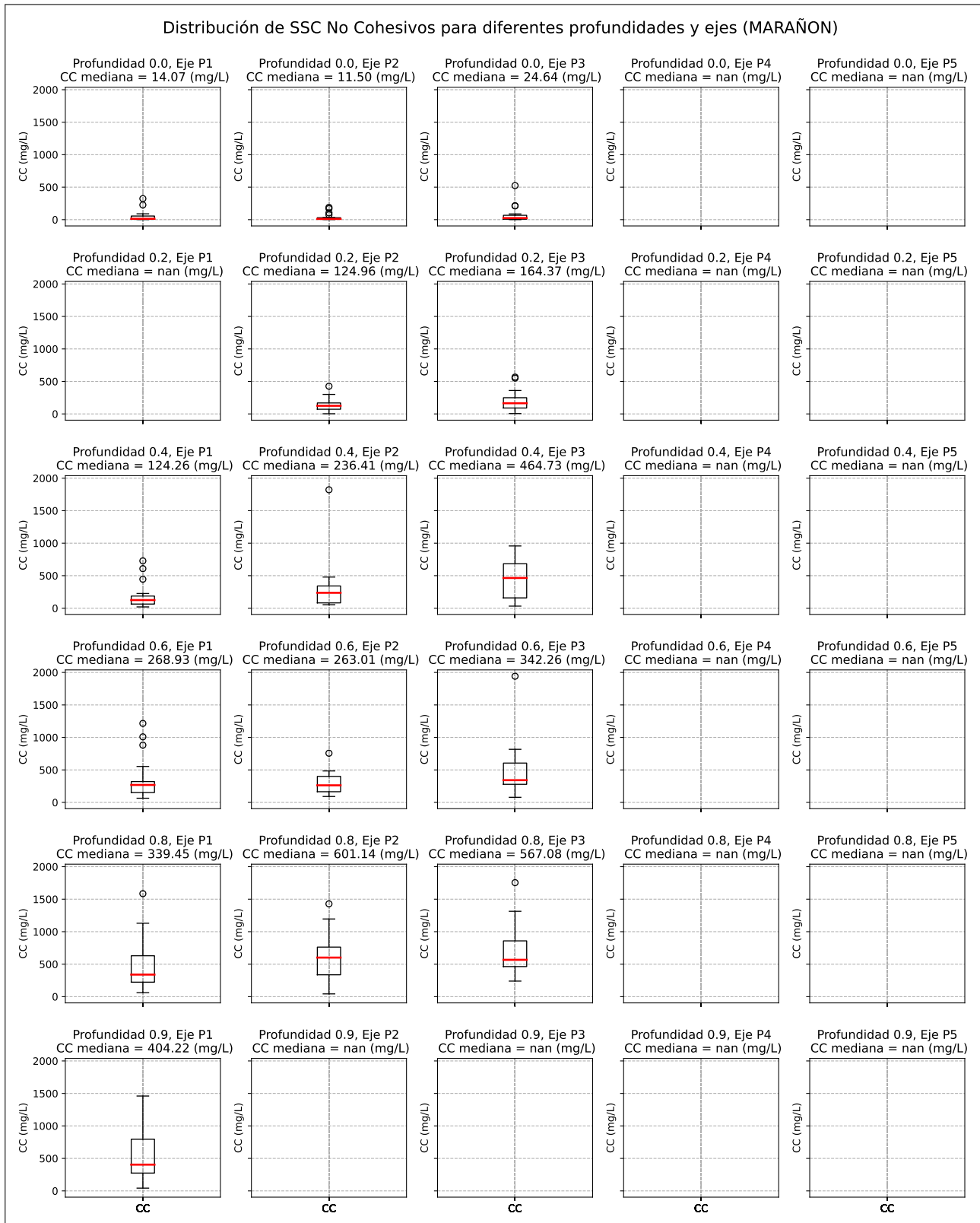
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.16: Valores atípicos de SSC no cohesivos, Huallaga



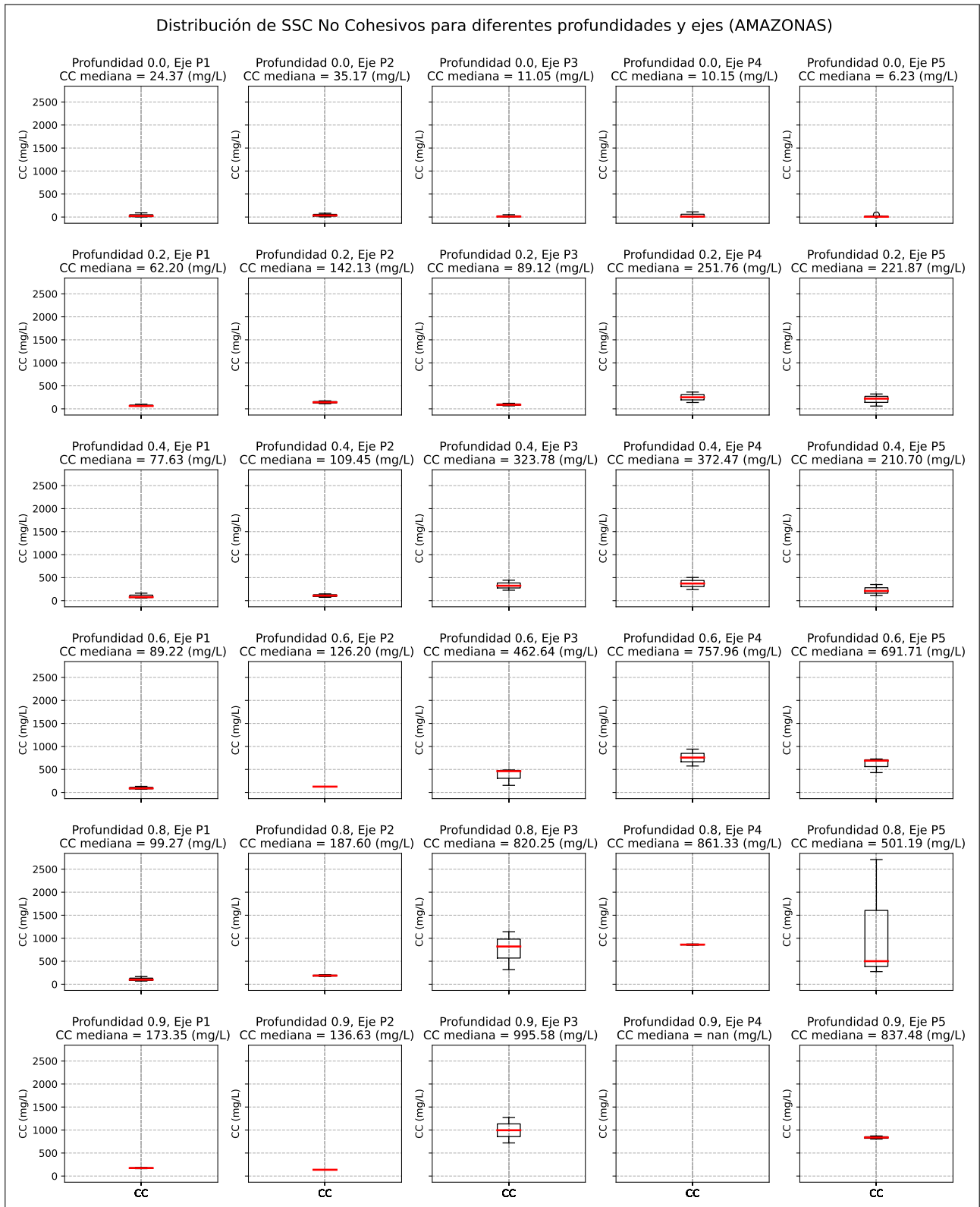
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.17: Valores atípicos de SSC no cohesivos, Marañón



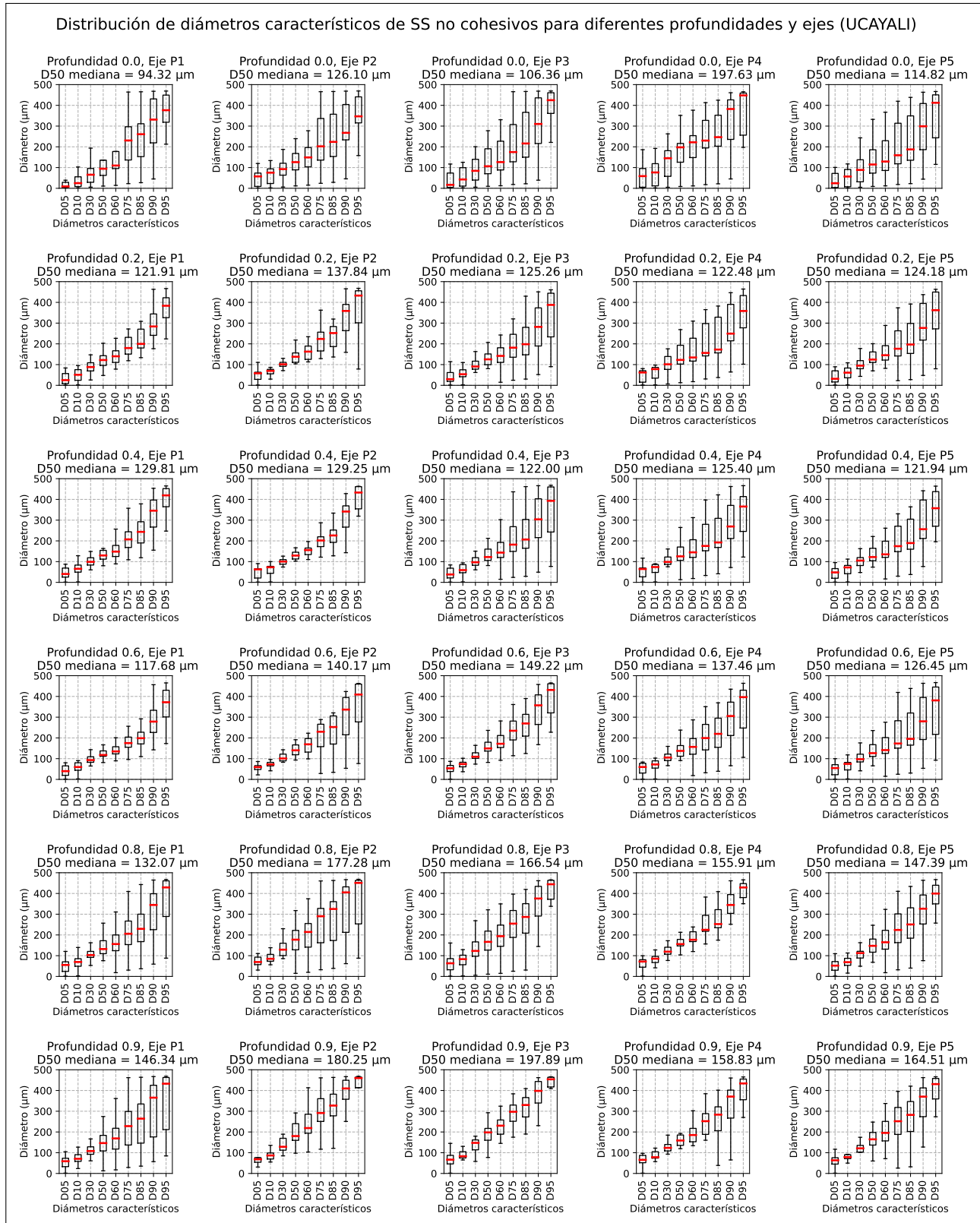
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.18: *Valores atípicos de SSC no cohesivos, Amazonas*



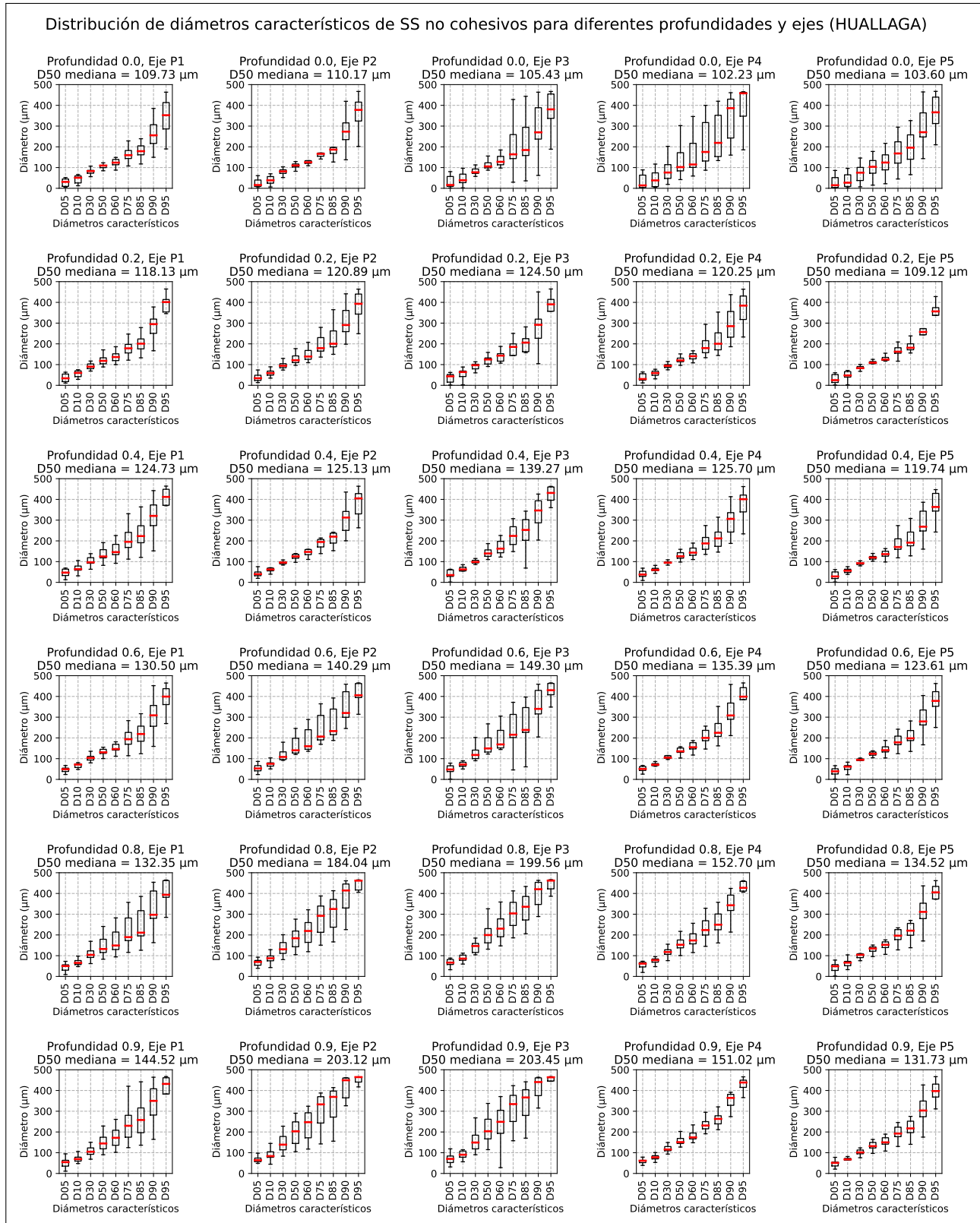
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.19: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Ucayali*



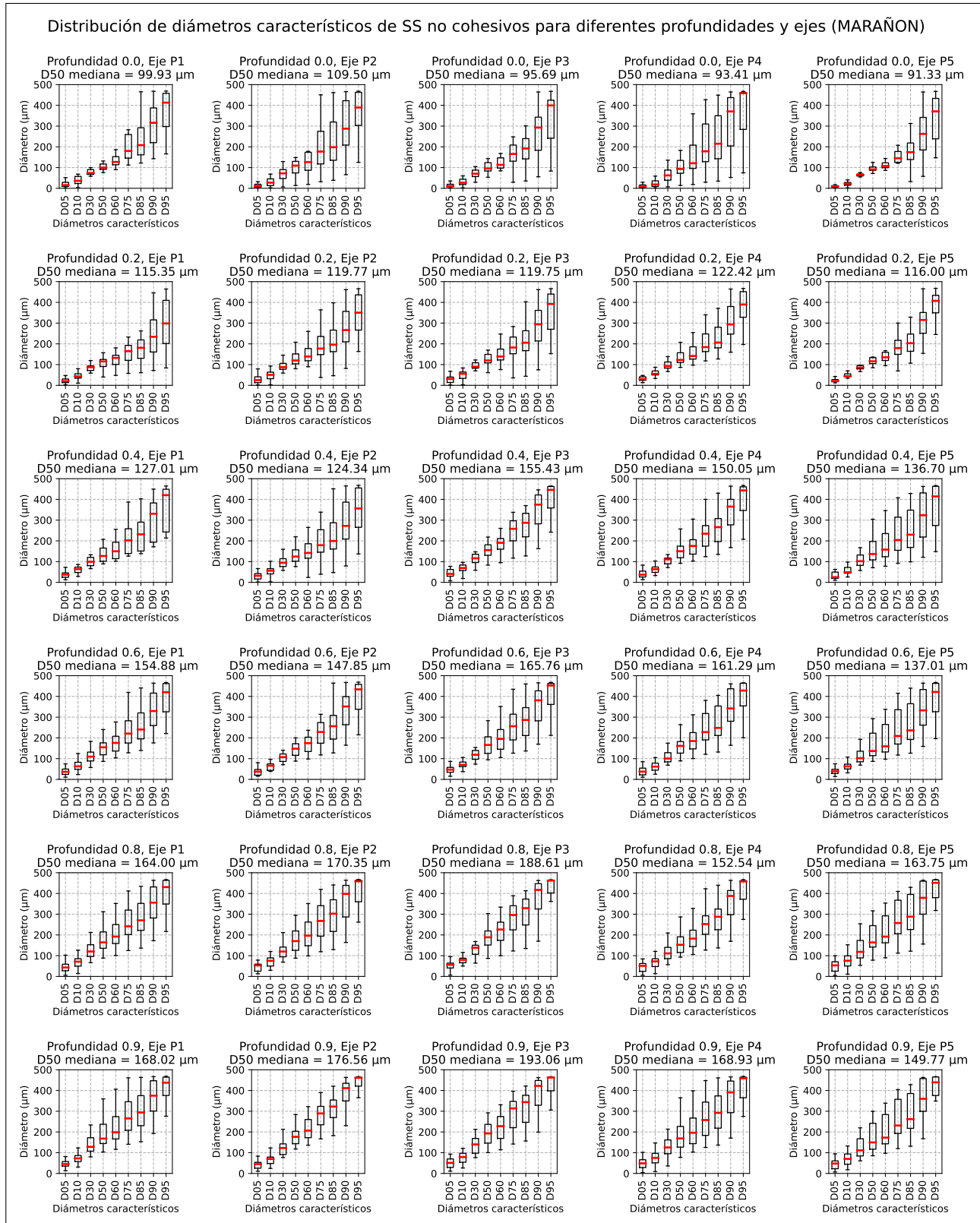
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.20: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Huallaga*



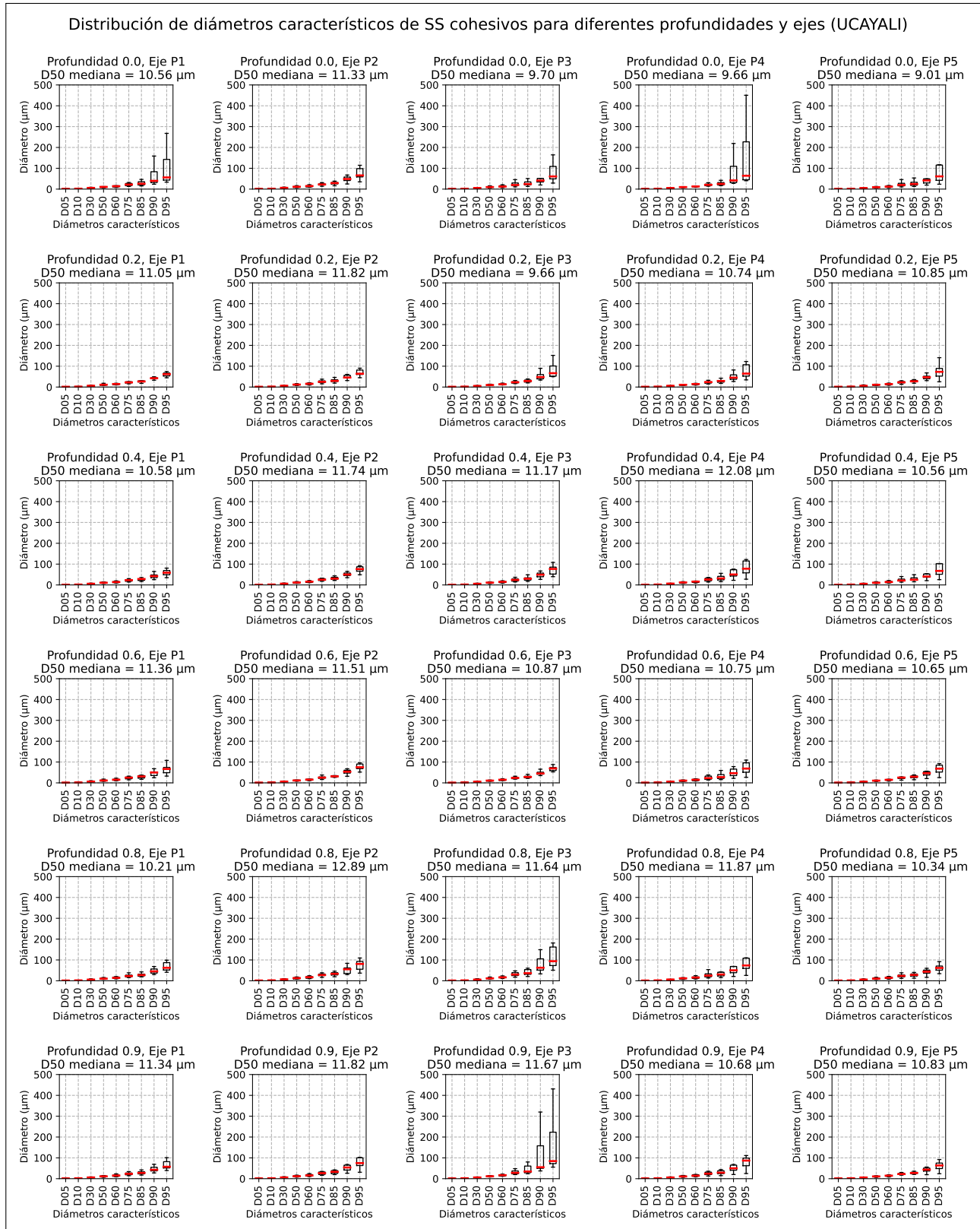
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.21: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos no cohesivos en el río Marañón*



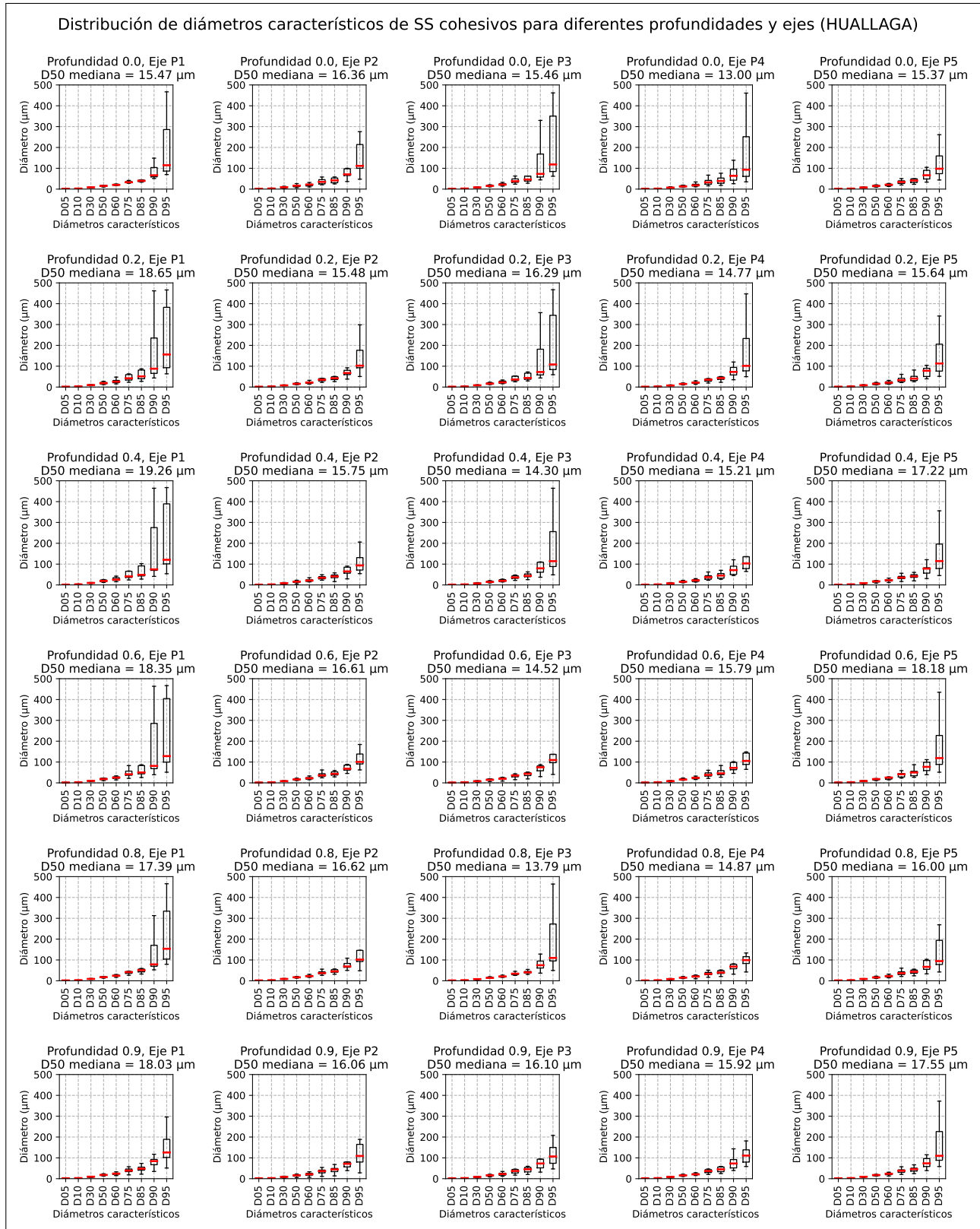
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.22: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Ucayali*



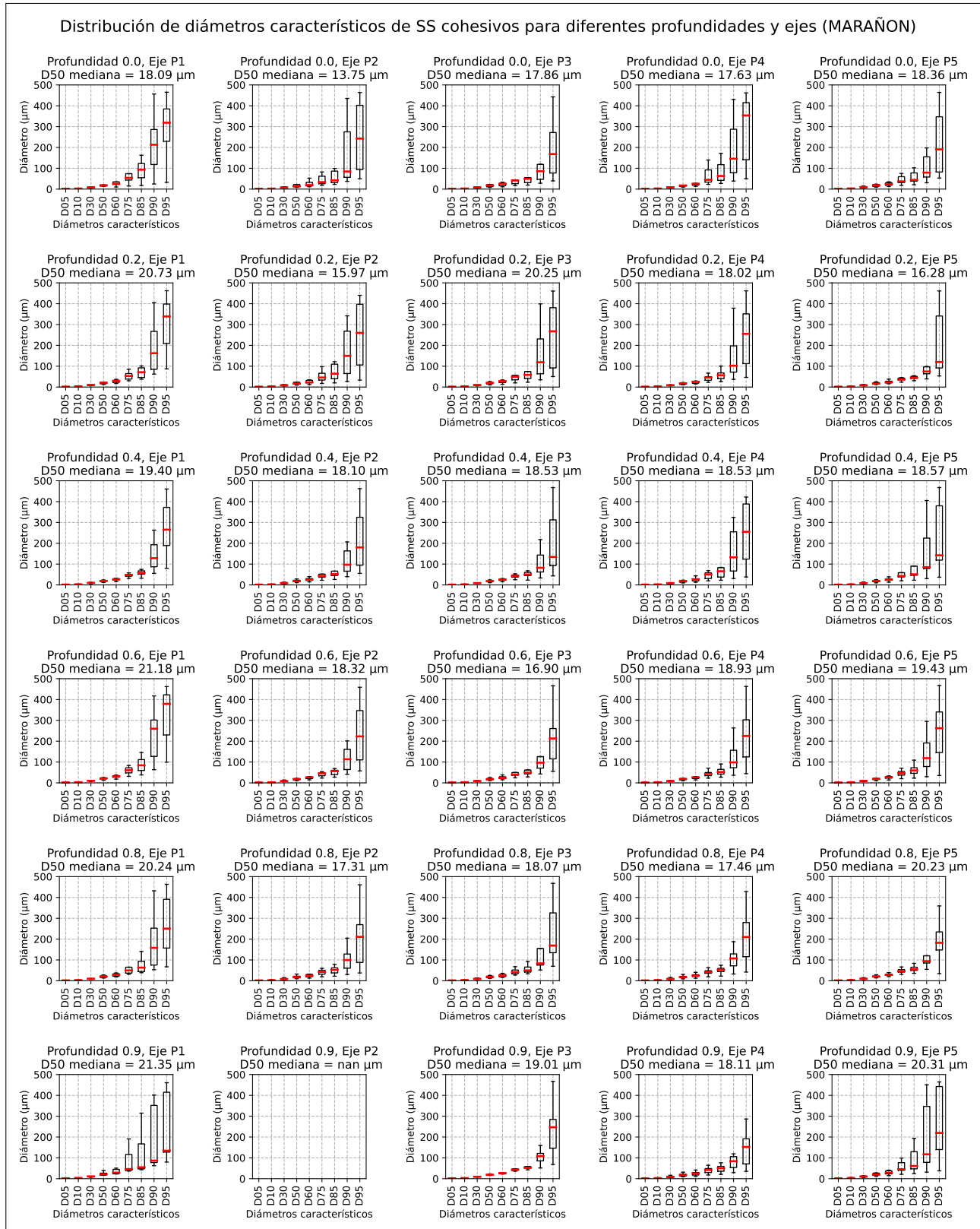
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.23: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Huallaga*



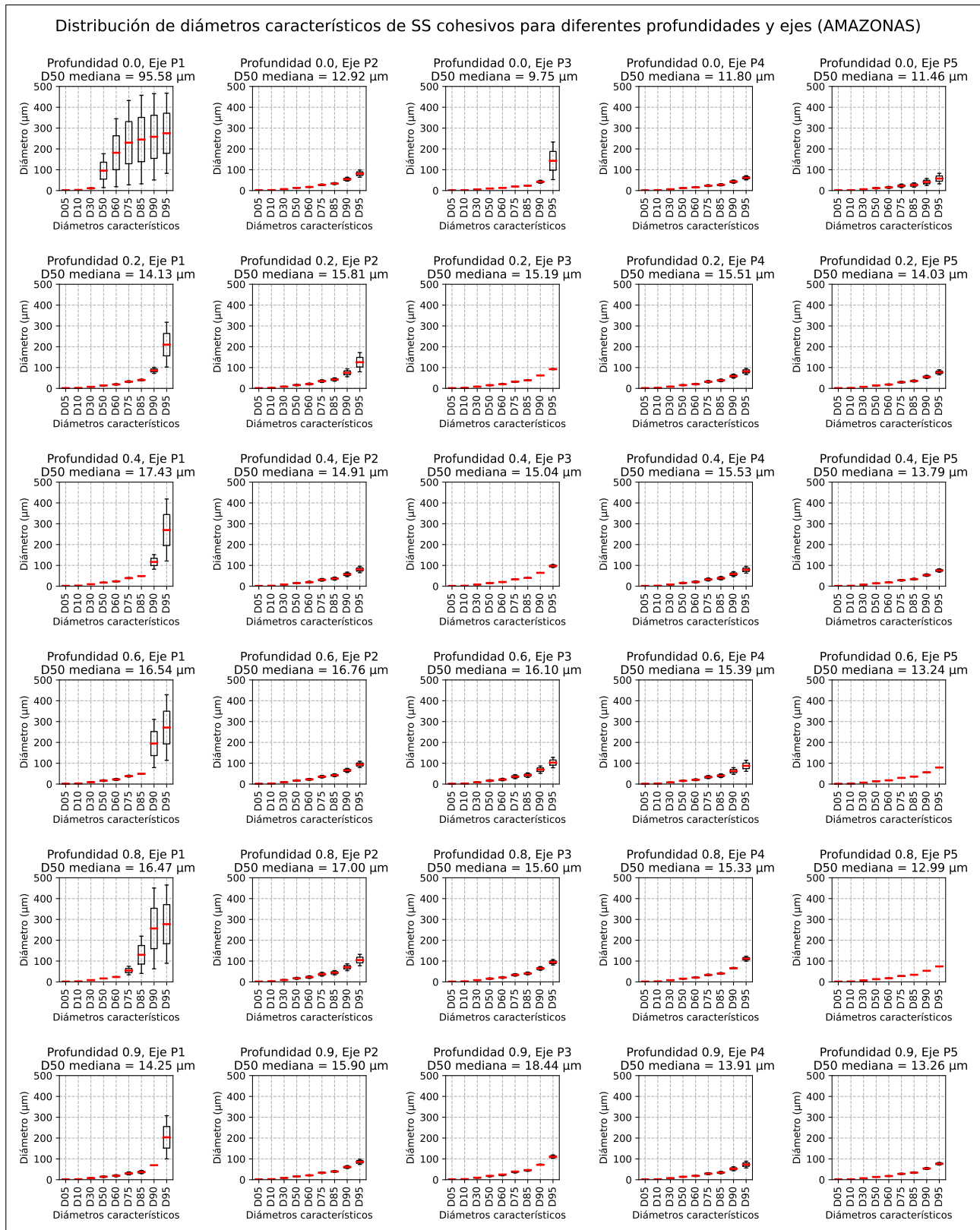
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.24: *Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Marañón*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.25: Distribución de diámetros de sedimentos suspendidos cohesivos en el río Amazonas

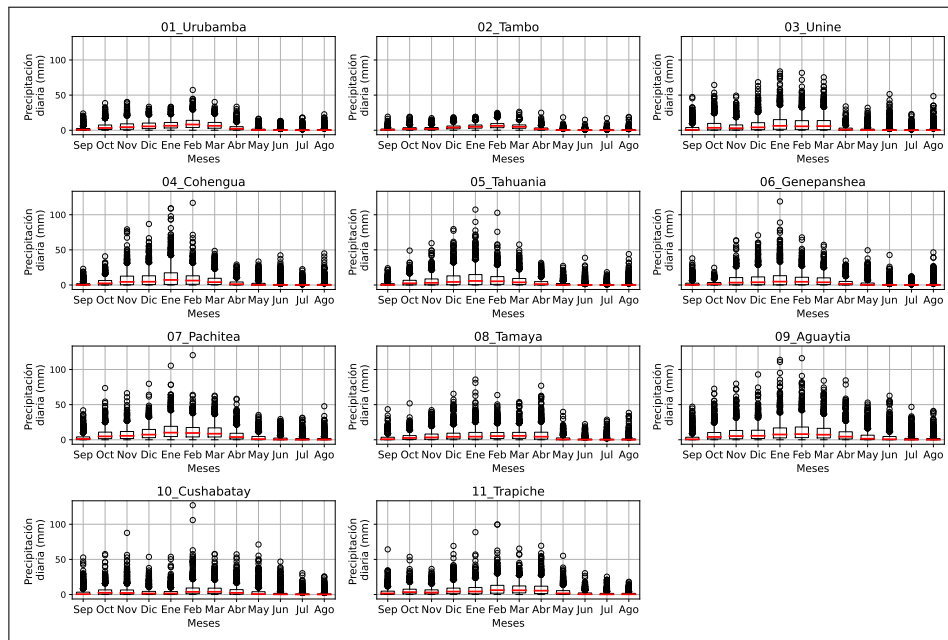


Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.3.2.3 Régimen de lluvia

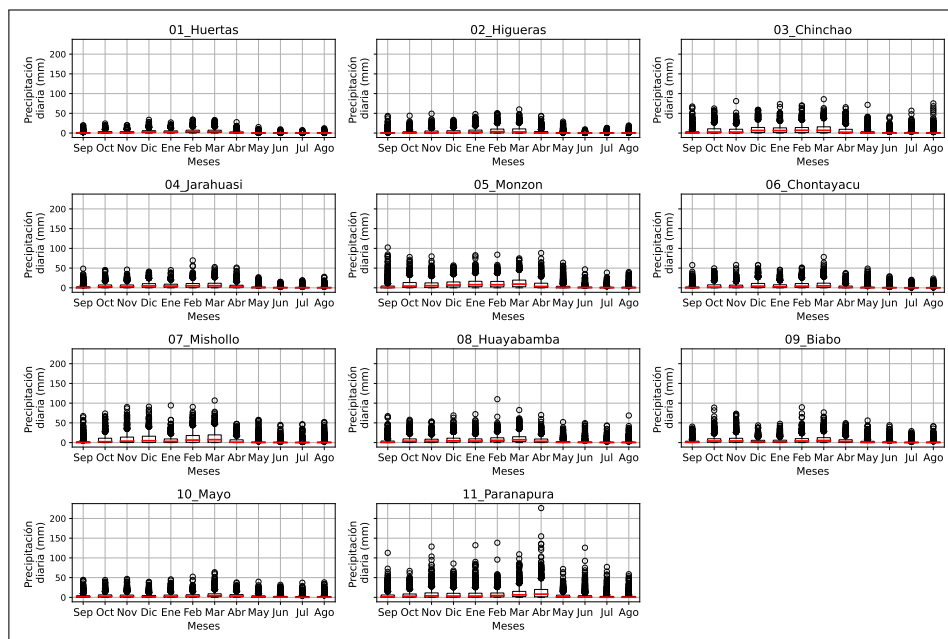
Dado la cantidad de datos usados las figuras 5.26, 5.27, 5.28, 5.29; presentan box-plots donde se muestran los valores atípicos de los regímenes de lluvia diaria de los principales afluentes por cada río de estudio.

FIGURA N° 5.26: Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Ucayali (1981-2016)



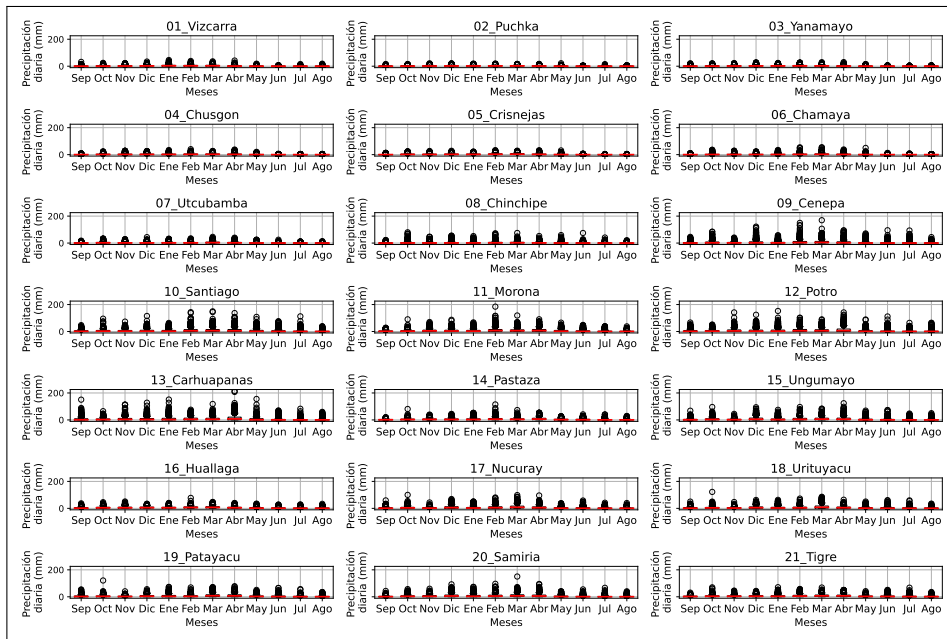
Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

FIGURA N° 5.27: Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)



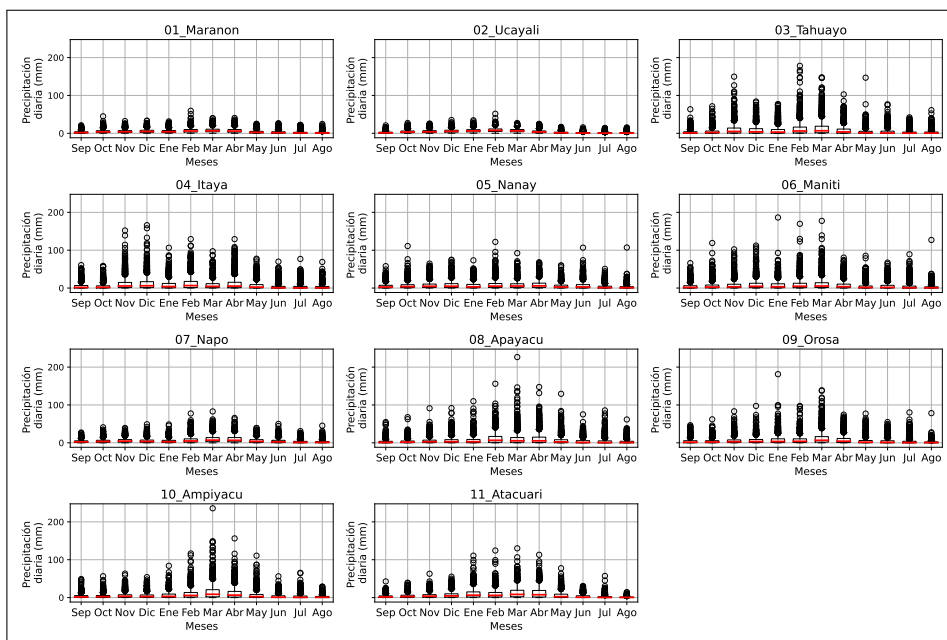
Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

FIGURA N° 5.28: Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)



Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

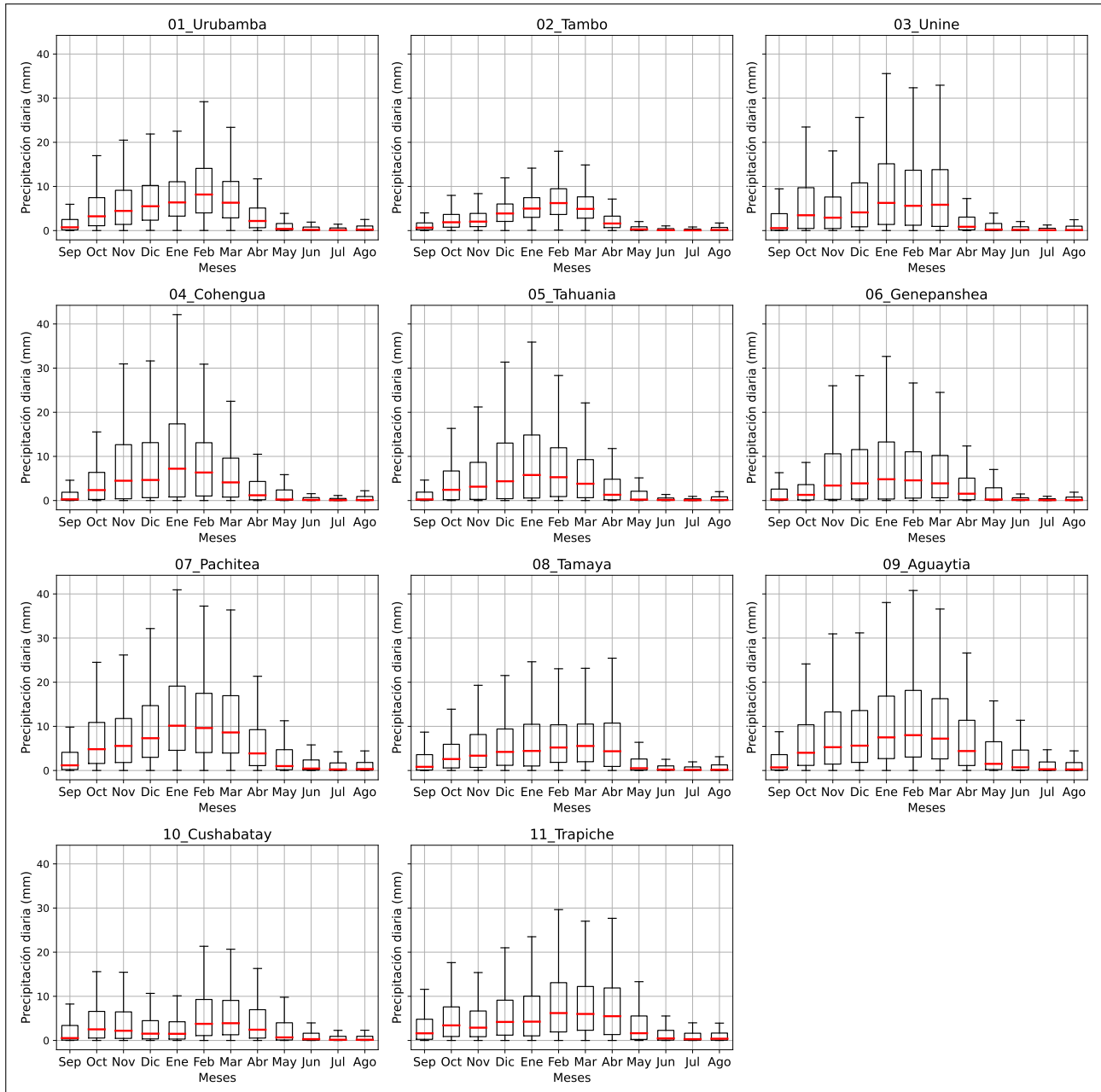
FIGURA N° 5.29: Valores atípicos de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)



Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

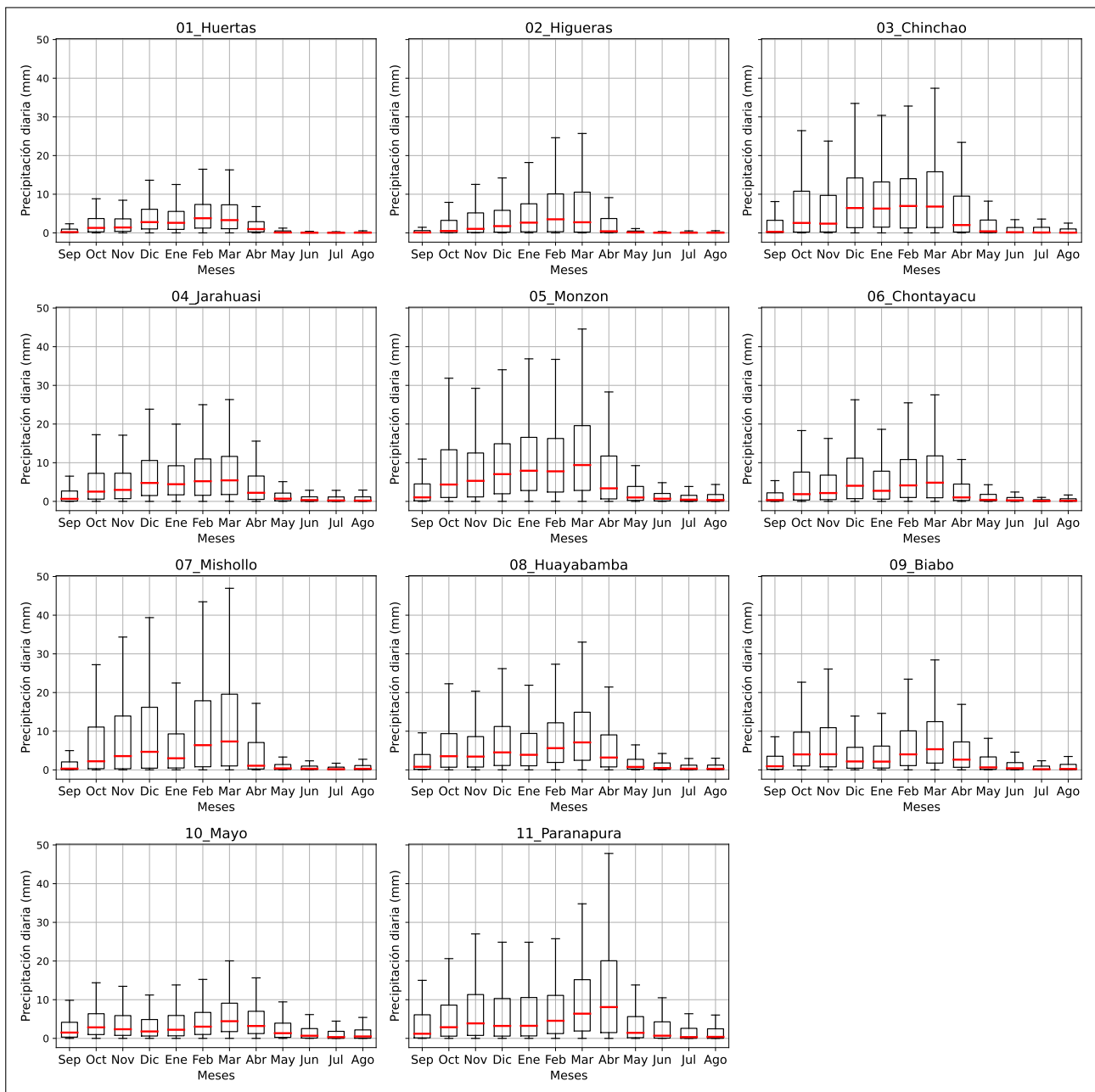
Las figuras 5.30, 5.31, 5.32 y 5.33 presentan los regímenes de lluvia diaria de los principales afluentes de cada río de estudio agrupados por mes, con los valores atípicos filtrados.

FIGURA N° 5.30: *Valores de precipitación diaria presentados por mes, Ucayali (1981-2016)*



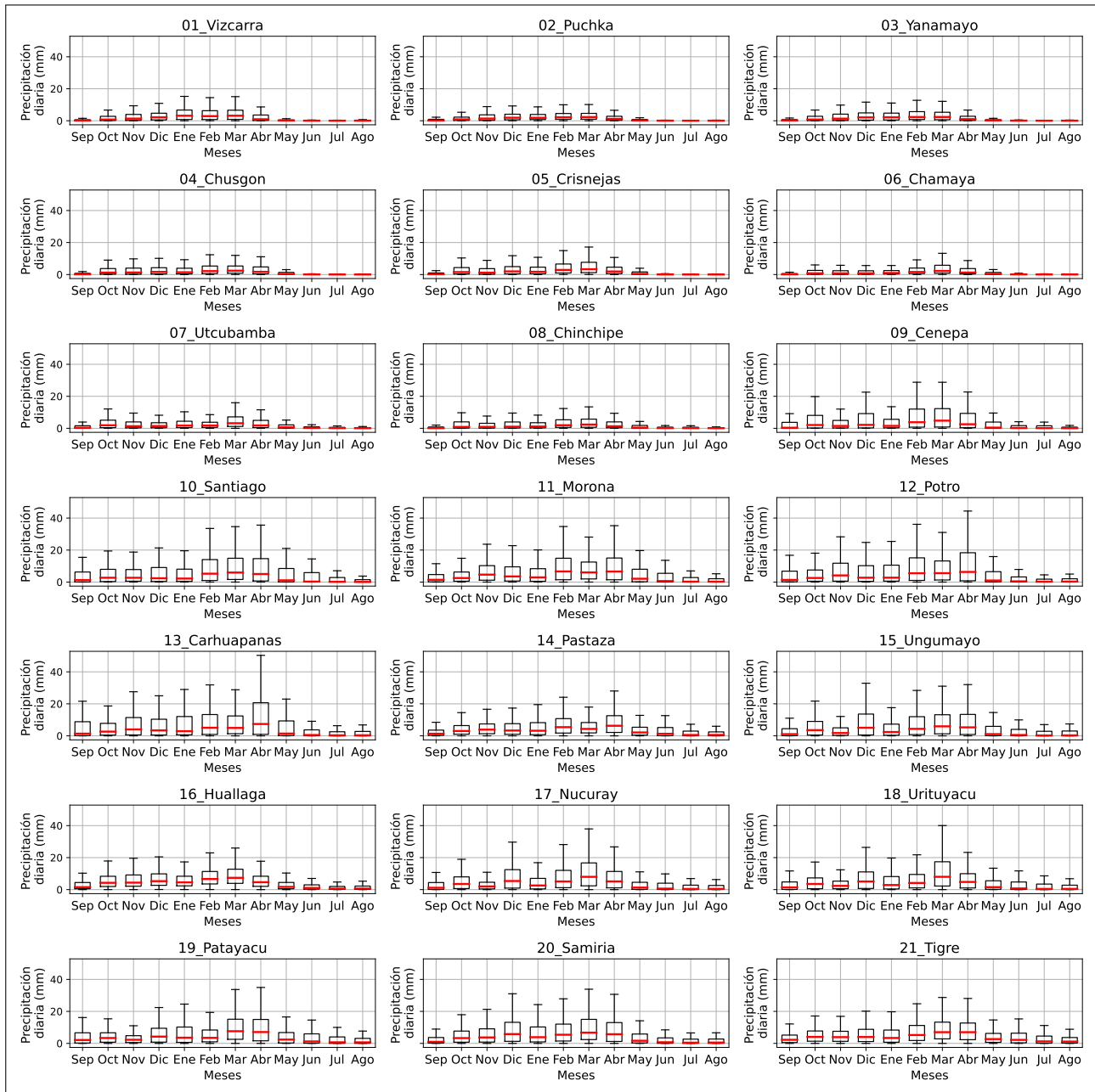
Nota: Elaboración propia

FIGURA N° 5.31: Valores de precipitación diaria presentados por mes, Huallaga (1981-2016)



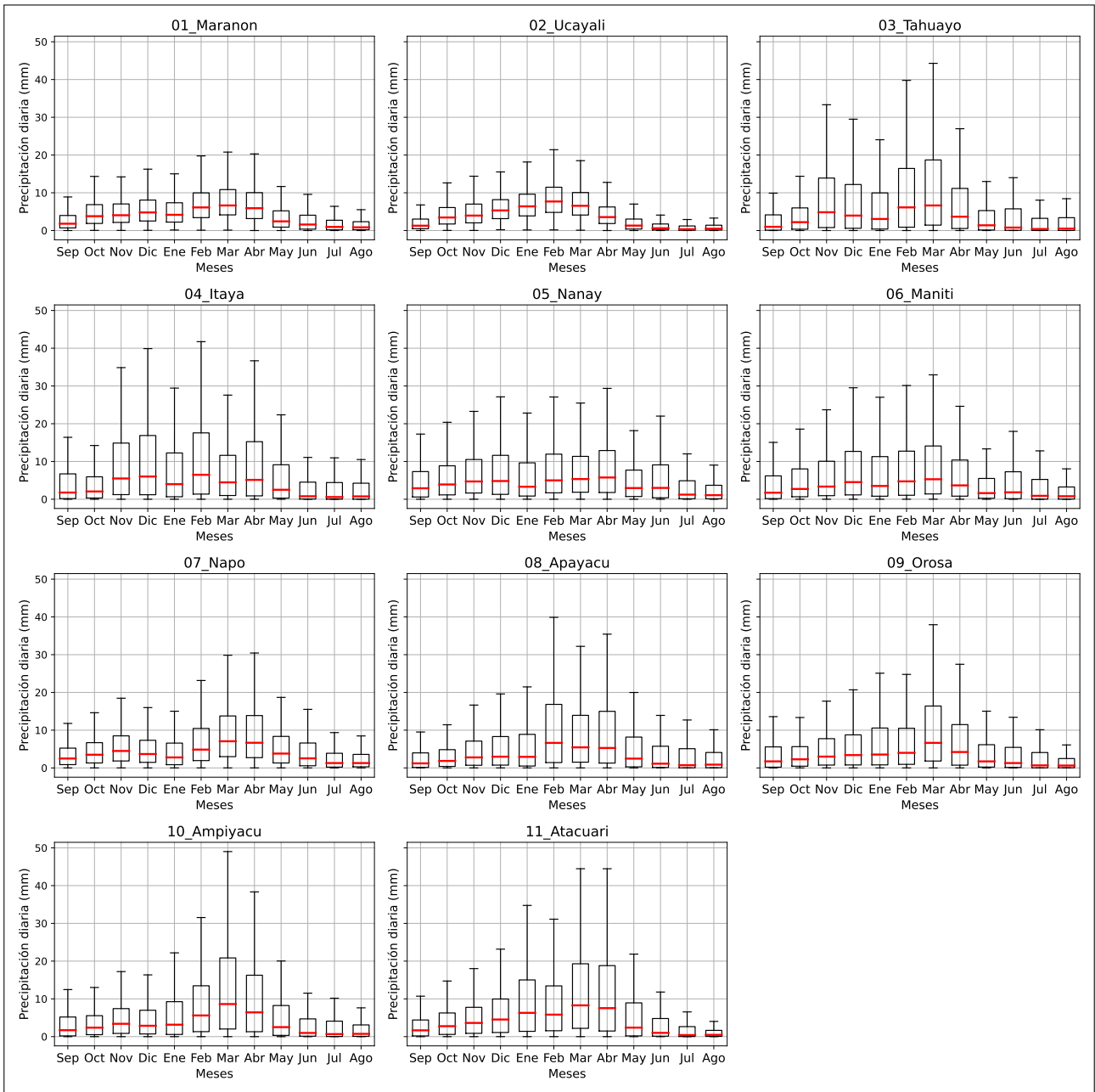
Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

FIGURA N° 5.32: Valores de precipitación diaria presentados por mes, Marañón (1981-2016)



Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

FIGURA N° 5.33: Valores de precipitación diaria presentados por mes, Amazonas (1981-2016)



Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017)

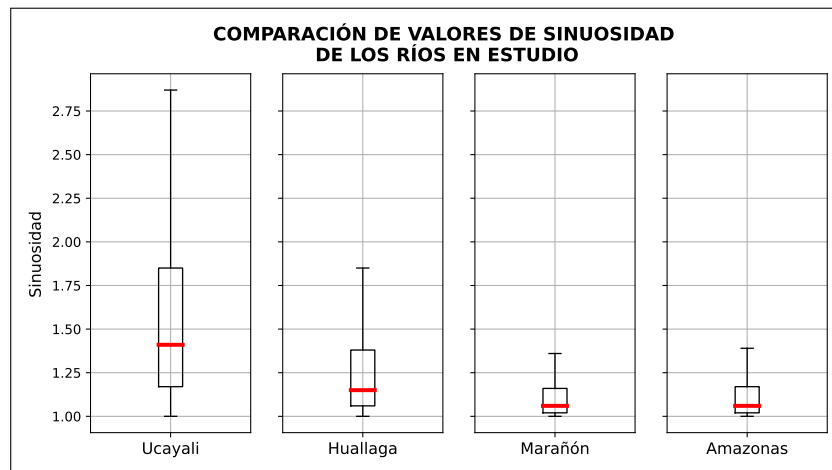
5.4 RESULTADOS PRINCIPALES

En esta subsección se presentan los principales hallazgos del estudio, organizados en diferentes subsecciones de acuerdo con los objetivos específicos del estudio.

5.4.1 Morfología fluvial

La figura 5.34 nos presenta la variación de la métrica de la sinuosidad de los ríos de estudio.

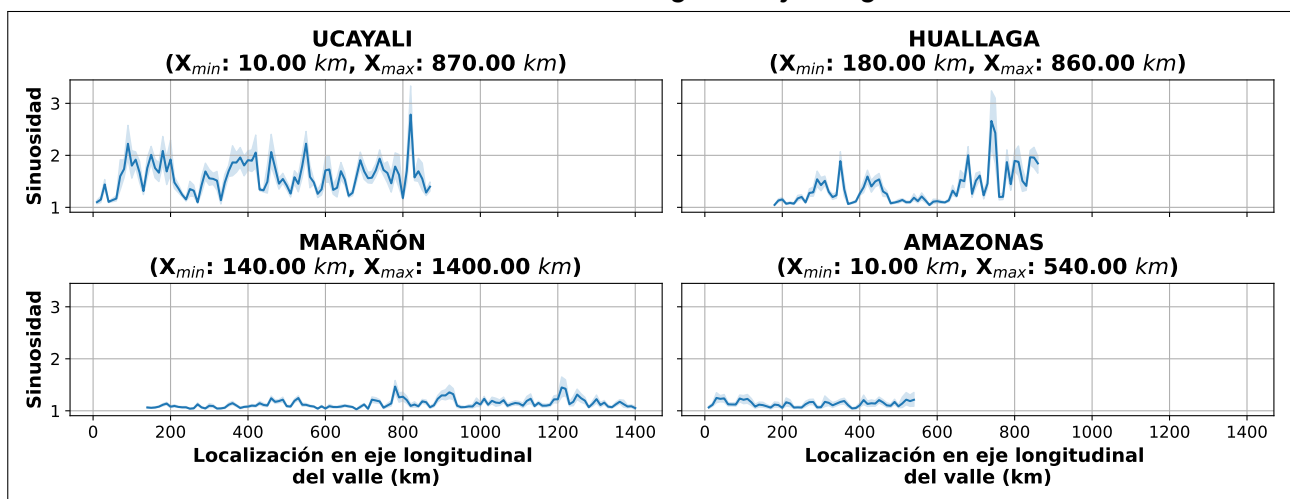
FIGURA N° 5.34: Comparación de la variación de las sinuosidades de los ríos de estudio



Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.35 nos presenta la variación de la métrica de la sinuosidad a lo largo del eje longitudinal del valle por cada río.

FIGURA N° 5.35: Sinuosidad a lo largo del eje longitudinal del valle

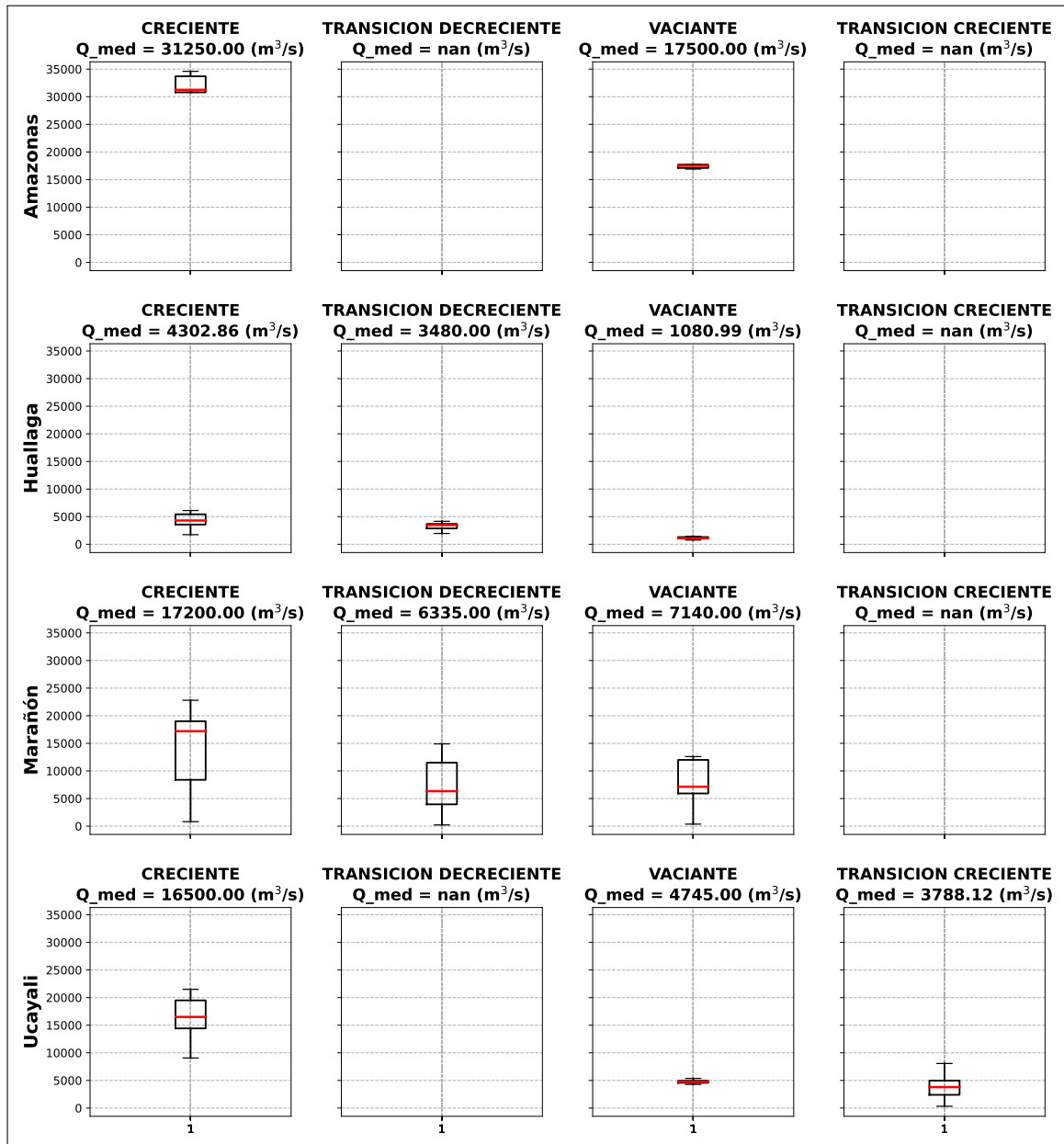


Nota: Elaboración propia a partir de datos de caracterización morfológica obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.4.2 Hidrodinámica

La figura 5.36 nos presenta la distribución de caudales medidos acorde al régimen fluvial de los ríos Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas

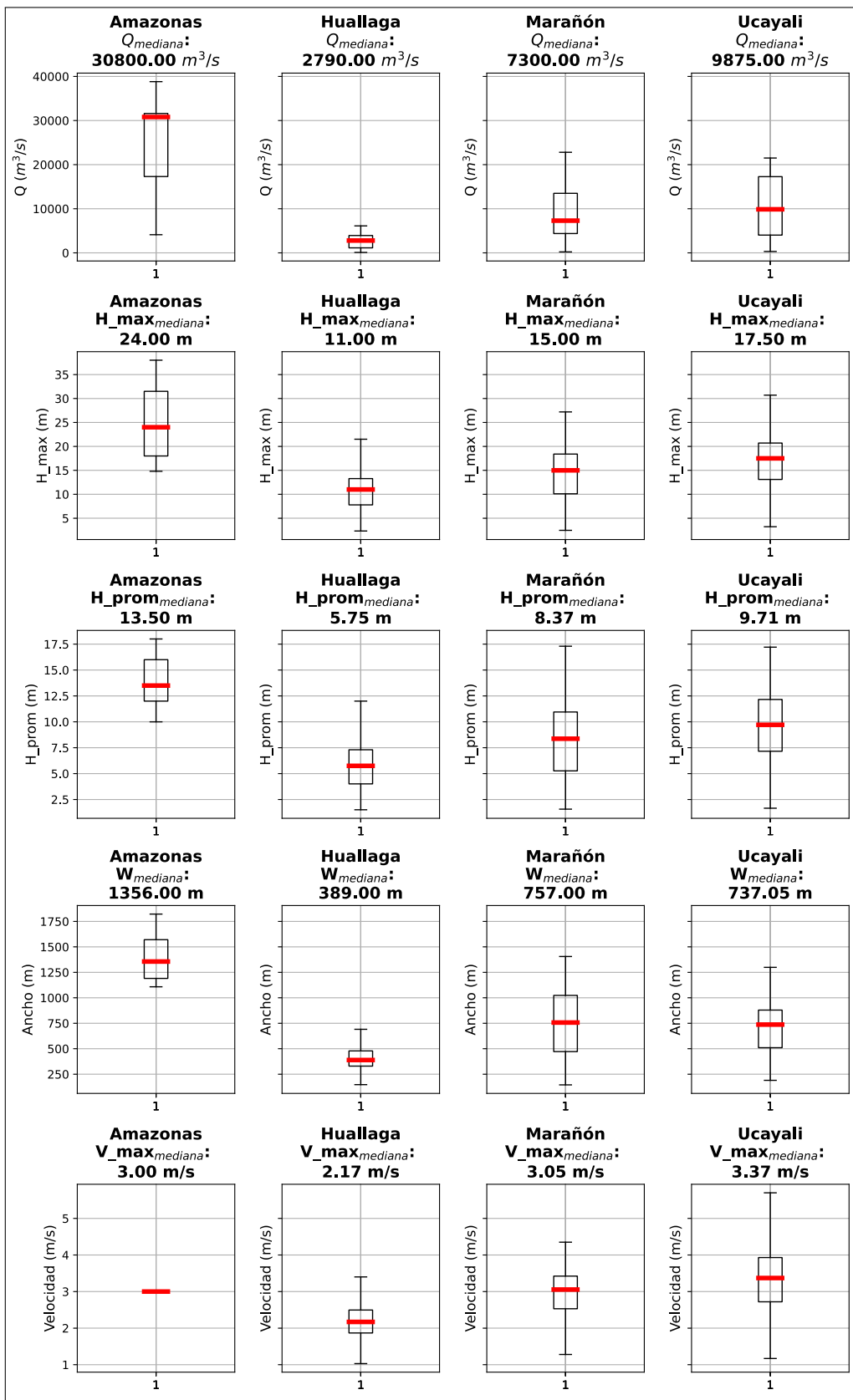
FIGURA N° 5.36: *Distribución de caudal medido por régimen fluvial*



Nota: Elaboración propia a partir de aforos con ADCP obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.37 nos presenta la distribución de datos obtenidos a partir de mediciones ADCP realizadas en los ríos Ucayali, Huallaga, Marañón y Amazonas

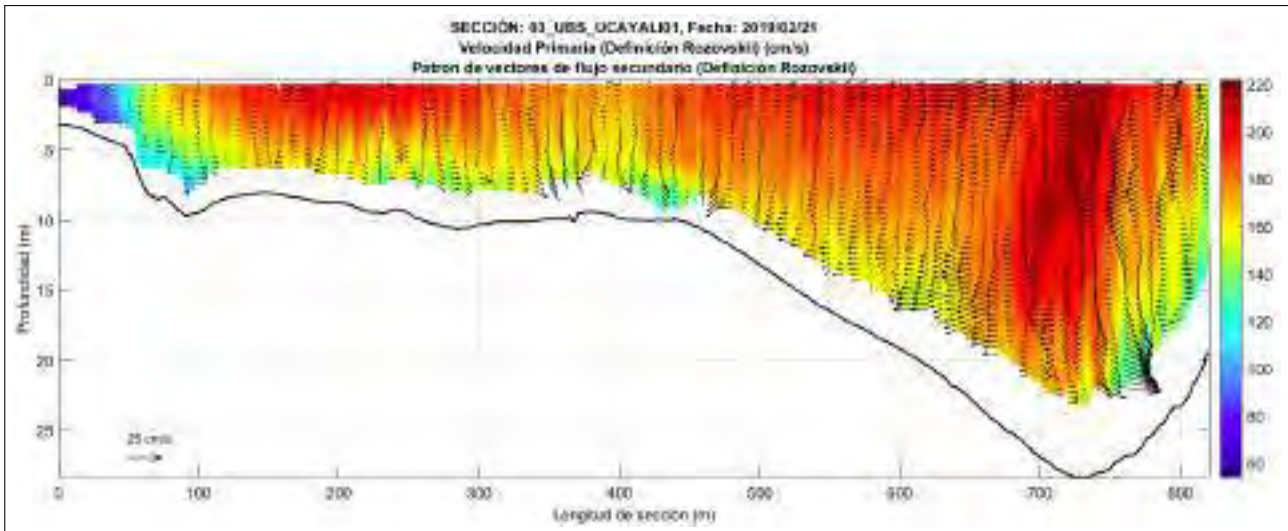
FIGURA N° 5.37: Distribución de datos obtenidos por ADCP



Nota: Elaboración propia a partir de aforos con ADCP obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.38 nos presenta la distribución de patrón de flujo de velocidades primarias y secundarias de la sección backscatter 03_UBS_UCAYALI01 la cual fue obtenida en régimen fluvial creciente con fecha 21 de febrero del 2019.

FIGURA N° 5.38: *Distribución de patrón de velocidades primarias y secundarias, Sección backscatter: 03_UBS_UCAYALI01*

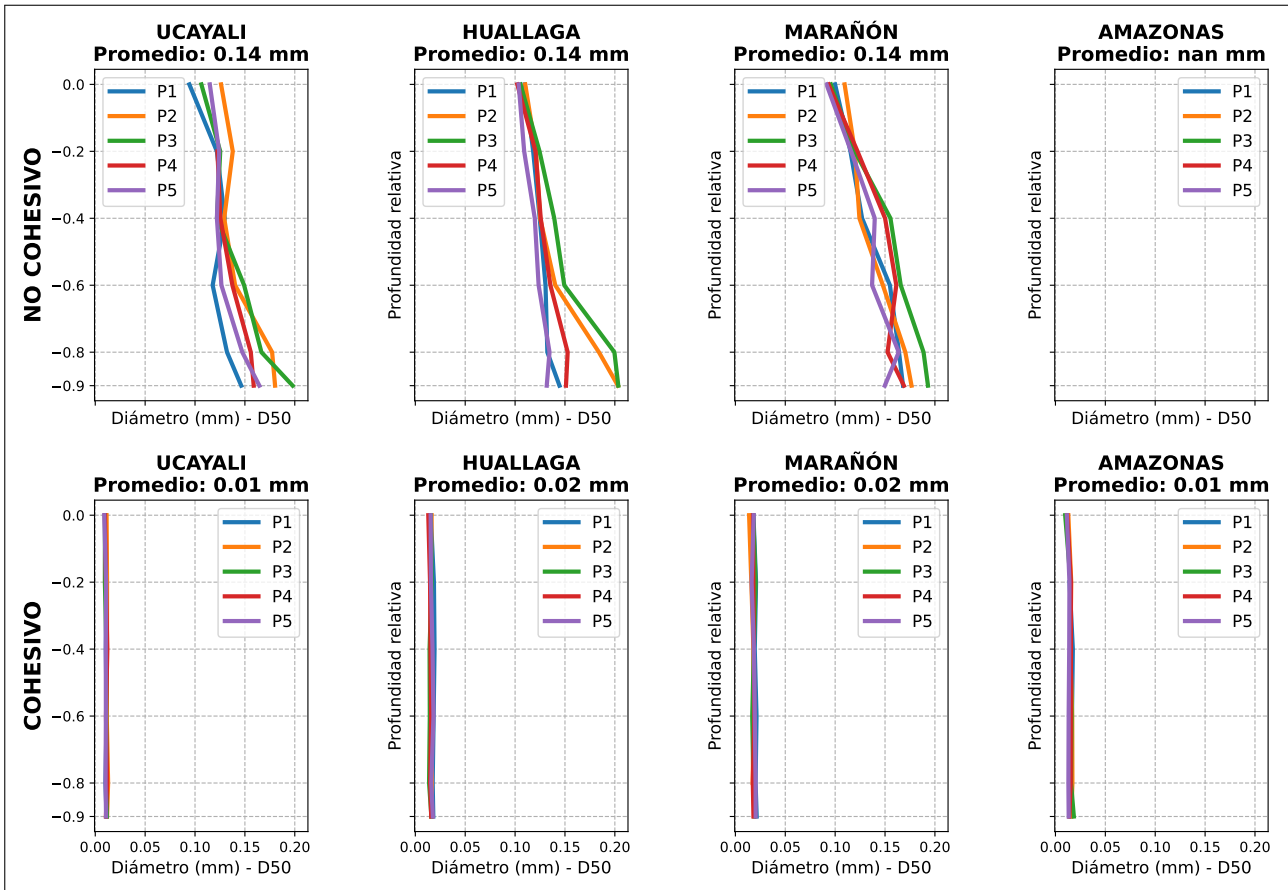


Nota: Elaboración propia a partir de aforos con ADCP obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.4.3 Sedimentología

La figura 5.39 nos presenta la distribución de las medianas de los diámetros característicos D50 por cada eje y profundidad de todas las muestras de sedimentos suspendidos de los ríos de estudio.

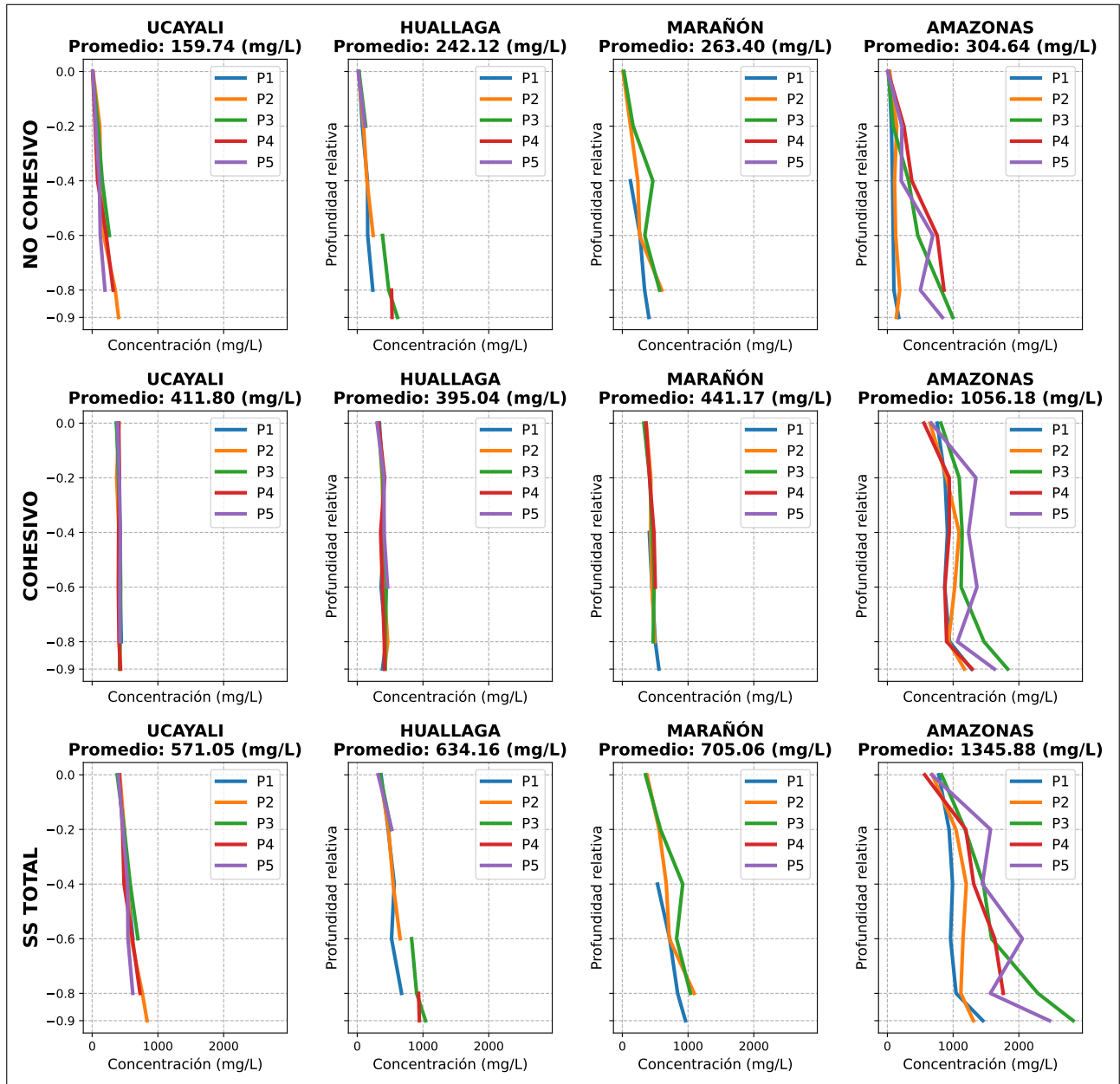
FIGURA N° 5.39: Distribución del diámetro característico D50 por eje y profundidad de datos de sedimentos suspendidos medidos



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.40 nos presenta la distribución de las medianas de los valores de concentración para diferentes profundidades y ejes de todas las mediciones de sedimentos para cada río de estudio.

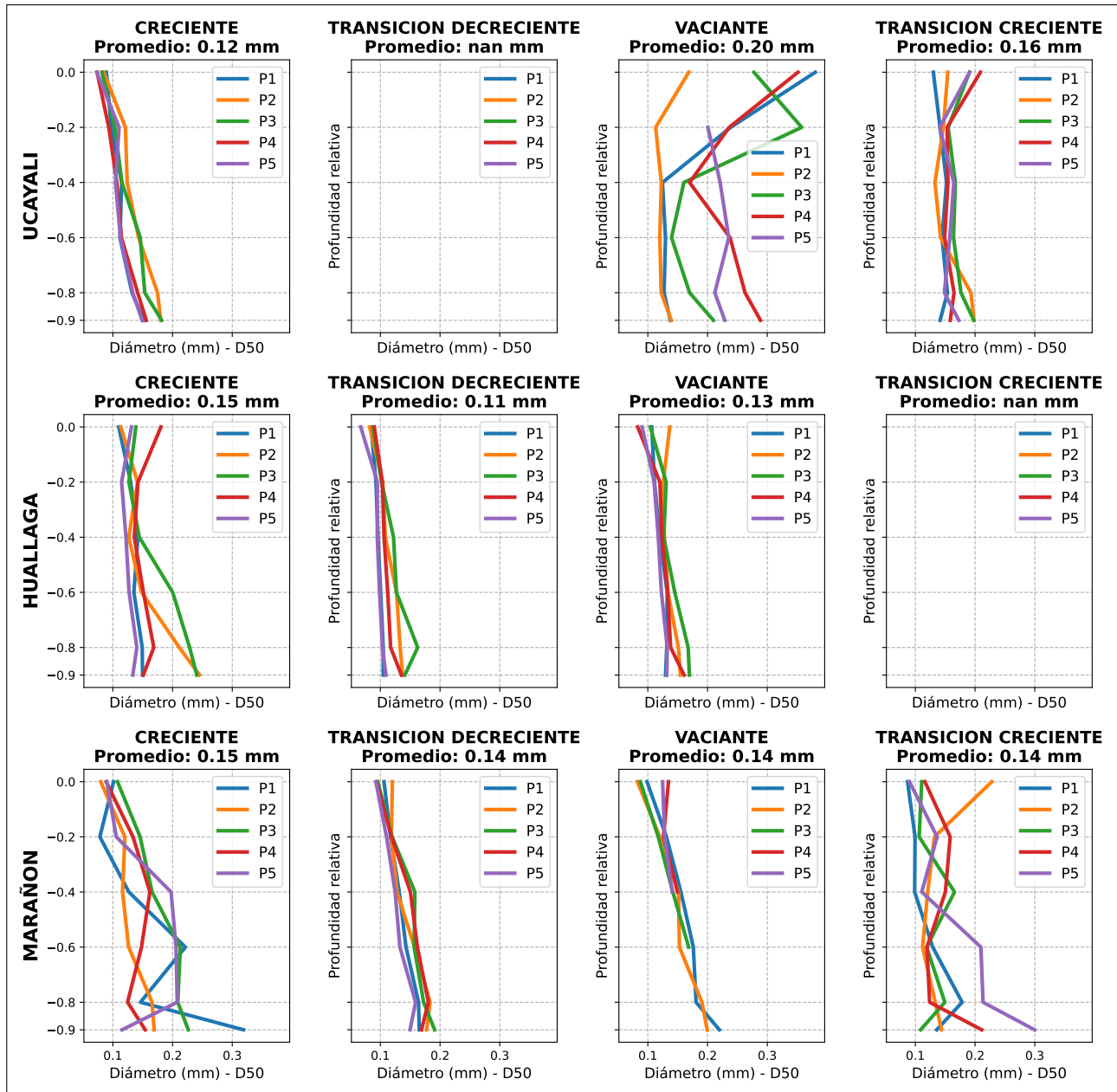
FIGURA N° 5.40: *Distribución de concentración para diferentes profundidades y ejes de medición para cada río de estudio*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.41 nos presenta la distribución de las medianas de los diámetros característicos D50 por cada eje y profundidad de todas las muestras de sedimentos suspendidos no cohesivos por periodo de régimen fluvial para los ríos de estudio.

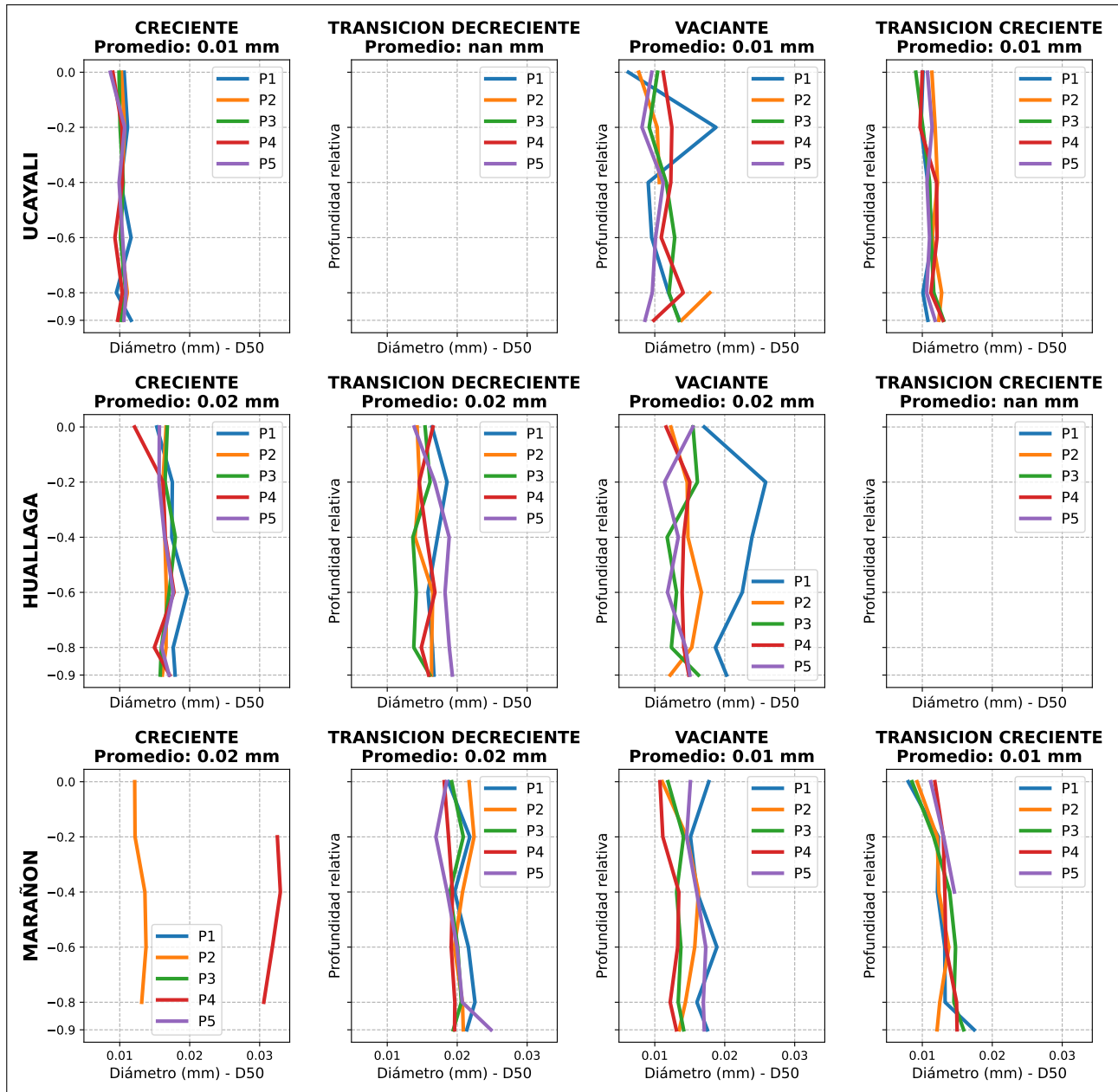
FIGURA N° 5.41: Distribución del diámetro característico D50 para muestras de sedimentos suspendidos NO COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial.



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.42 nos presenta la distribución de las medianas de los diámetros característicos D50 por cada eje y profundidad de todas las muestras de sedimentos suspendidos cohesivos por periodo de régimen fluvial para los ríos de estudio.

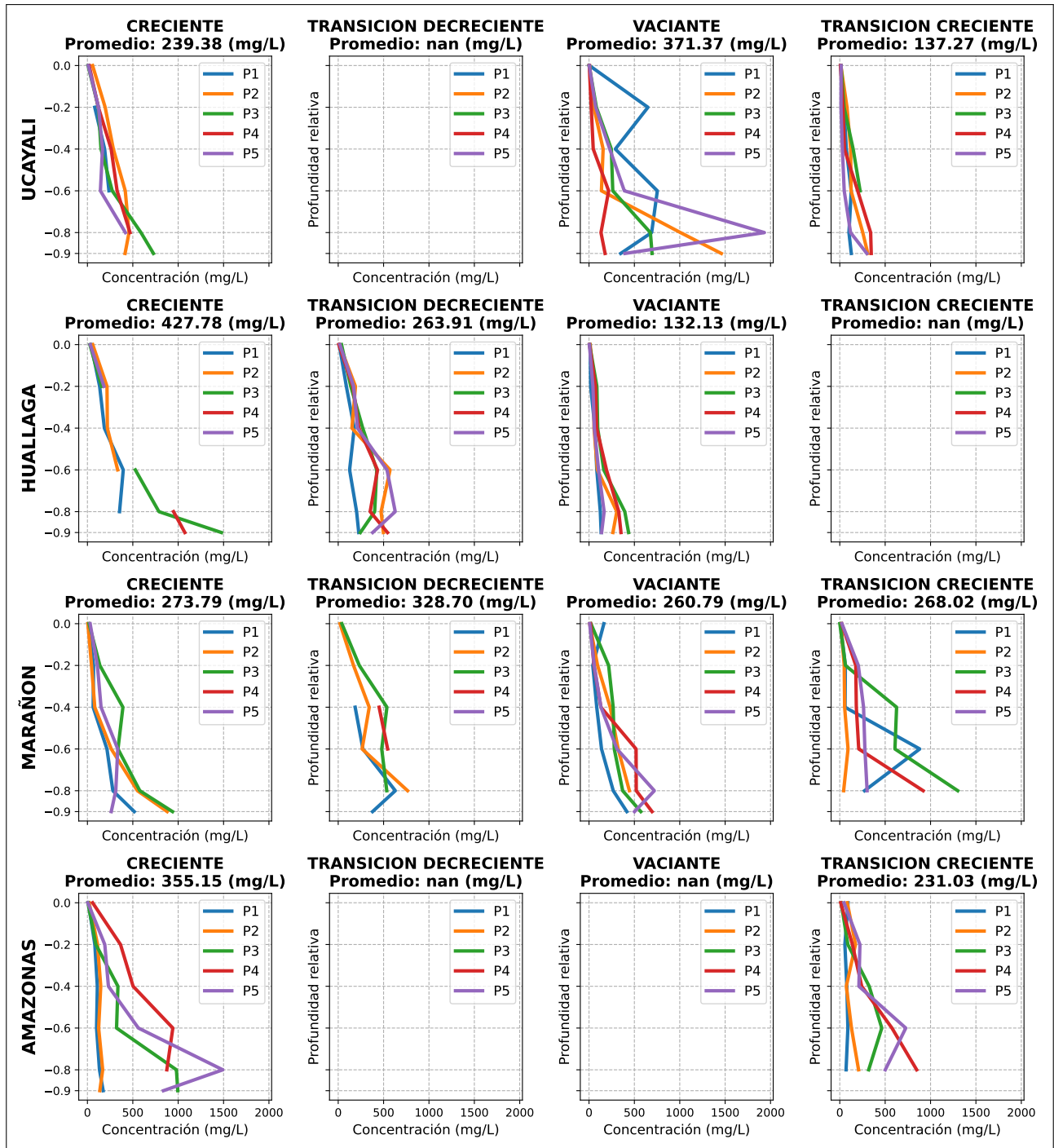
FIGURA N° 5.42: *Distribución del diámetro característico D50 de sedimentos suspendidos COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial.*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.43 nos presenta la distribución de las medianas de la SSC por cada eje y profundidad de todas las muestras de sedimentos suspendidos no cohesivos por periodo de régimen fluvial para los ríos de estudio.

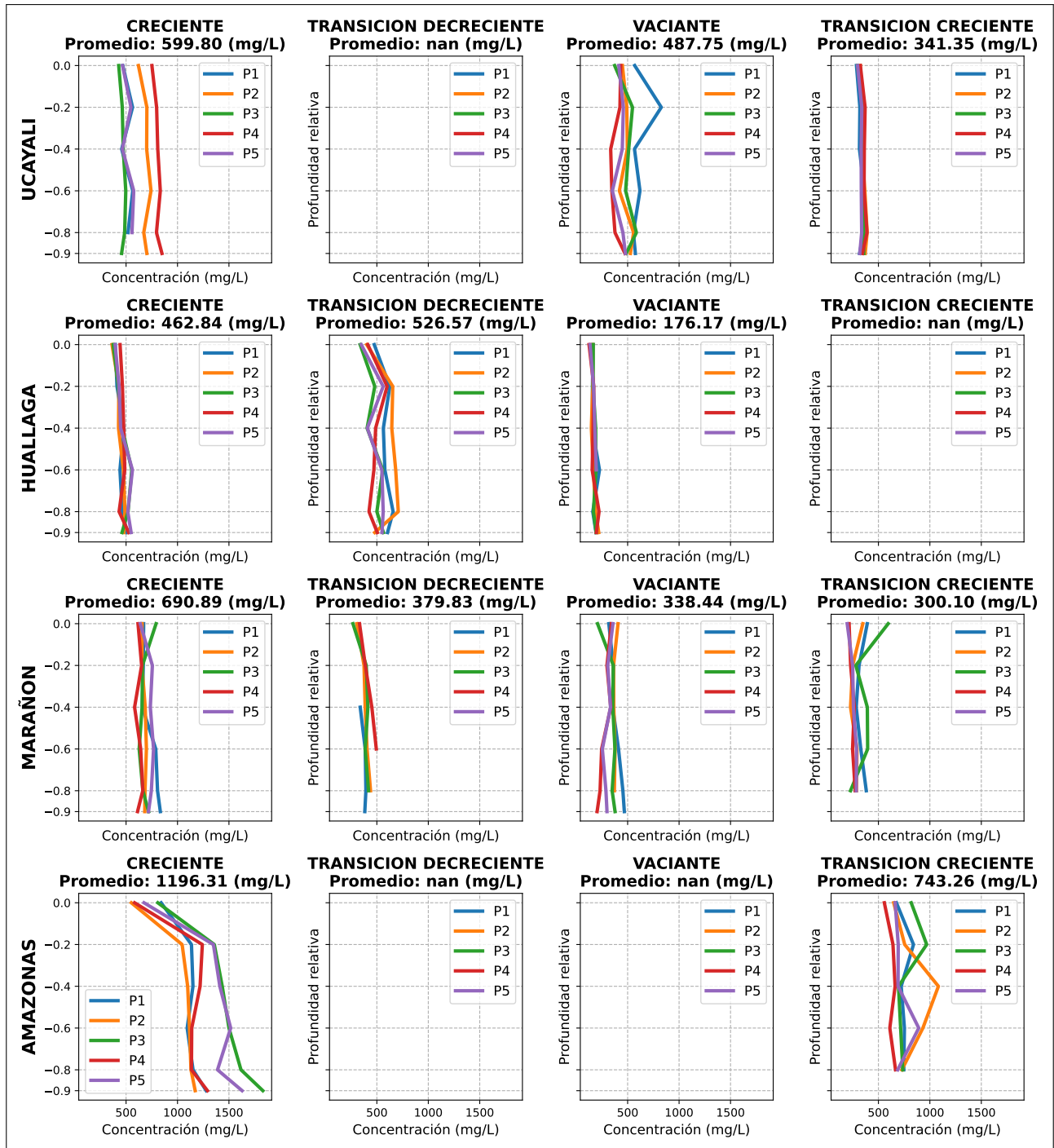
FIGURA N° 5.43: *Distribución de SSC NO COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

La figura 5.44 nos presenta la distribución de las medianas de la SSC por cada eje y profundidad de todas las muestras de sedimentos suspendidos cohesivos por periodo de régimen fluvial para los ríos de estudio.

FIGURA N° 5.44: *Distribución de SSC COHESIVOS por eje, profundidad y periodo de régimen fluvial*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

5.4.4 Régimen de lluvia

La tabla 5.19 nos presenta la intensidad de los períodos del fenómeno del niño y del fenómeno de la niña para el período de años de 1982-2016.

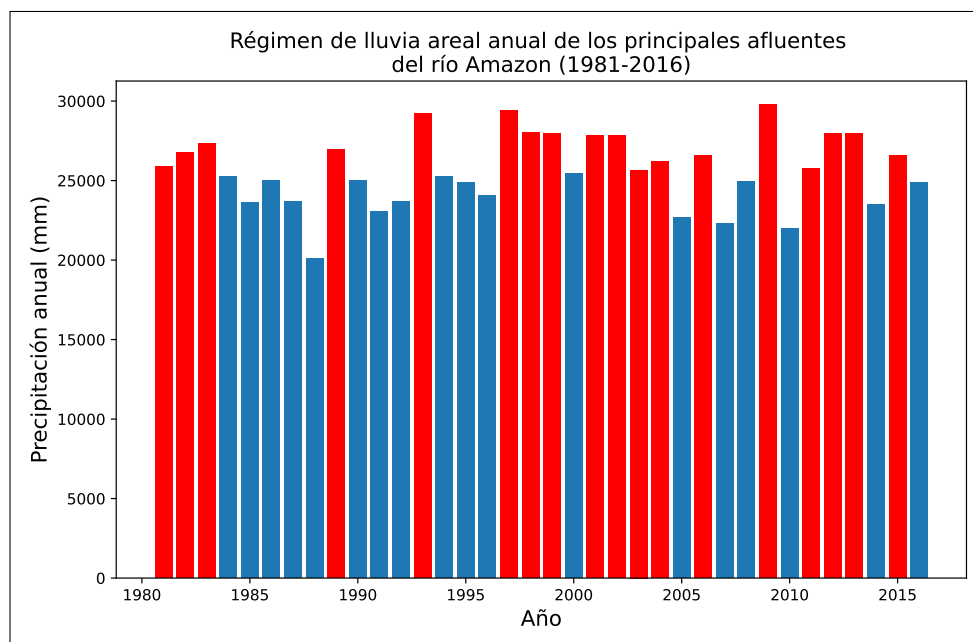
TABLA N° 5.19: *Intensidad de fenómeno del niño y fenómeno de la niña (1982-2016)*

Años	Intensidad de fenómeno del niño	Intensidad de fenómeno de la niña	Referencia
1982-1983	Extraordinario		Trenberth (1997)
1985		Moderado	Philander (1989)
1986-1987	Moderado		Philander (1989)
1988		Moderado	Philander (1989)
1991-1993	Moderado		Zhang, Wallace, y Battisti (1997)
1994-1995	Debil		McPhaden (1999)
1996		Moderado	McPhaden (1999)
1997-1998	Extraordinario		McPhaden (1999)
2001		Debil	Yeh et al. (2009)
2002	Debil		Yeh et al. (2009)
2006	Debil		Cai y Cowan (2008)
2007		Moderado	Cai y Cowan (2008)
2008-2009	Debil		Najibi (2019)
2010		Moderado	Najibi (2019)
2012	Debil		Najibi (2019)
2013		Fuerte	Najibi (2019)
2014	Debil		Najibi (2019)
2015-2016	Fuerte		Cai et al. (2015); Roxy et al. (2016)

Nota: Elaboración propia

La figura 5.45 nos presenta los años de precipitación máxima anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Amazonas.

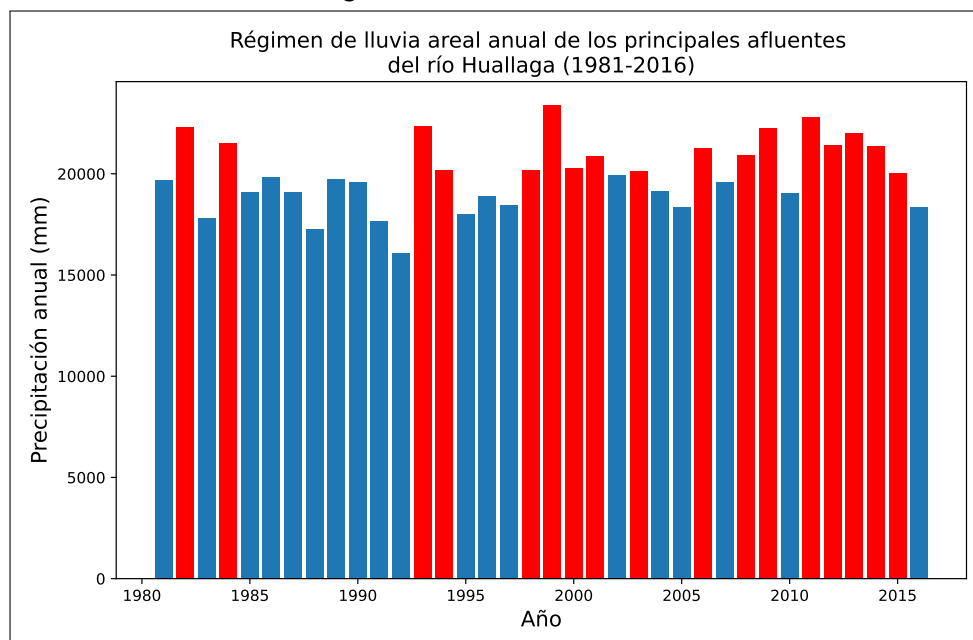
FIGURA N° 5.45: Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Amazonas



Nota: Elaboración propia

La figura 5.46 nos presenta los años de precipitación máxima anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Huallaga.

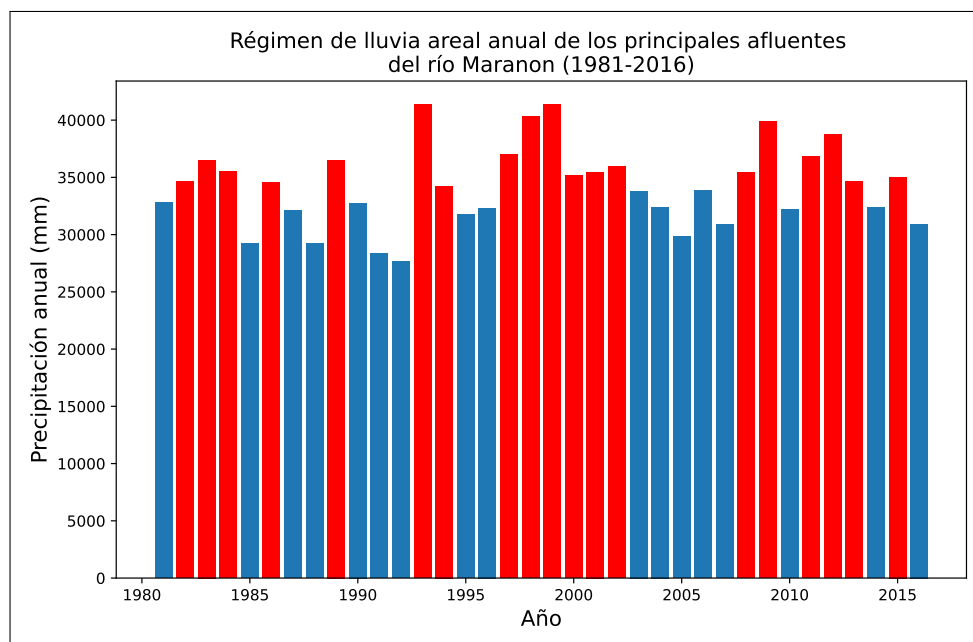
FIGURA N° 5.46: Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Huallaga



Nota: Elaboración propia

La figura 5.47 nos presenta los años de precipitación máxima anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Marañón.

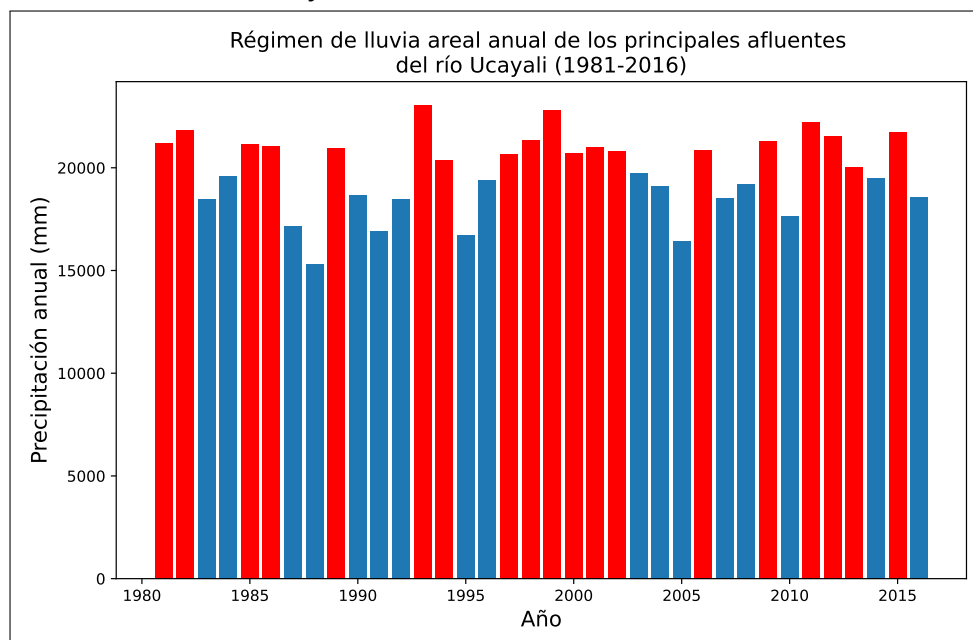
FIGURA N° 5.47: Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Marañón



Nota: Elaboración propia

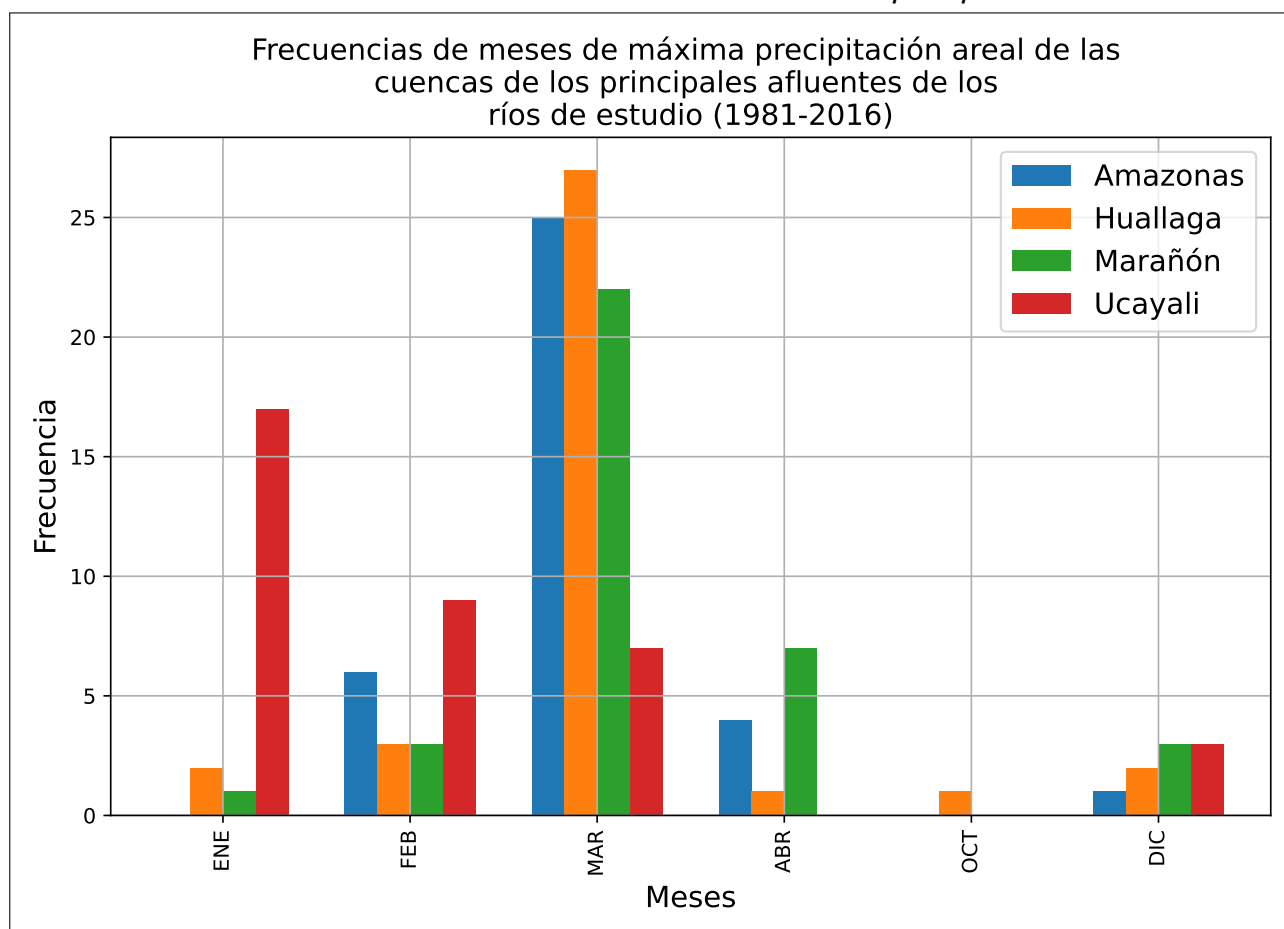
La figura 5.48 nos presenta los años de precipitación máxima anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Ucayali.

FIGURA N° 5.48: Años de máxima precipitación anual areal de las cuencas de drenaje de los principales afluentes del río Ucayali



Nota: Elaboración propia

La figura 5.49 nos presenta las frecuencias de los meses en los que se presentan precipitaciones máximas en las cuencas de drenaje de los principales afluentes de los ríos de estudio, evaluados para el periodo de tiempo desde 1981 hasta 2016.

FIGURA N° 5.49: *Frecuencia de los meses de máxima precipitación areal*

Nota: Elaboración propia

La tabla 5.20 nos presenta los años de máxima precipitación por cada río de estudio obtenidos en las figuras 5.45, 5.46, 5.47 y 5.48. Asimismo, nos muestra los años en que se presentaron los fenómenos del niño y la niña, e indica sus respectivas intensidades de ocurrencia para esos años.

TABLA N° 5.20: *Relación entre los años de precipitación anual máxima y los años del fenómeno del Niño y de la Niña*

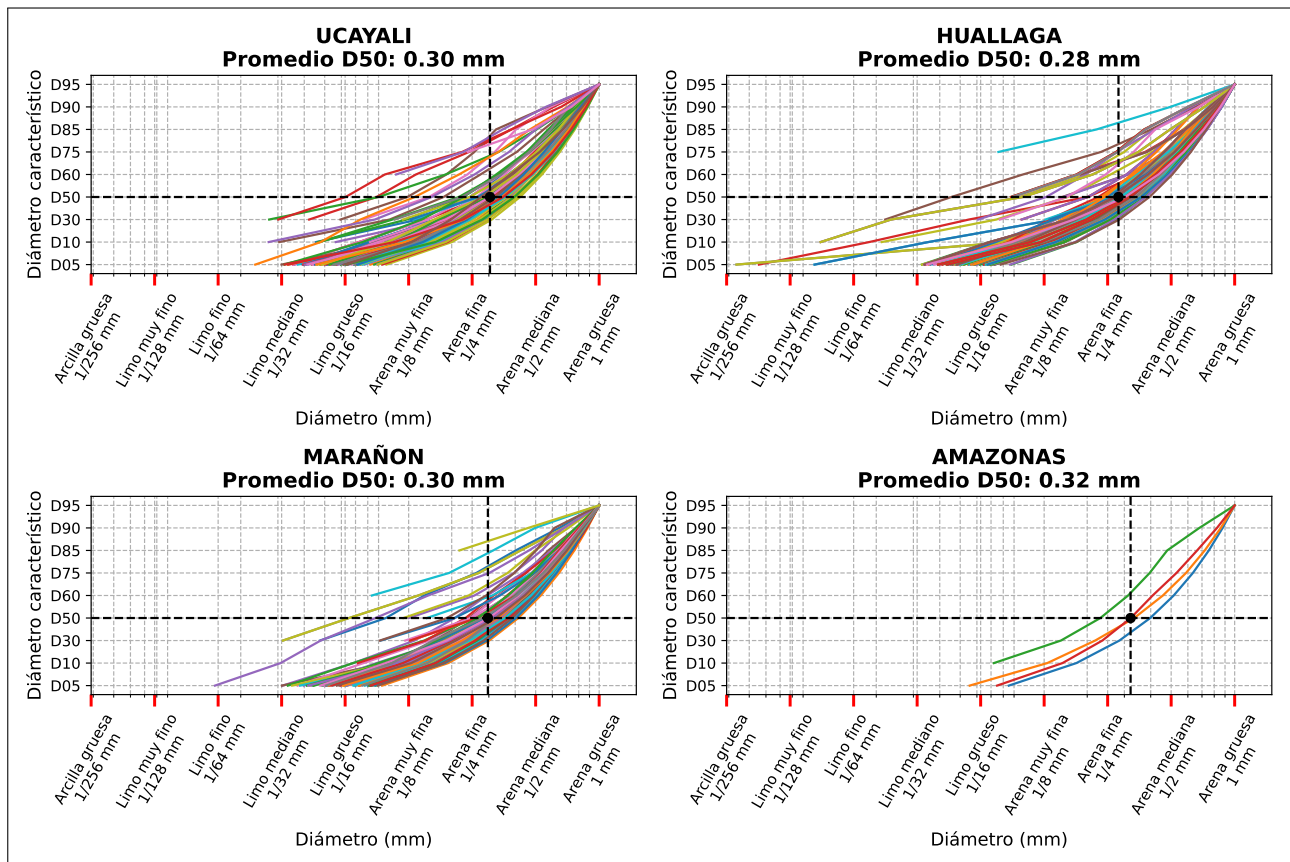
Años	Ucayali	Huallaga	Marañón	Amazonas	Intensidad de fenómeno de niño	Intensidad de fenómeno de la niña
1981	X			X		
1982	X	X	X	X	Extraordinario	
1983			X	X	Extraordinario	
1984		X	X			
1985	X					Moderado
1986	X		X		Moderado	
1987					Moderado	
1988						Moderado
1989	X		X	X		
1990						
1991					Moderado	
1992					Moderado	
1993	X	X	X	X	Moderado	
1994	X	X	X		Debil	
1995					Debil	
1996						Moderado
1997	X		X	X	Extraordinario	
1998	X	X	X	X	Extraordinario	
1999	X	X	X	X		
2000	X	X	X			
2001	X	X	X	X		Debil
2002	X		X	X	Debil	
2003		X		X		
2004				X		
2005						
2006	X	X		X	Debil	
2007						Moderado
2008		X	X		Debil	
2009	X	X	X	X	Debil	
2010						Moderado
2011	X	X	X	X		
2012	X	X	X	X	Debil	
2013	X	X	X	X		Fuerte
2014		X			Debil	
2015	X	X	X	X	Fuerte	
2016					Fuerte	

Nota: Elaboración propia

5.4.5 Hidroacústica

Dado que la herramienta ASET (Ruben et al., 2020) utiliza la técnica de retrodispersión acústica para obtener la distribución de SSC en secciones a partir de datos medidos por ADCP, la cual fue desarrollada para ríos de lecho de arena, como se menciona en Szupiany et al. (2019), en la figura 5.50 se muestran las curvas granulométricas del sedimento del lecho. Aquí se aprecia que el sedimento predominante en los ríos de estudio corresponde a arena fina, lo cual verifica el uso de la herramienta ASET (Ruben et al., 2020) en los ríos de estudio.

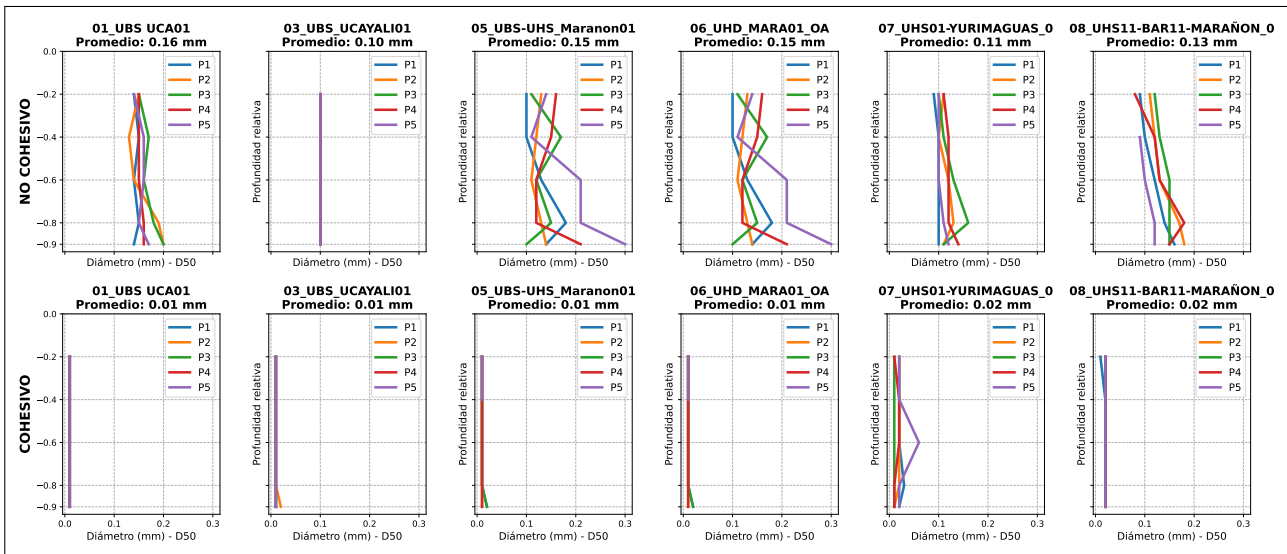
FIGURA N° 5.50: Curvas de distribución granulométrica de sedimentos de lecho



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

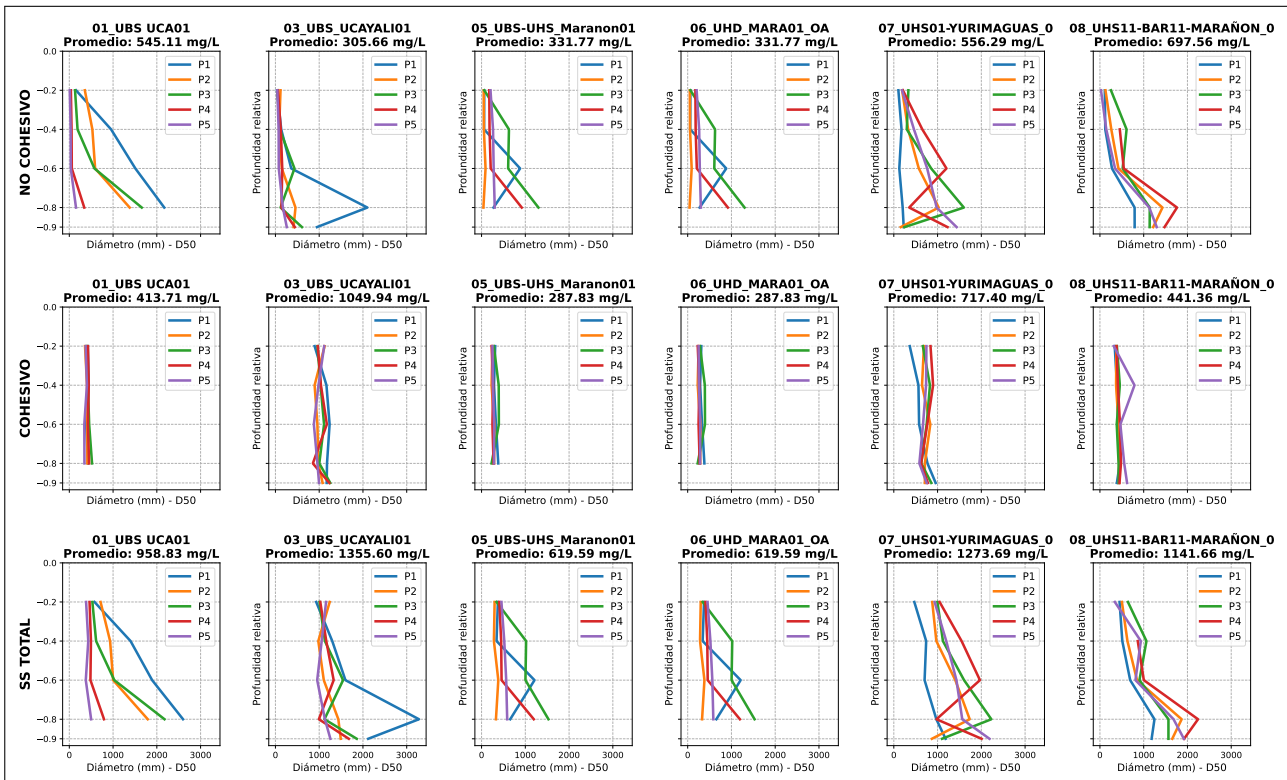
A continuación, a partir del análisis sedimentológico de las muestras de sedimentos suspendidos en las secciones donde se midió retrodispersión acústica, se obtuvo la distribución en vertical del diámetro característico D50 y la SSC para cada eje de cada sección medida. Estos resultados se presentan en las figuras 5.51 y 5.52.

FIGURA N° 5.51: Distribución en vertical del diámetro medio (D50) de los diferentes ejes con medición backscatter por cada profundidad relativa



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

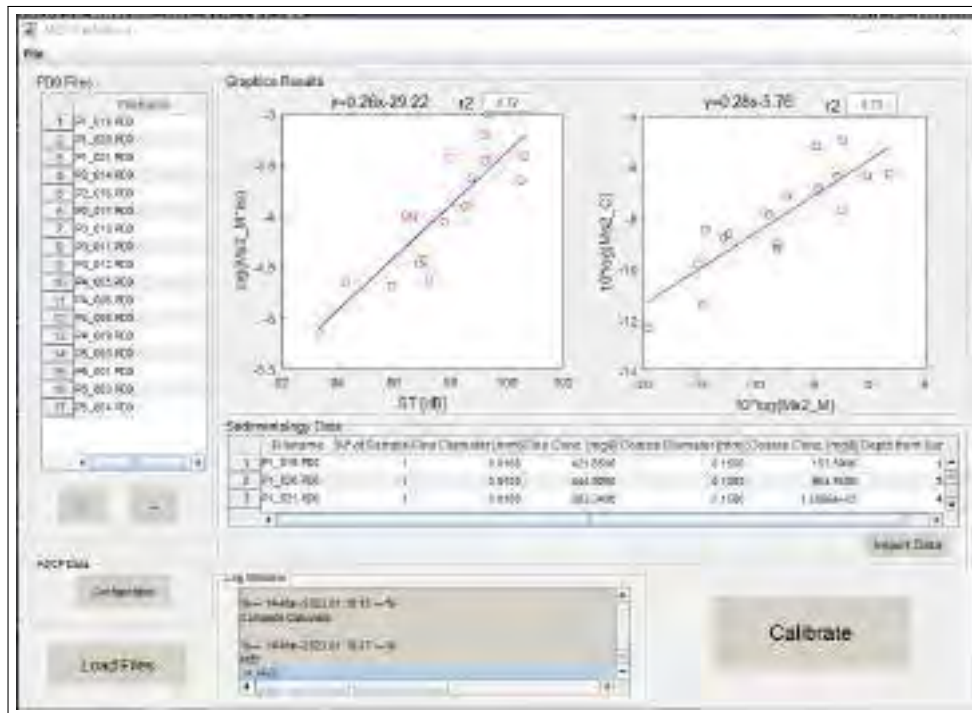
FIGURA N° 5.52: Distribución en vertical de SSC de los diferentes ejes con medición backscatter por cada profundidad relativa



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos de SS obtenidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

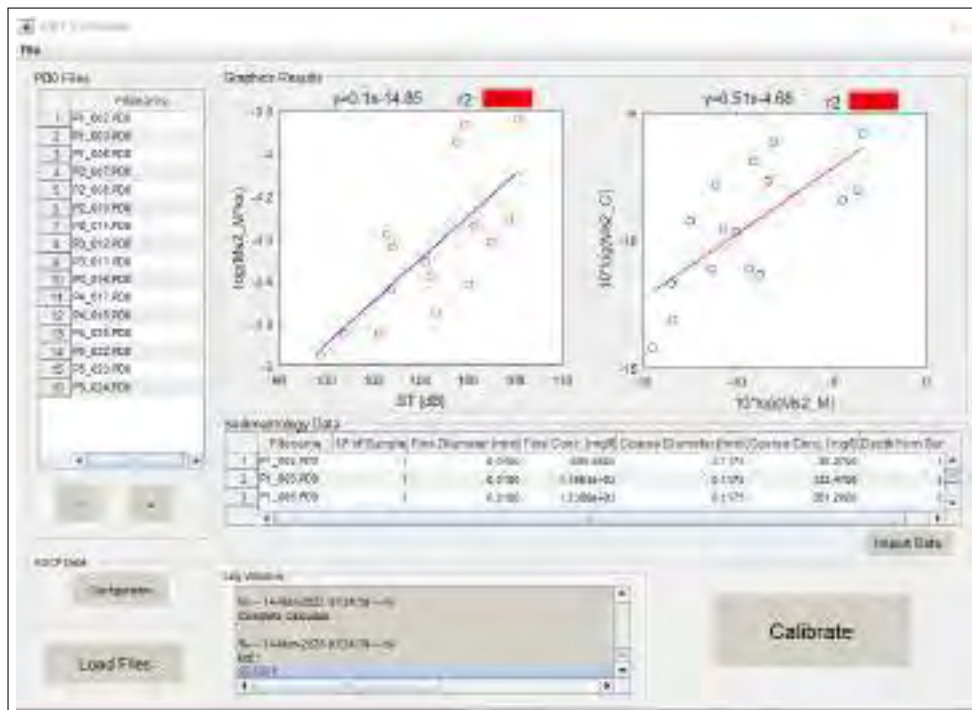
Las figuras 5.53, 5.54, 5.55, 5.56 y 5.57 presentan los resultados de la calibración de retrodispersión acústica. Las secciones que se pudieron calibrar son aquellas que presentan una mayor relación entre los valores de retrodispersión acústica y los valores de SSC.

FIGURA N° 5.53: Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 01_UBS UCA01



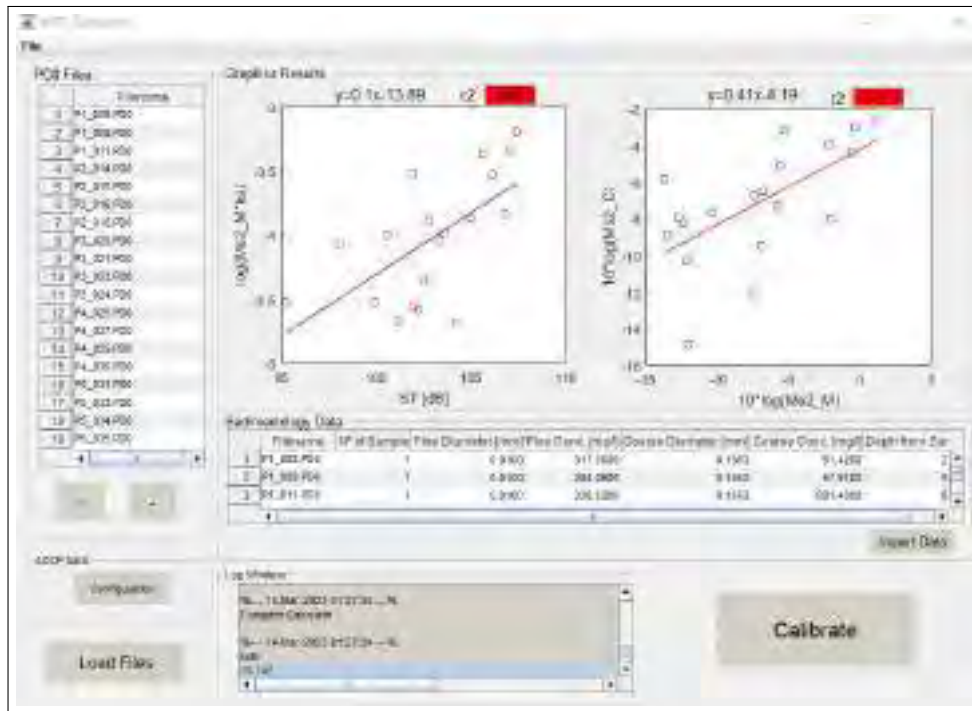
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.54: Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 03_UBS UCAYALI01



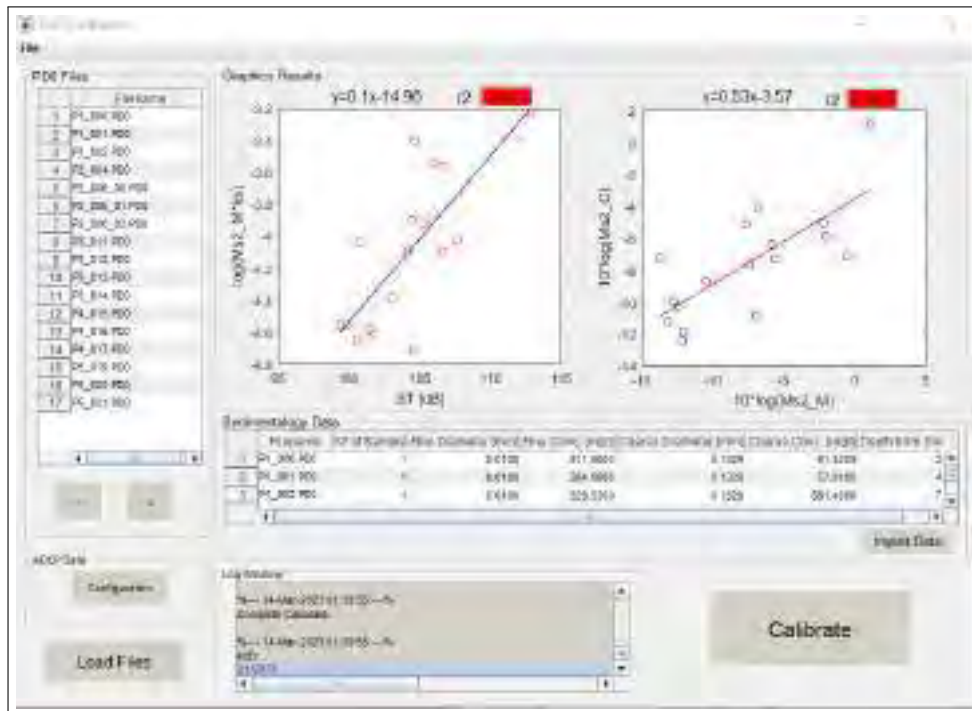
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.55: Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 05_UBS-UHS_Maranon01



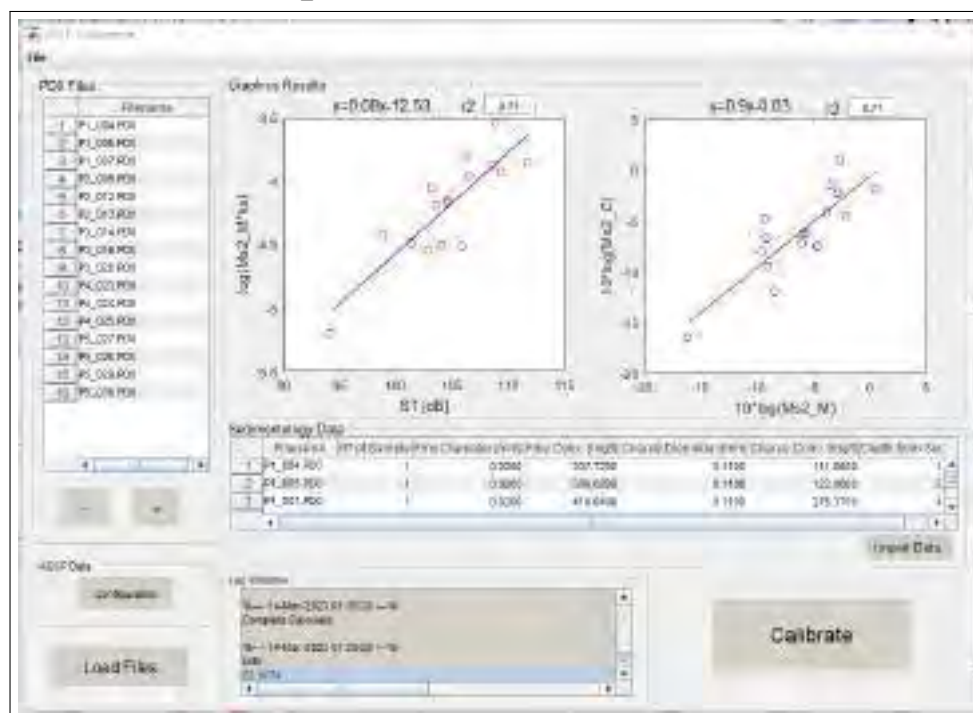
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.56: Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 06_UHD_MARA01_OA23112019_0



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.57: Relación de datos de sedimentos suspendidos medidos y backscatter, Sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

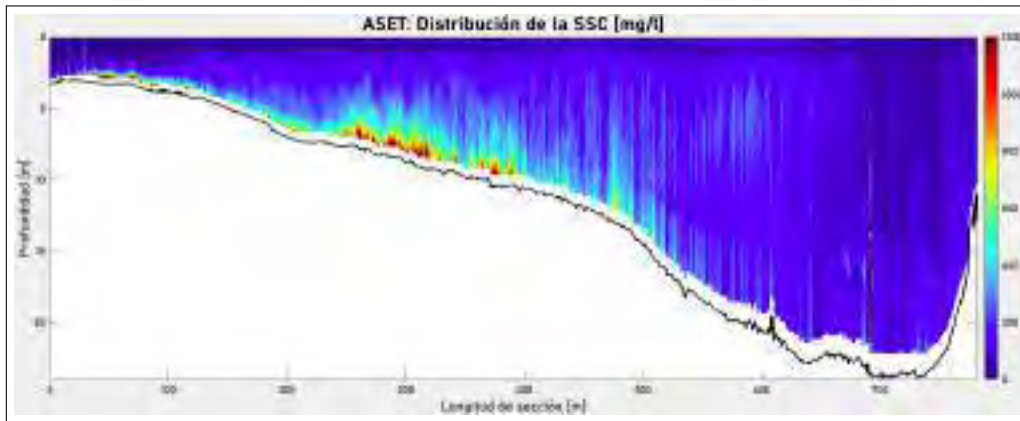
La figura 5.58 nos muestra en qué secciones se obtuvo una calibración óptima y también presenta la concordancia de fechas entre la medición de backscatter y la fecha de muestreo de sedimentos.

FIGURA N° 5.58: Resumen de calibración de secciones estáticas de backscatter

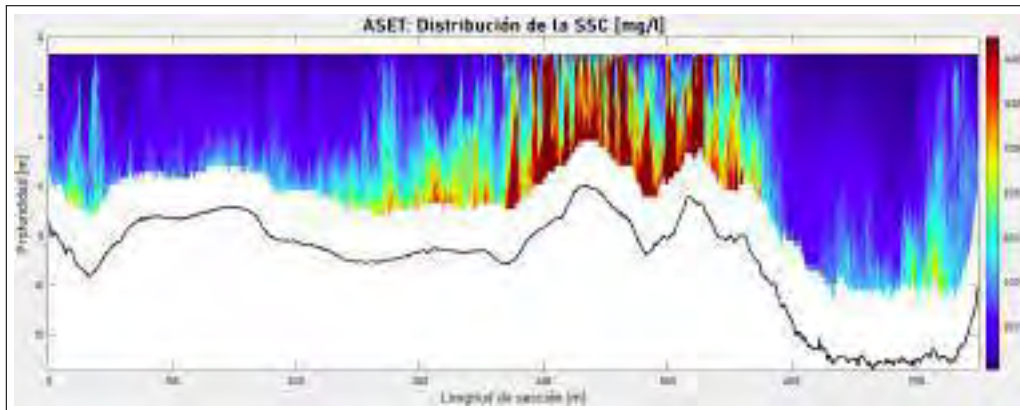
ID	Sección backscatter estática usada para la calibración	Fecha de medición de sección backscatter estático	Fecha de muestreo de sedimentos	Calibración óptima
1	UBS UCA01	2019-11-24	2019-11-24	✓
3	UBS_UCAYALI01	2019-02-21	2019-02-21	
5	UBS-UHS_Maranon01	2019-02-23	2019-02-25	
6	UHD_MARA01_OA23112019_0	2019-11-25	2019-11-25	
7	UHS01-YURIMAGUAS_0	2019-05-03	2019-05-03	
8	UHS11-BAR11-MARAÑON_0	2019-05-19	2019-05-19	✓

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Las figuras 5.59 y 5.60 nos presentan la distribución de SSC en las secciones donde se obtuvo una calibración óptima. Esto se logró mediante la conversión de los valores de retrodispersión acústica a valores de SSC una vez obtenida la calibración adecuada.

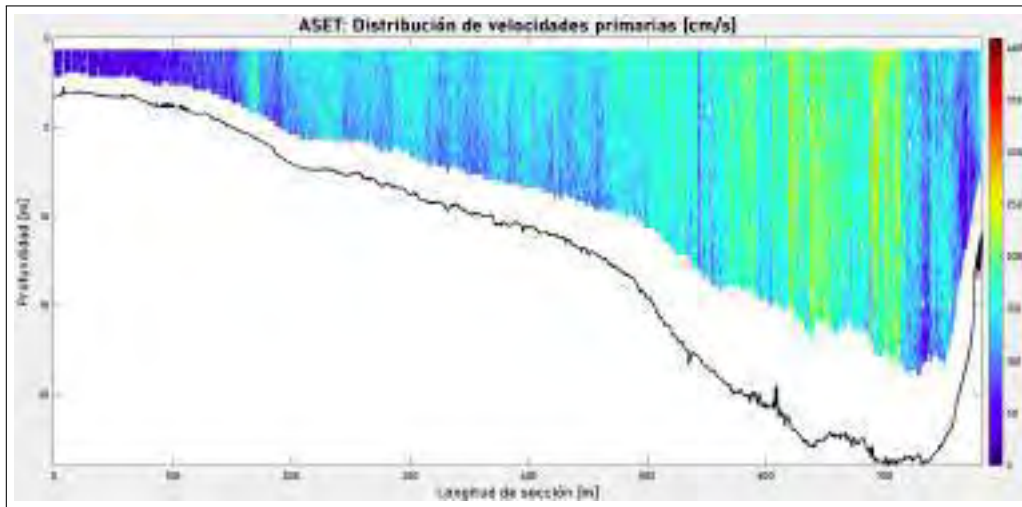
FIGURA N° 5.59: *Distribución de SSC a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01*

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

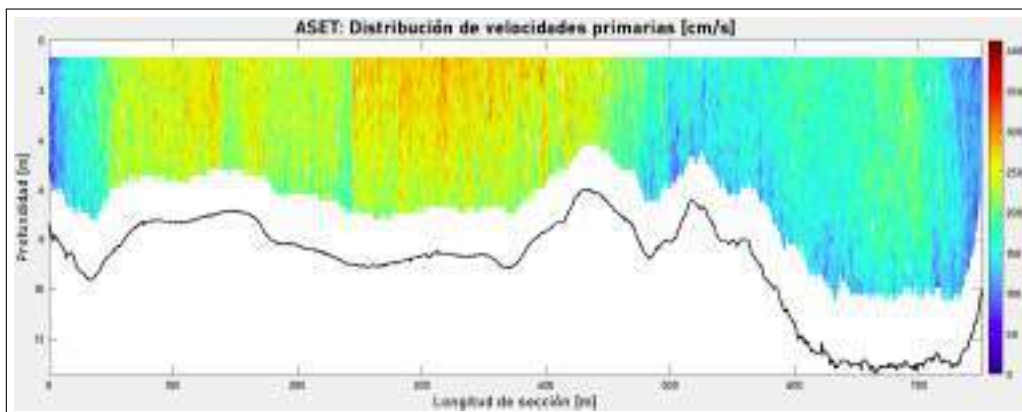
FIGURA N° 5.60: *Distribución de SSC a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0*

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Asimismo, las figuras 5.61 y 5.62 nos muestran la distribución del patrón de velocidades de las secciones para las cuales se obtuvo una adecuada calibración. Esto es posible debido a que la herramienta ASET (Ruben et al., 2020) utiliza los datos crudos de retrodispersión acústica, los cuales no solo miden SSC sino que también miden la velocidad de las partículas de sedimentos, lo cual es asumido como la velocidad de movimiento del agua.

FIGURA N° 5.61: *Distribución de velocidades a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01*

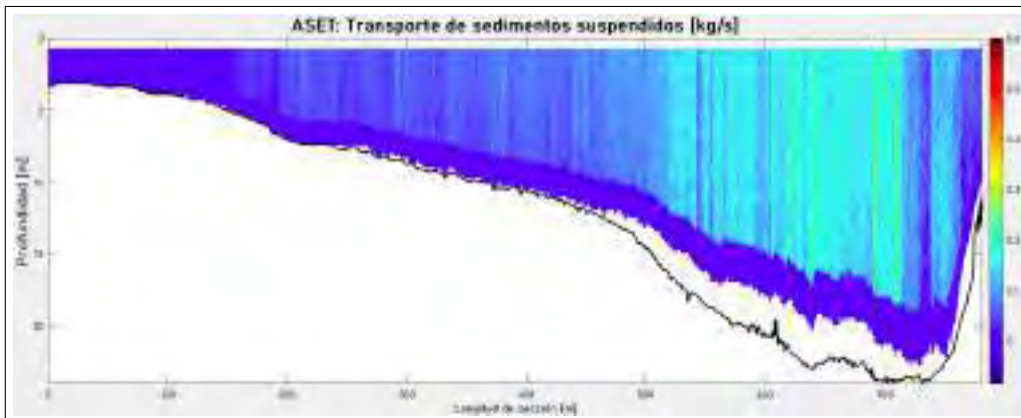
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.62: *Distribución de velocidades a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑÓN_0*

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Dado que la herramienta ASET (Ruben et al., 2020) obtiene el patrón de velocidades en sección y la distribución detallada de la SSC, permite calcular el transporte de sedimentos para cada valor de celda de la medición en sección. Este cálculo se presenta de forma gráfica en las figuras 5.63, 5.65 y de forma numérica en las figuras 5.64 y 5.66.

FIGURA N° 5.63: *Distribución de transporte de sedimentos suspendidos a lo largo de la sección: 01_UBS UCA01*



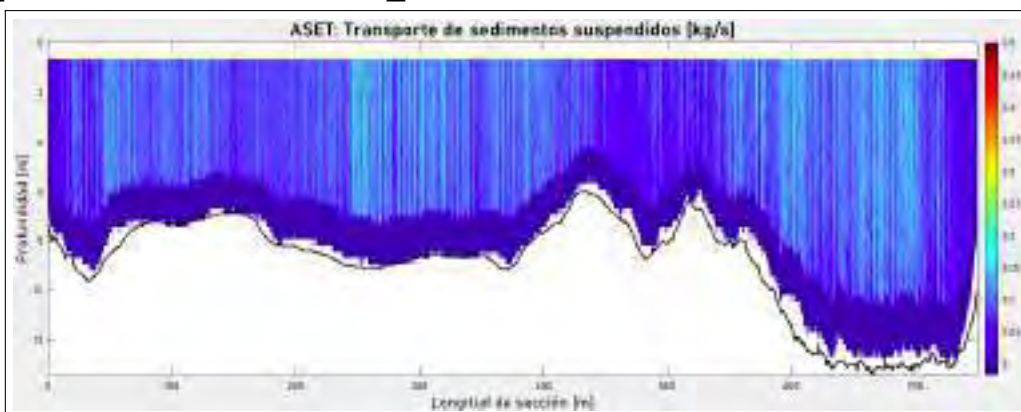
Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.64: *Cálculo de transporte de sedimentos suspendidos, sección: 01_UBS UCA01*

Results	
Qsss Surface [kg/s]	0
Qssm Measured [kg/s]	1783.07
Qssb Bottom [kg/s]	0
Qss Total [kg/s]	1783.07
Qw Total [kg/s]	3920.96
Total Discharge [m3/s]	9653.16

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.65: *Distribución de transporte de sedimentos suspendidos a lo largo de la sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑÓN_0*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

FIGURA N° 5.66: *Cálculo de transporte de sedimentos suspendidos, sección: 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0*

Results	
Qsss Surface [kg/s]	0
Qssm Measured [kg/s]	4201.16
Qssb Bottom [kg/s]	0
Qss Total [kg/s]	4201.16
Qw Total [kg/s]	3937.37
Total Discharge [m3/s]	9122.54

Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

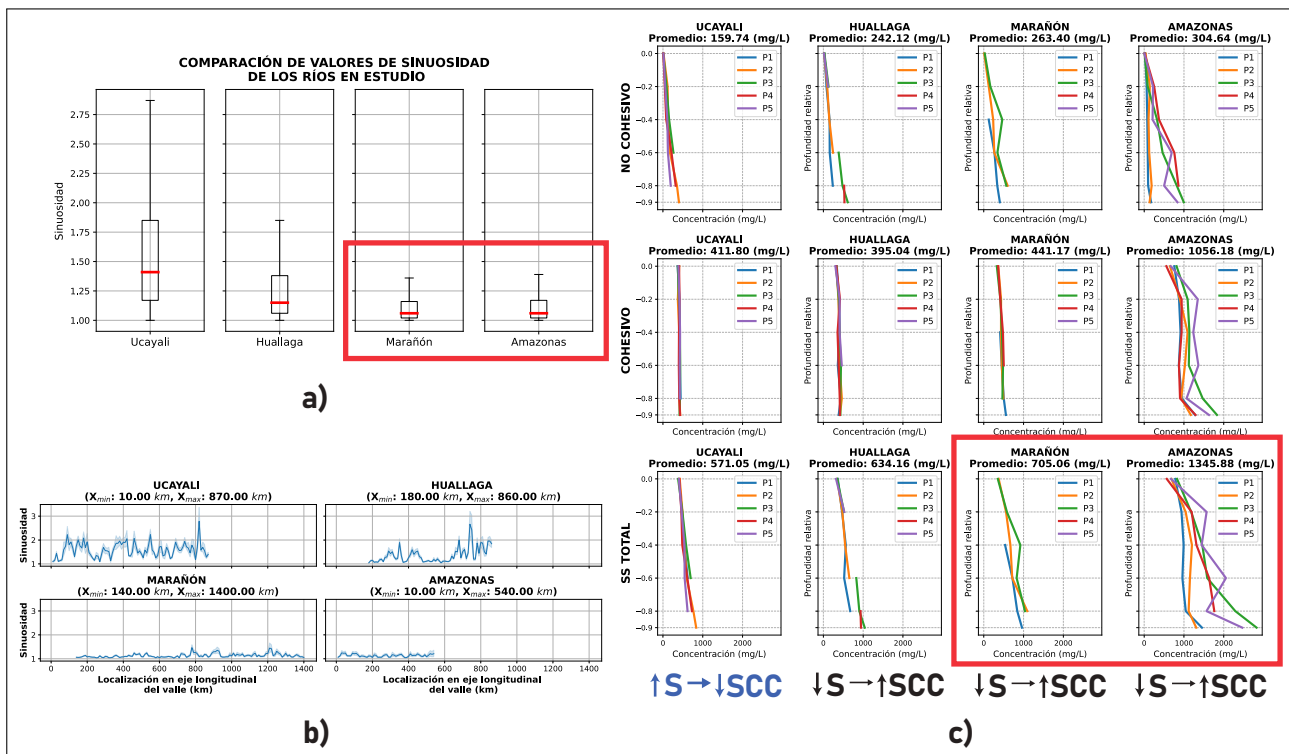
CAPÍTULO VI: DISCUSIONES

6.1 MORFOLOGÍA FLUVIAL

La concentración de sedimentos suspendidos en un río puede verse influenciada por varios factores, como la geología y la topografía de la cuenca hidrográfica, la tasa de sedimentación, el clima, la vegetación, la actividad humana y la hidrología del río.

A partir de los resultados obtenidos de la sinuosidad y la concentración de sedimentos en la figura 6.1a, podemos observar que los ríos que presentan mayor sinuosidad son los ríos Ucayali y Huallaga. Esto se debe específicamente a que estos ríos son meándricos, mientras que los ríos Marañón y Amazonas son ríos anabranching, los cuales se caracterizan por presentar menor dinamismo. Asimismo, podemos observar en la figura 6.1b que, a pesar de que los ríos Ucayali y Huallaga poseen mayor sinuosidad, presentan valores medidos de menor concentración de sedimentos suspendidos. Esto nos indica que la sinuosidad influye en la deposición de sedimentos y la creación de meandros, lo cual es generado por una disminución de la velocidad del río en algunos tramos y, por tanto, una disminución en la capacidad del río para transportar sedimentos. Las figuras 6.1b y 6.1c nos indican que, a pesar de que los ríos Ucayali y Huallaga son meándricos debido a su alta sinuosidad y son comparables en longitud de su eje de valle, es el río Huallaga el que presenta los datos de mayor concentración de sedimentos debido a que la alta sinuosidad genera una disminución en la capacidad del río para transportar sedimentos.

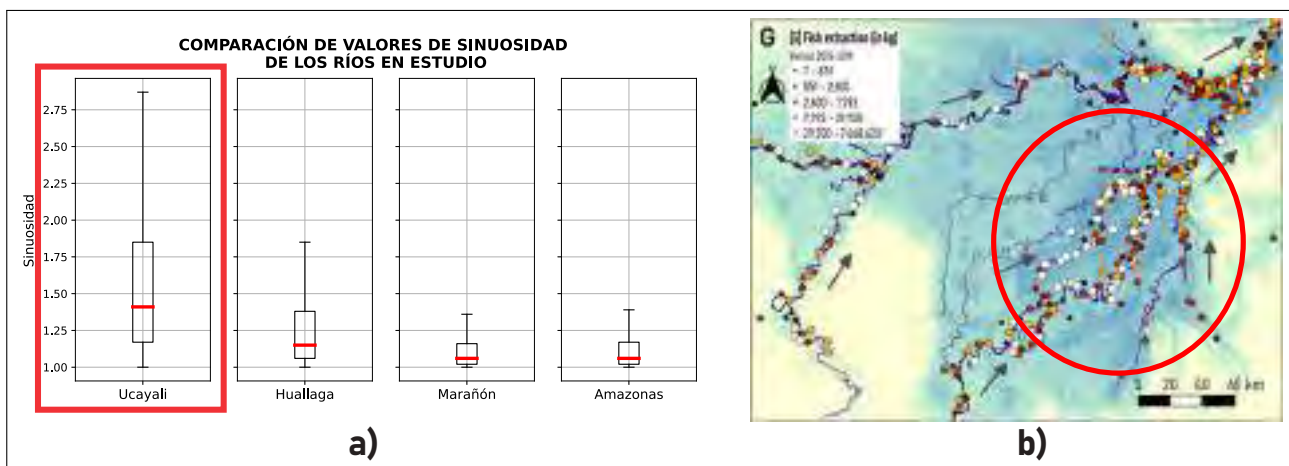
FIGURA N° 6.1: Influencia de la variable morfológica sobre la SSC



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Un indicador clave de la disminución de la pérdida de capacidad de transporte de sedimentos como producto de la alta sinuosidad es la biodiversidad, ya que los sedimentos transportan nutrientes que favorecen la proliferación de la vida acuática. Como se puede observar en las figuras 6.2a y 6.2b, la mayor sinuosidad del río Ucayali hace que las zonas de mayor producción pesquera se encuentren en dicho río. Esto corrobora los datos de valores bajos de concentración de sedimentos medidos y afirma lo mencionado líneas arriba.

FIGURA N° 6.2: Influencia de la sinuosidad en la deposición de sedimentos y biodiversidad acuática

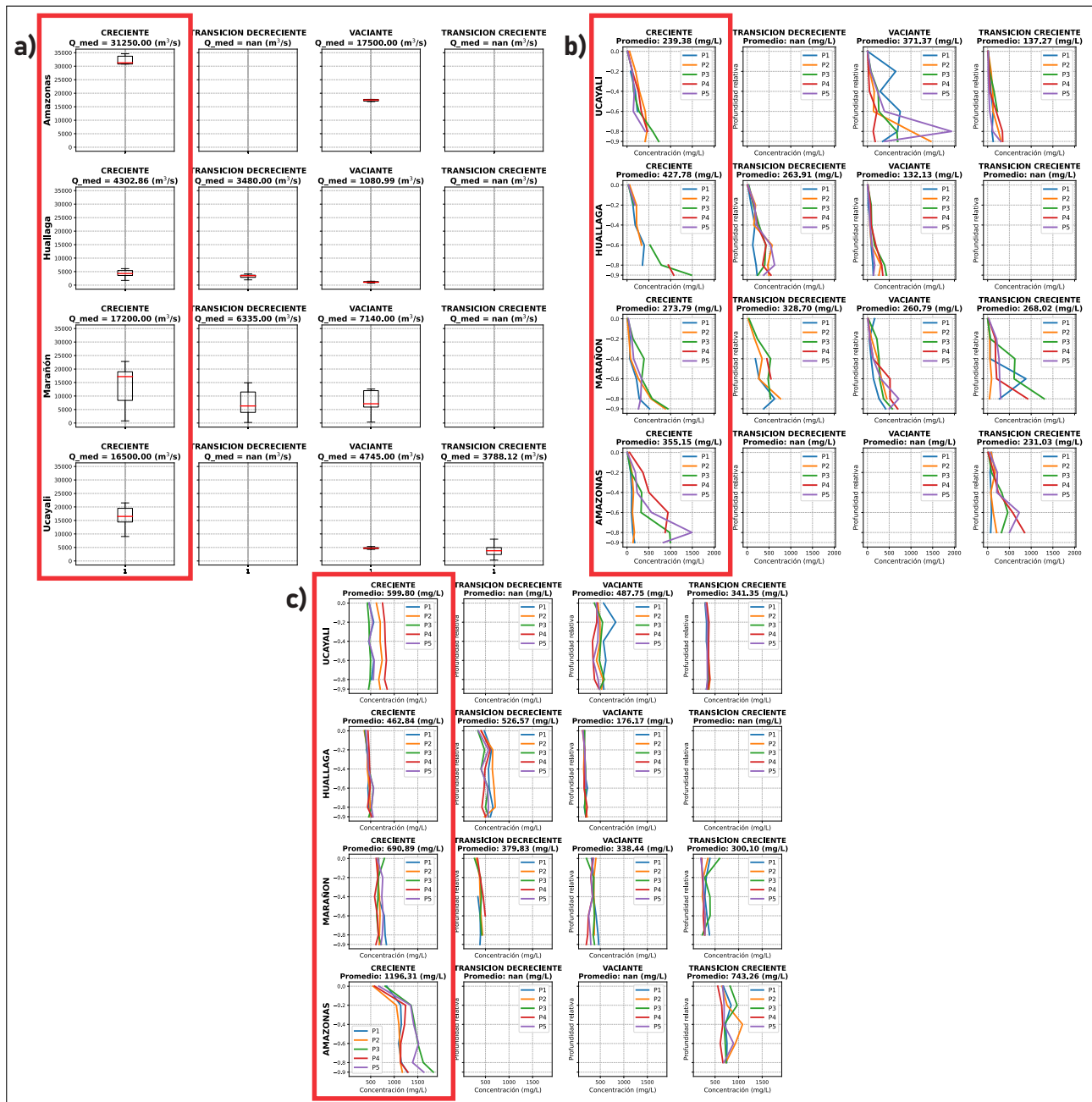


Nota: Adaptado de Rojas, Abad, Roque, Latrubesse, y Shan (2023), "Las dinámicas fluviales libres y carroñeras dominan la gran estructura del humedal amazónico Pacaya-Samiria" (p.3)

6.2 HIDRODINÁMICA

Los resultados de las mediciones de caudales y concentración de sedimentos presentados en las figuras 6.3a, 6.3b y 6.3c nos muestran que el caudal es una variable que influye en la dinámica de la concentración de sedimentos suspendidos tanto para cohesivos como para no cohesivos, ya que para valores altos de caudal la concentración de sedimentos suspendidos también es alta, lo cual indica que son directamente proporcionales, como se evidencia en los resultados.

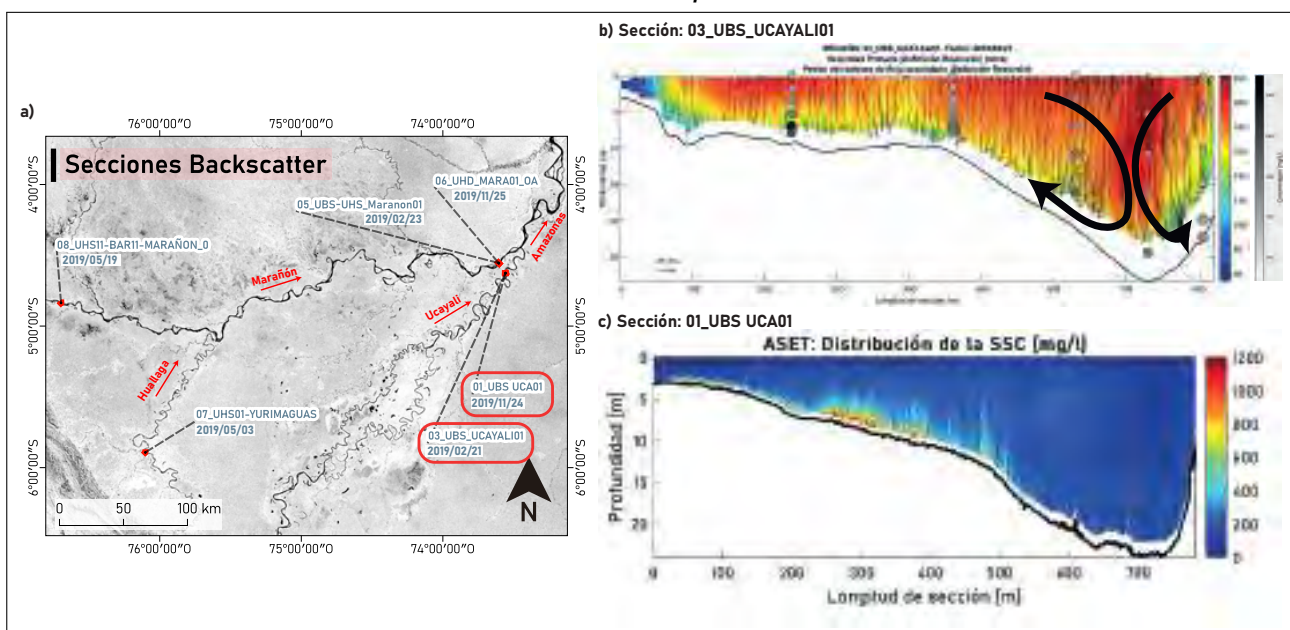
FIGURA N° 6.3: *Influencia de la variable hidrodinámica sobre la SSC*



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

En la figura 6.4a se puede observar que las secciones de backscatter "01_UBS UCA01" y "03_UBS_UCAYALI01" corresponden a la misma sección, pero en diferentes períodos de tiempo, ya que corresponden al régimen fluvial creciente y de transición creciente, respectivamente. Debido a esta cercanía en cuanto a su régimen fluvial de muestreo, son comparables en cuanto al patrón de flujo de velocidades primarias y secundarias. Como se evidencia en la figura 6.4b, las mayores velocidades tanto del flujo primario como del secundario se encuentran en la columna correspondiente a la zona más profunda de la sección, asimismo podemos apreciar que el patrón de vectores de flujo secundario causa la redistribución de la concentración de sedimentos desde la zona de mayor profundidad hacia la zona de menor profundidad, tal como se puede apreciar en la concentración de las muestras de sedimentos suspendidos puntuales de la figura 6.4b. Si se compara con la distribución de concentraciones obtenidas a partir de la retrodispersión acústica (figura 6.4c), se verifica la distribución de concentración de sedimentos suspendidos es mayor en la zona de la sección que posee menor flujo de velocidades primarias y secundarias. Esto verifica la influencia de las velocidades primarias y secundarias sobre la distribución de concentración de sedimentos suspendidos a lo largo de las secciones transversales de los ríos.

FIGURA N° 6.4: *Influencia del patrón de velocidades primarias y secundarias del flujo sobre la distribución de concentración de sedimentos suspendidos en la sección transversal*

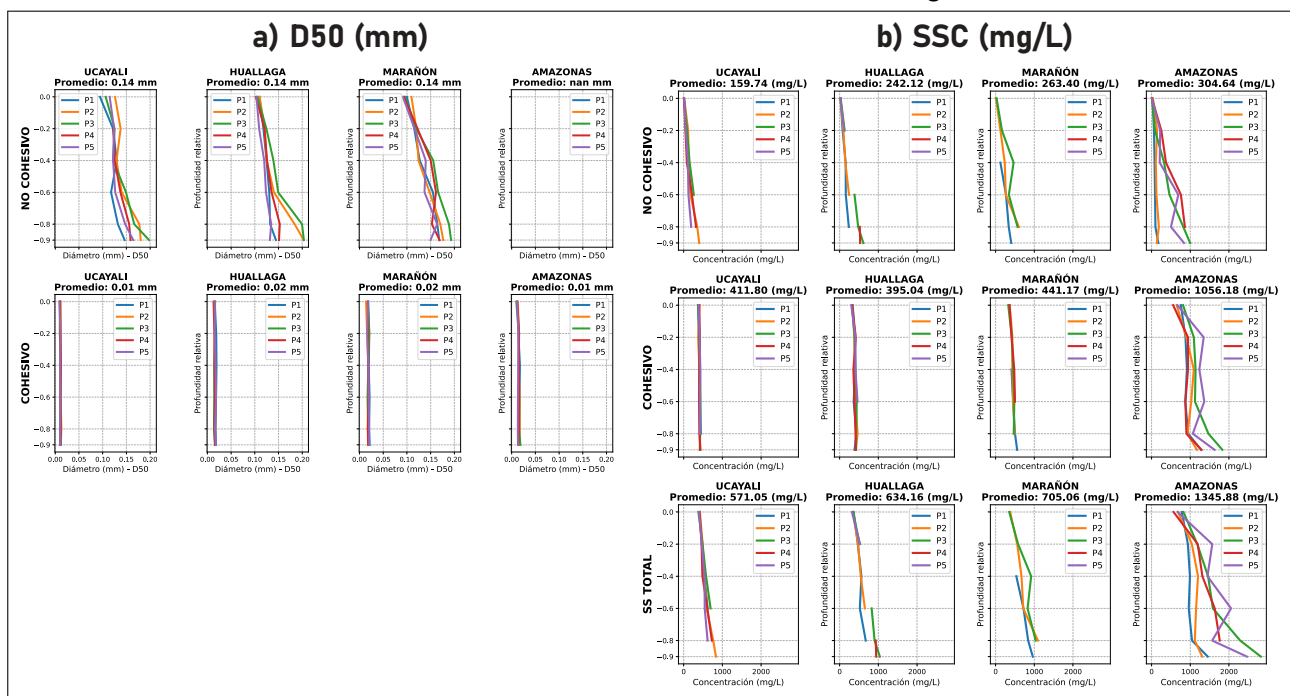


Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

6.3 SEDIMENTOLOGÍA

Las figuras 6.5a y 6.5b nos presentan la distribución de diámetros medios D50 y la concentración de sedimentos suspendidos para los ríos de estudio, dichos resultados nos evidencian que existe influencia entre la distribución de diámetros y concentración de sedimentos suspendidos. Los gráficos nos indican que conforme se incrementan en profundidad los diámetros de sedimentos no cohesivos el valor de su respectiva concentración también aumenta, asimismo se evidencia que el sedimento cohesivo se presenta casi constante en profundidad tanto en su diámetro medio como en su concentración. Éstos resultados verifican la teoría de distribución de sedimentos mencionado por Garcia (2008).

FIGURA N° 6.5: *Influencia de las características sedimentologicas sobre la SSC*

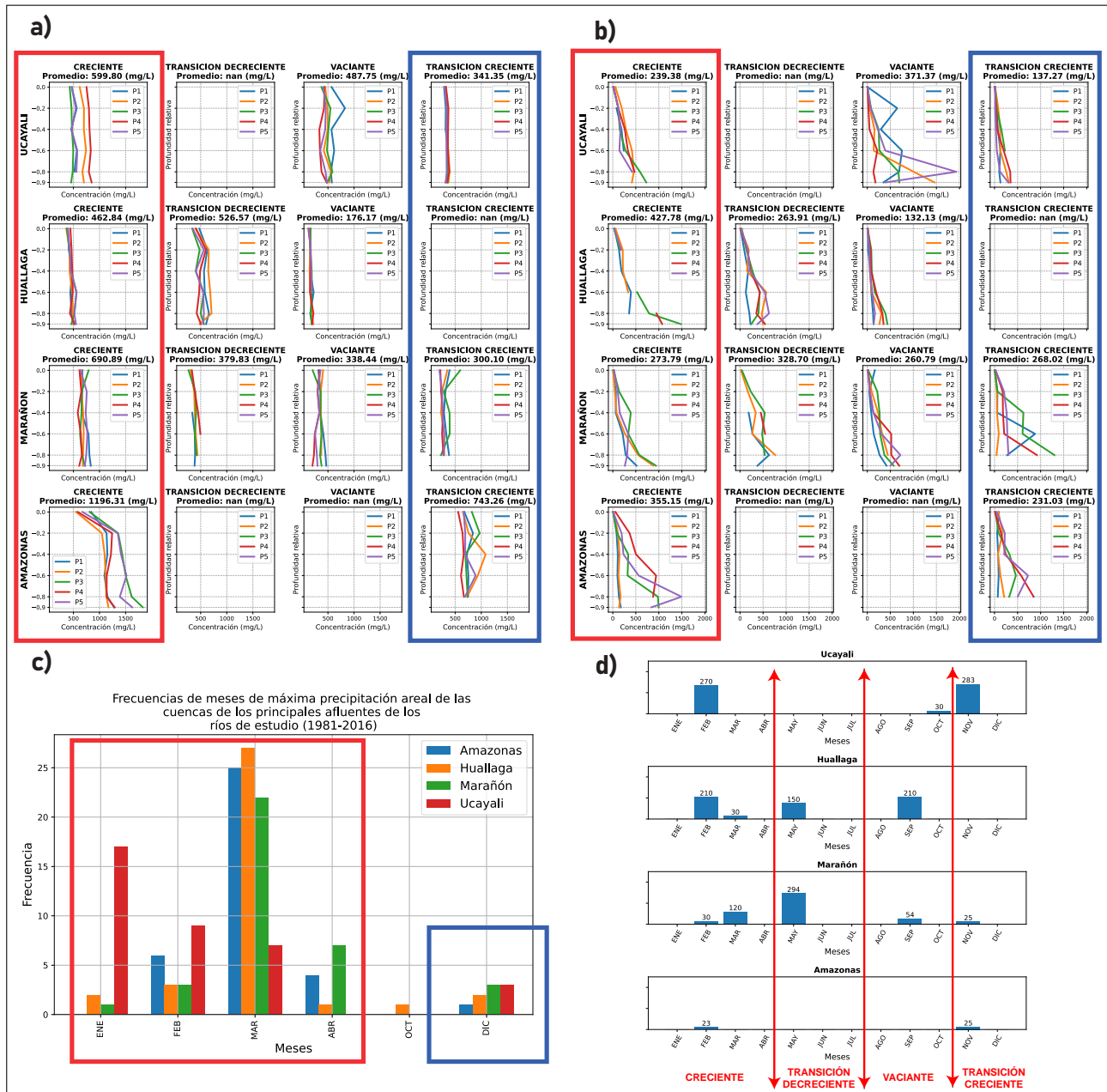


Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

6.4 RÉGIMEN DE LLUVIA

Las figuras 6.6a, 6.6b, 6.6c y 6.6d nos muestran la influencia del régimen de precipitación de los principales afluentes de los ríos de estudio sobre la concentración de sedimentos suspendidos. Se verifica que los meses con mayor precipitación, y por ende mayor aporte de caudal de los afluentes a los ríos de estudio, corresponden al régimen fluvial de creciente y transición creciente. Es en este régimen fluvial donde se obtienen los mayores valores de concentración de sedimentos suspendidos.

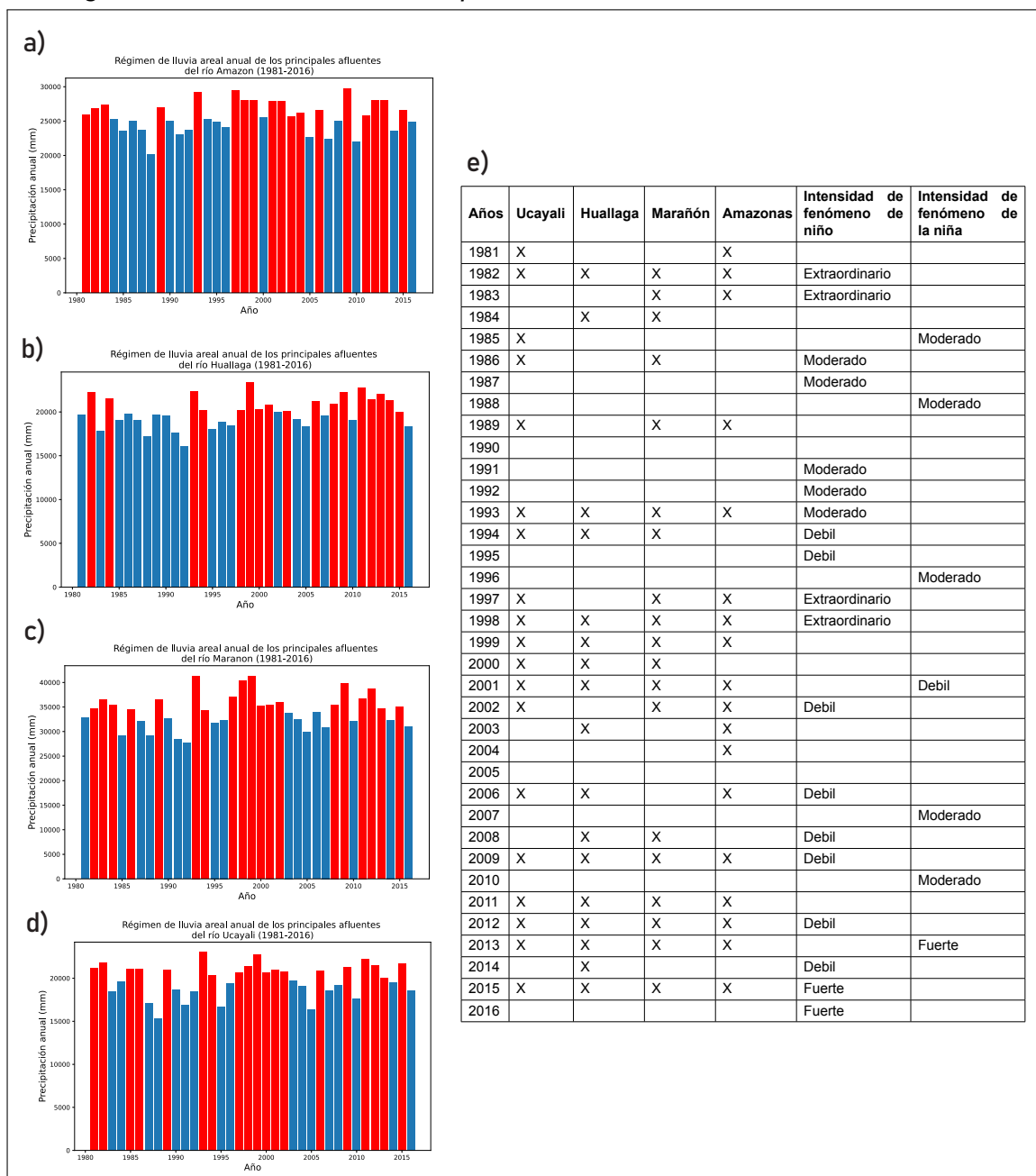
FIGURA N° 6.6: Influencia del régimen de lluvias sobre la SSC



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Con base en los resultados obtenidos de los años de máxima precipitación de los regímenes de lluvia, se evidencia una coincidencia entre los años de mayor régimen de lluvias en los principales afluentes y los años en que se presenta el fenómeno de El Niño, como se muestra en las figuras 6.7a-e. Esto indica su influencia sobre la Amazonía peruana, por lo tanto, es importante considerar dicho factor en el estudio de la dinámica de los sedimentos.

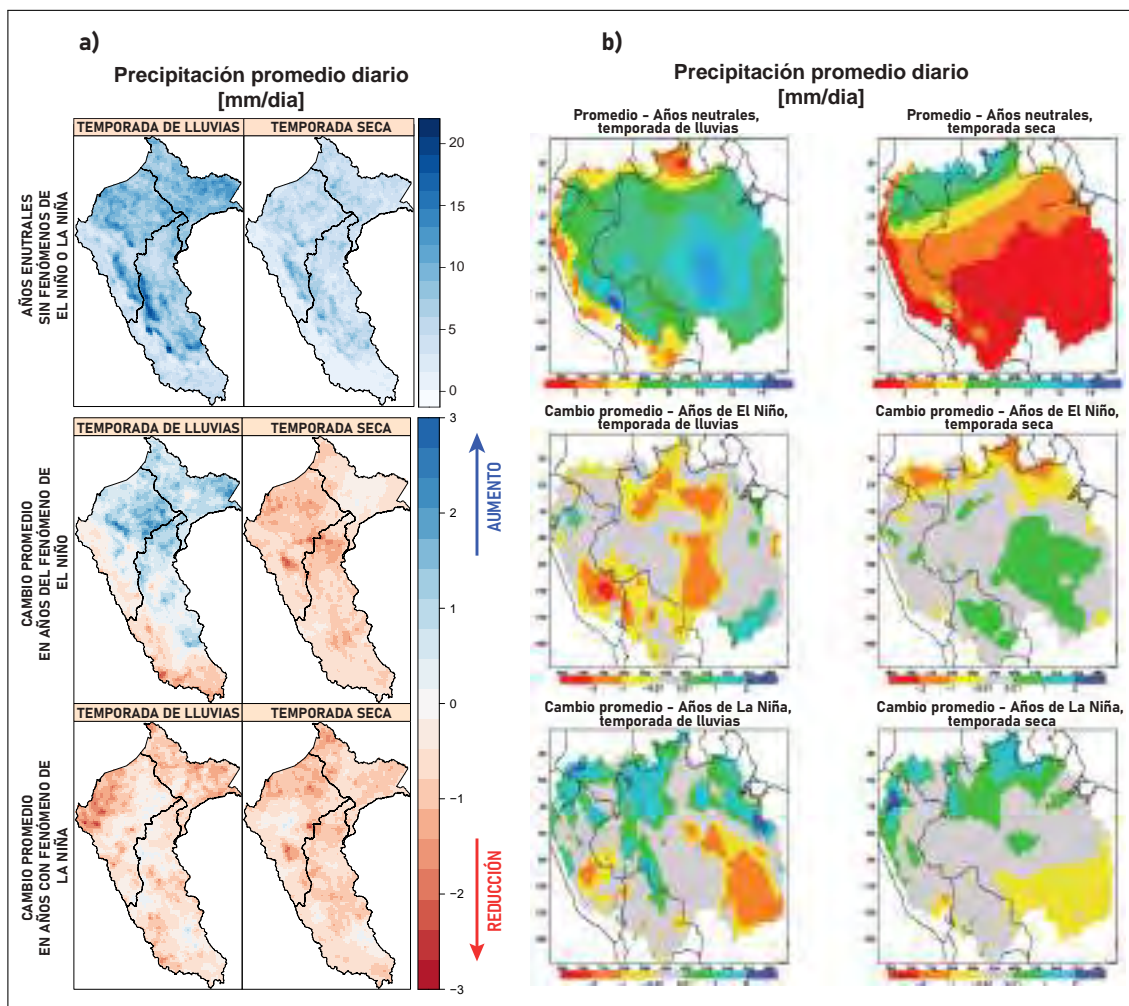
FIGURA N° 6.7: *Influencia de fenómenos climáticos (fenómeno del niño y fenómeno de la niña) sobre el régimen de lluvia en Amazonía peruana*



Nota: Elaboración propia a partir de datos del producto PISCO de SENAMHI (Aybar Camacho et al., 2017). Las intensidades de los eventos de El Niño y la Niña se obtuvieron del sitio web del Instituto Geofísico del Perú (http://met.igp.gob.pe/elniño/lista_eventos.html) y de las referencias presentadas en la tabla 5.19.

Realizando un análisis más detallado de lo presentado en la figura 6.7 en relación al área de estudio que corresponde a las cuencas de los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas. Se encontró que una de las investigaciones pioneras es la de [Foley, Botta, Coe, y Costa \(2002\)](#), titulada "La oscilación del Niño-Sur y el clima, los ecosistemas y los ríos de la Amazonía". Dicha investigación indica que los efectos de ENOS en la Amazonía están fuertemente asociados con importantes variaciones en el clima, los ecosistemas y los sistemas fluviales de la cuenca del Amazonas. Asimismo, menciona que durante los eventos de La Niña, la región experimenta una mayor precipitación que la normal, mientras que durante los eventos de El Niño, las precipitaciones totales disminuyen por debajo del promedio, como se muestra en la figura 6.8b. Además, se menciona que diferentes regiones de la Amazonía tienen su propia respuesta particular durante el ciclo de ENOS, lo cual se menciona para subsanar la baja resolución que se usó para dicho estudio, la cual afecta principalmente a zonas correspondientes a las partes altas de la cuenca, como el área correspondiente a Perú.

FIGURA N° 6.8: Comparación de las tendencias del régimen fluvial durante los años neutrales, El Niño y La Niña, tanto en las épocas lluviosas como en las épocas secas en la Amazonía peruana



Nota: Adaptado de [Foley et al. \(2002\)](#), "El Niño-Oscilación del Sur y el clima, los ecosistemas y ríos de la Amazonía" (p.21)

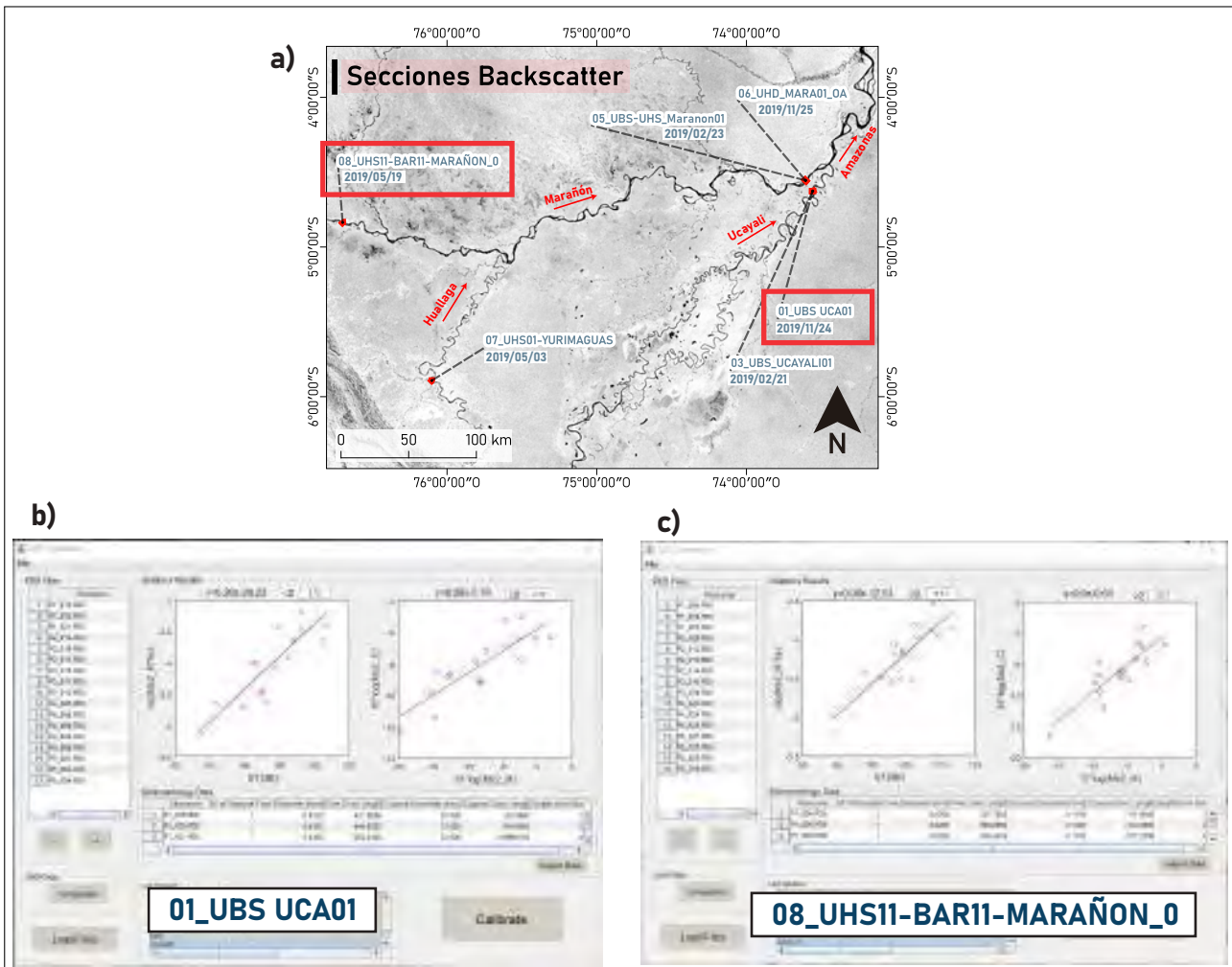
En la presente investigación, se ha utilizado el producto PISCO de SENAMHI para obtener y analizar los regímenes de lluvias areales. Este producto tiene una resolución de grilla de 5 km y cubre un periodo de datos diarios desde 1981 hasta 2016, lo cual ha permitido detectar la influencia del fenómeno de El Niño en la Amazonía peruana, como se evidencia en la figura 6.8a. A diferencia de la investigación de [Foley et al. \(2002\)](#), se ha detectado la influencia del fenómeno de El Niño debido a la mayor resolución, lo cual no pudo ser detectado por dicha investigación. Los datos usados por la investigación de [Foley et al. \(2002\)](#) tenían una resolución de 0.5° (55.7 km).

Los resultados del análisis del régimen fluvial corresponden a la figura 6.8a, donde se observa un aumento en la precipitación durante los años del fenómeno de El Niño en comparación con los años neutrales, es decir, aquellos en los que no ha ocurrido ningún fenómeno (niño ni niña) durante la temporada de lluvias. Además, se puede apreciar una disminución en la precipitación tanto durante la temporada de lluvias como la de sequía durante los años del fenómeno de La Niña.

6.5 HIDROACÚSTICA

Las figuras 6.9a, 6.9b y 6.9c nos presentan las únicas 2 secciones que se pudieron calibrar, ésto debido que el método para obtener la relación usada por la herramienta ASET (Ruben et al., 2021) es la regresión lineal simple la cual es sensible a valores atípicos. Es por eso que los datos de entrada que son datos de muestreo de sedimentos suspendidos y mediciones de retrodispersión estática deben ser coherente acorde la teoría de sedimentos presentado Garcia (2008). Asimismo se deben evitar valores dispersos que corresponden a eventos puntuales o esporádicos.

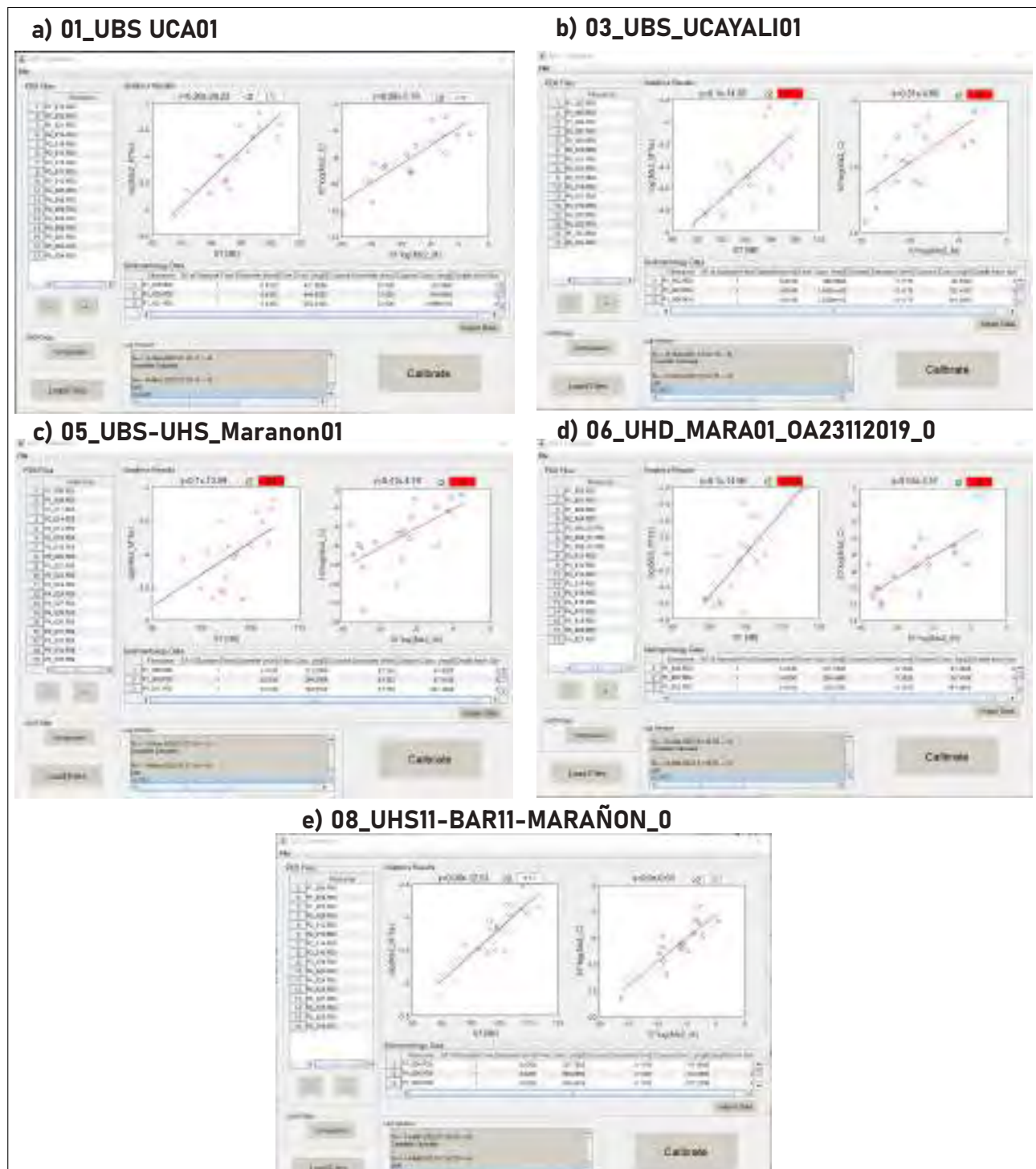
FIGURA N° 6.9: Secciones de backscatter de los cuales se obtuvo una adecuada calibración



Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

A continuación se presentan las demás calibraciones de las secciones de backscatter usados, tal como se menciona líneas arriba se tiene solo 2 secciones calibradas.

FIGURA N° 6.10: Resultados de calibración de todas las secciones de retrodispersión acústica medidas

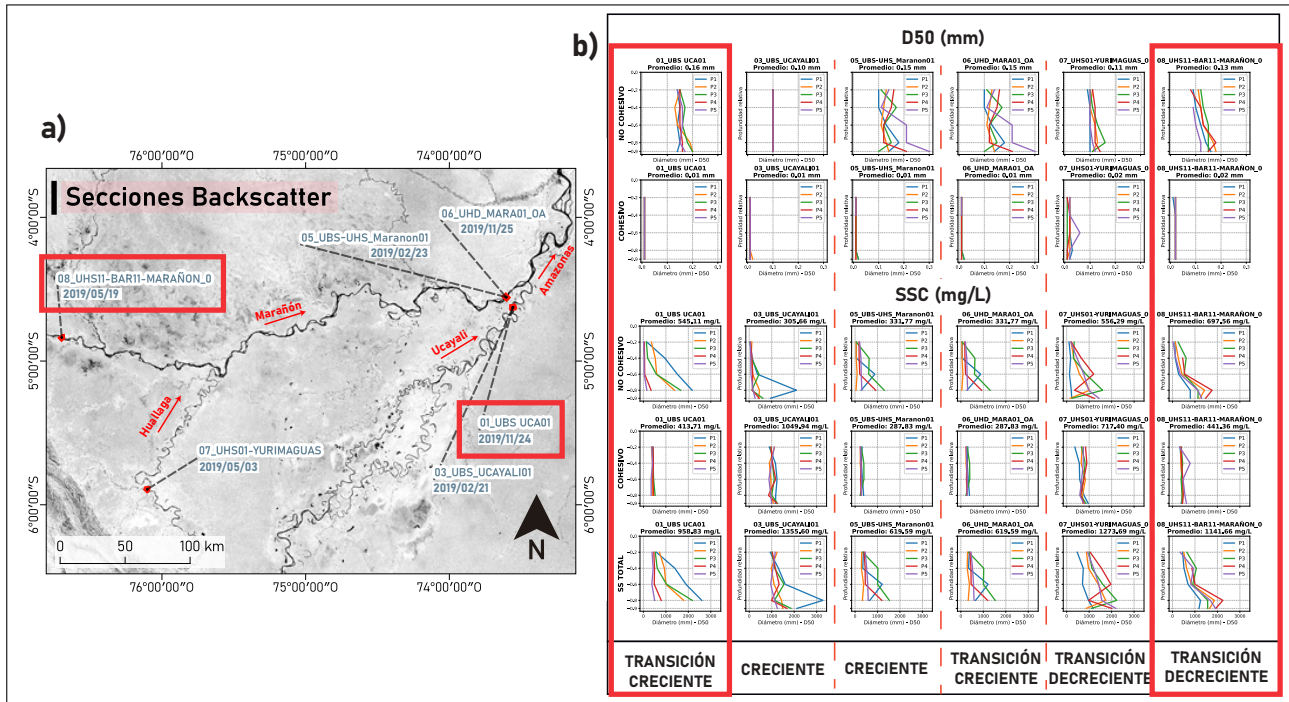


Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Las figuras 6.11a y 6.11b nos muestran que solamente las secciones 01_UBS UCA01 y 08_UHS11-BAR11-MARAÑON_0 presentan una distribución adecuada del diámetro medio (D50) y una concentración de sedimentos suspendidos adecuada, tanto para sedimentos cohesivos como no cohesivos. Además, se evidencia que los datos de retrodispersión acústica de estas secciones son homogéneos entre sí y coherentes en profundidad. Dichos datos

se presentan en el Anexo 09 debido a su gran cantidad.

FIGURA N° 6.11: Distribución de diámetro medio D50 y SSC de cada sección de retrodispersión acústica medida

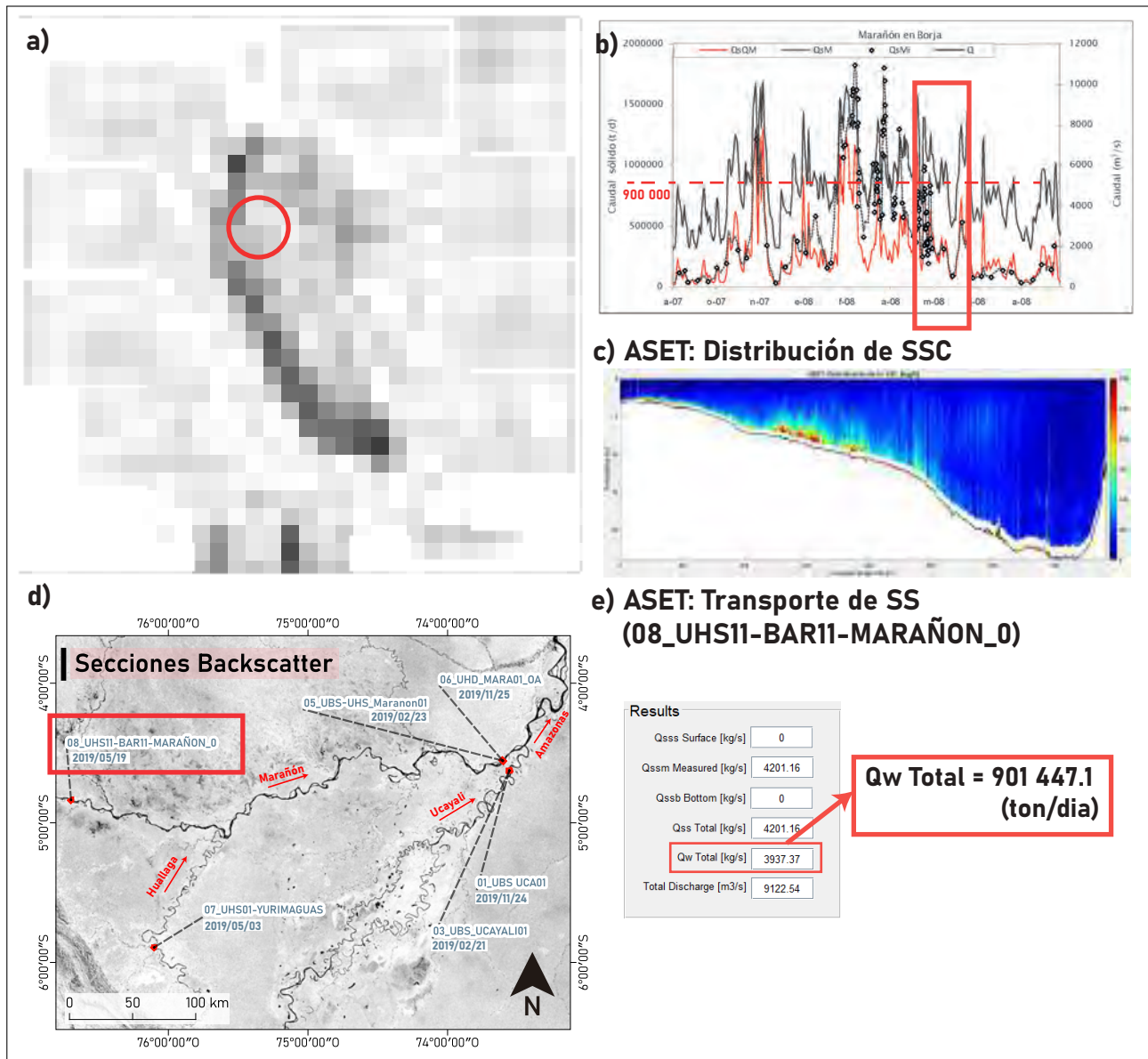


Nota: Elaboración propia a partir de datos medidos por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). Constancia de uso de datos otorgada por el CITA-UTEC en el Anexo 01

Las figuras 6.12a y 6.12b muestran la ubicación de las estaciones de monitoreo de sedimentos suspendidos y los datos de transporte de sedimentos suspendidos de una de sus estaciones de monitoreo, respectivamente, del proyecto SO-HYBAM del IRD. Como se observa en las figuras 6.12a y 6.12d, la sección de retrodispersión 08_UHS11-BAR11-MARAÑÓN_0 está cerca de la estación de monitoreo de Borja. Por lo tanto, podemos comparar el valor de transporte de sedimentos suspendidos obtenido a partir de la distribución de la concentración de sedimentos suspendidos por retrodispersión acústica presentado por la figura 6.12c con el sedimentograma de la estación Borja.

Cuando comparamos los valores obtenidos de transporte de sedimentos suspendidos obtenidos por retrodispersión acústica en la misma unidad (figuras 6.12b y 6.12e), se observa que los datos son muy similares o cercanos. Esto verifica que la técnica de retrodispersión es una buena alternativa para el monitoreo de sedimentos, ya que nos proporciona mayor detalle y precisión si se cuenta con una adecuada calibración.

FIGURA N° 6.12: Relación entre el transporte de sedimentos obtenido mediante la técnica de retrodispersión acústica y el sedimentograma de transporte de sedimentos suspendidos de la estación Borja del proyecto SO-HYBAM del IRD.



Nota: Adaptado de [Armijos Cardenas \(2010\)](#), "Cuantificación de flujos sedimentarios de las cuencas amazónicas de Perú" (pp.60-61)

De acuerdo a las discusiones, podemos verificar que el uso de la técnica de retrodispersión acústica es una alternativa para obtener la distribución de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos con lecho de arena. Determinar la SSC no solo es importante para entender la dinámica sedimentológica, sino también para obtener el transporte real de sedimentos suspendidos, lo cual es esencial en diferentes tipos de infraestructuras, como represas, corredores fluviales y prevención de la erosión de las márgenes.

Obtener una distribución detallada de la concentración de sedimentos suspendidos mediante la retrodispersión acústica permite evaluar el transporte de sedimentos con mayor precisión y tomar decisiones informadas en la planificación y construcción de infraestruc-

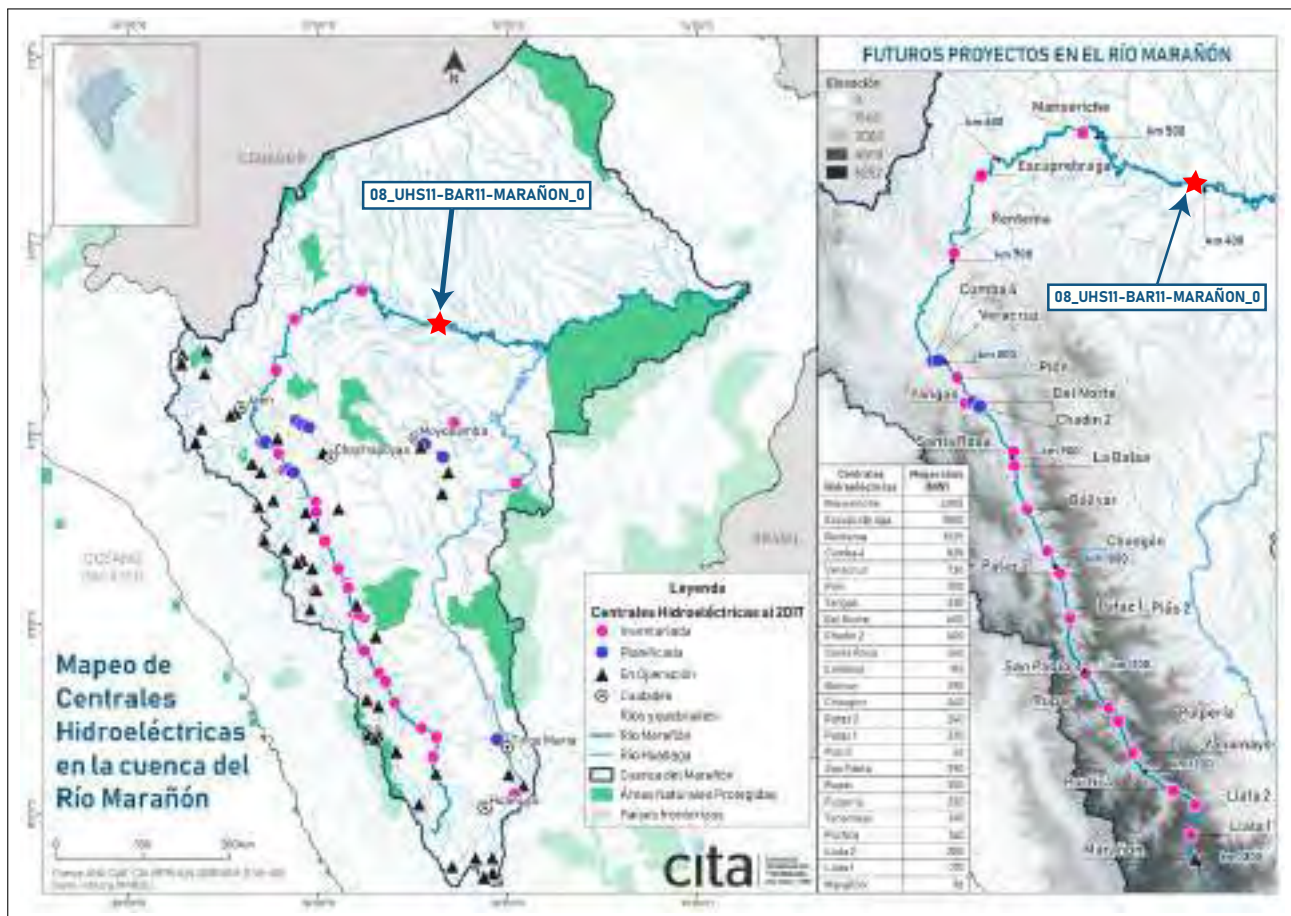
turas relacionadas con el agua. Además, el monitoreo constante de la concentración y el transporte de sedimentos suspendidos puede proporcionar información valiosa sobre el estado de salud de los ríos y su capacidad para mantener la vida acuática.

La figura 6.13 muestra diversas centrales hidroeléctricas en diferentes etapas, desde inventariadas y planificadas hasta en operación, ubicadas en el río Marañón. También se incluye una de las secciones de retrodispersión acústica calibradas como referencia espacial para analizar el potencial de esta investigación en el ámbito de los estudios relacionados con obras de infraestructura. Es importante destacar la necesidad de un estudio integral de la dinámica de sedimentos, ya que esta es una de las principales variables que afecta a dichas obras. La existencia de infraestructuras como estas puede alterar la dinámica fluvial y sedimentaria de los ríos, por lo que es fundamental realizar estudios tanto en el estado natural como después de la construcción de dichas obras para determinar y contrarrestar su impacto.

Es esencial monitorear constantemente la concentración y el transporte de sedimentos suspendidos en los ríos, especialmente en áreas con infraestructuras como proyectos hidroeléctricos, para evaluar su impacto en el medio ambiente y tomar decisiones informadas en la planificación y construcción de dichas obras. El monitoreo puede proporcionar información valiosa para mitigar los impactos ambientales y garantizar una gestión sostenible de los recursos hídricos.

La retrodispersión acústica es una técnica útil para obtener información detallada sobre la distribución de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos. Esta información puede ser valiosa para comprender la dinámica fluvial y su capacidad para mantener la vida acuática en el largo plazo. Además, el monitoreo constante de la concentración de sedimentos suspendidos puede ayudar en la toma de decisiones informadas en la planificación y construcción de obras de infraestructura.

FIGURA N° 6.13: Inventario de obras de infraestructura planificadas sobre el río Marañón



Nota: Adaptado de *Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC) (2021b)*, "Recomendaciones técnicas para los términos de referencia de estudios ambientales de centrales hidroeléctricas" (p.11)

6.6 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Teniendo en cuenta el método de validación de hipótesis "Enfoque inferencial basado en la evidencia" presentado en la tabla 2.17 del capítulo de marco teórico, se puede concluir a partir de los resultados y discusiones que las hipótesis planteadas son válidas. El análisis realizado demuestra que existe una influencia significativa de las variables de morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen fluvial en la variabilidad de la concentración de sedimentos suspendidos. Además, se demuestra que la técnica de retrodispersión acústica es una alternativa confiable para el monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonía peruana, lo que resulta de gran importancia para la evaluación del impacto ambiental de las obras de infraestructura en estos ecosistemas.

CONCLUSIONES

1. Esta investigación demuestra que la retrodispersión acústica es una alternativa viable para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos de la Amazonía peruana, siempre y cuando se utilicen datos adecuados para su calibración. Tanto la SSC como las mediciones de retrodispersión acústica deben ser homogéneas y acordes a la teoría de dinámica de sedimentos suspendidos. Los valores de SSC y retrodispersión deben incrementarse con la profundidad, describiendo así las condiciones naturales del río. Es importante evitar el uso de mediciones de retrodispersión acústica y SSC obtenidas en datos atípicos o dispersos, ya que estos representan eventos puntuales
2. Esta investigación demuestra que el cálculo del transporte de sedimentos suspendidos obtenido a partir de la retrodispersión acústica es coherente con los datos de las estaciones de monitoreo permanente, como en el caso de la estación Borja del proyecto SO-HYBAM del IRD en el río Marañón.
3. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se verifica que las variables morfológicas, hidrodinámicas, sedimentológicas y el régimen de lluvia son factores significativos que influyen en la variabilidad de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana.
4. Según los resultados obtenidos, se ha verificado que los fenómenos climáticos El Niño y La Niña tienen una fuerte influencia en el régimen fluvial de la Amazonía peruana. Durante los períodos de mayor pluviosidad, como los que ocurren durante El Niño, el caudal de los ríos aumenta significativamente, lo cual puede provocar inundaciones y afectar la dinámica de los sedimentos. Por otro lado, durante los períodos de menor pluviosidad, como los que ocurren durante La Niña, el caudal de los ríos disminuye y se reduce el aporte de sedimentos por parte de las cuencas, lo cual también puede afectar la dinámica de los sedimentos. Es importante considerar estos factores al realizar estudios sedimentológicos y monitoreo de la concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonía peruana, para poder entender mejor la dinámica de los sedimentos y su influencia en el medio ambiente

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable obtener más secciones de calibración de retrodispersión acústica considerando tanto su espacialidad como su frecuencia. Se sugiere realizar estas mediciones mensualmente durante al menos un año para cubrir el régimen fluvial de los ríos estudiados. Además, es recomendable seleccionar secciones fijas del río para poder compararlas a lo largo del tiempo y así mejorar la comprensión de la dinámica sedimentaria de los ríos amazónicos.
2. Es recomendable complementar el uso de la técnica de retrodispersión acústica con mediciones de sedimentos suspendidos mediante métodos tradicionales, ya que esta técnica requiere de dichos datos para su correcto funcionamiento y precisión en el monitoreo de la concentración de sedimentos suspendidos
3. Se recomienda evaluar la capacidad de la técnica de retrodispersión acústica para detectar cambios en la concentración de sedimentos suspendidos relacionados con contaminantes provenientes de actividades humanas, como la minería ilegal. Esto permitiría obtener información valiosa para la evaluación del impacto ambiental y la gestión de los recursos naturales.
4. En futuras investigaciones, se sugiere realizar mediciones en áreas de interés específicas, como confluencias, cortes de meandros y bifurcaciones, así como en el tramo entre Balsas y Pongo de Manseriche debido a la magnitud de las obras proyectadas en esta zona. De esta manera, se podría evaluar el impacto de estas estructuras en la dinámica sedimentaria de los ríos. Es importante realizar mediciones tanto en presencia como en ausencia de obras de infraestructura para poder comparar los resultados y determinar el efecto de dichas obras en el transporte de sedimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, J. D., Mendoza, A., Arceo, K., Torres, Z., Valverde, H., Medina, G., ... Berezowsky, M. (2022). Planform dynamics and cut-off processes in the lower ucayali river, peruvian amazon. *Water*, 14(19), 3059.
- Abad, J. D., Motta, D., Guerrero, L., Paredes, M., Kuroiwa, J. M., y García, M. H. (2023). Hydrogeomorphology of asymmetric meandering channels: experiments and field evidence. *Authorea Preprints*.
- Abad, J. D., Rojas, T., Roque, W. R., Latrubesse, E., y Shan, J. (2023). Free and underfit-scavenger rivers dynamics dominate the large amazonian pacaya-samiria wetland structure. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 2.
- Abad, J. D., Vizcarra, J., Paredes, J., Montoro, H., Frias, C., y Holguin, C. (2013). Morphodynamics of the upper peruvian amazonian rivers, implications into fluvial transportation. EUT Edizioni Università di Trieste.
- Adler, R. F., Sapiano, M. R., Huffman, G. J., Wang, J.-J., Gu, G., Bolvin, D., ... others (2018). The global precipitation climatology project (gpcp) monthly analysis (new version 2.3) and a review of 2017 global precipitation. *Atmosphere*, 9(4), 138.
- Agresti, A., y Finlay, B. (2009). *Statistical methods for the social sciences* (n.º 300.72 A3).
- Ahmed, J., Constantine, J. A., y Dunne, T. (2019). The role of sediment supply in the adjustment of channel sinuosity across the amazon basin. *Geology*, 47(9), 807–810.
- Aleixo, R., Guerrero, M., Nones, M., y Ruther, N. (2020). Applying adcps for long-term monitoring of ssc in rivers. *Water Resources Research*, 56(1), e2019WR026087.
- Allen, G. H., y Pavelsky, T. M. (2018). Global extent of rivers and streams. *Science*, 361(6402), 585–588.
- Alves, L. G. S., da Silva, D. D., Filizola, N. P., y Pruski, F. F. (2017). Stage-discharge relation in non-uniform flow based on strickler-manning equation on amazon basin. En *2017 asabe annual international meeting* (p. 1).
- Amoudry, L. O., y Souza, A. J. (2011). Deterministic coastal morphological and sediment transport modeling: A review and discussion. *Reviews of Geophysics*, 49(2).
- Antoine, G., Camenen, B., Jodeau, M., Némery, J., y Esteves, M. (2020). Downstream erosion and deposition dynamics of fine suspended sediments due to dam flushing. *Journal of Hydrology*, 585, 124763.
- Armijos, E., Crave, A., Espinoza, J. C., Filizola, N., Espinoza-Villar, R., Fonseca, P., ... others (2020). Rainfall control on amazon sediment flux: synthesis from 20 years of monitoring. *Environmental Research Communications*, 2(5), 051008.

- Armijos, E., Crave, A., Espinoza, R., Fraizy, P., Santos, A. D., Sampaio, F., ... others (2017). Measuring and modeling vertical gradients in suspended sediments in the solimões/amazon river. *Hydrological Processes*, 31(3), 654–667.
- Armijos, E., Crave, A., Vauchel, P., Fraizy, P., Santini, W., Moquet, J.-S., ... Guyot, J.-L. (2013). Suspended sediment dynamics in the amazon river of peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 75–84.
- Armijos Cardenas, E. N. (2010). Cuantificación de flujos sedimentarios de las cuencas amazónicas de Perú.
- Arora, N., Kumar, A., y Singal, S. K. (2022). Technological advancement in measurements of suspended sediment and hydraulic turbine erosion. *Measurement*, 110700.
- Asp, N., Gomes, V., Schettini, C., Souza-Filho, P., Siegle, E., Ogston, A., ... others (2018). Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the amazon river sediment load. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 214, 10–24.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012). *Compendio de los recursos hídricos superficiales de ucajali* (Inf. Téc.).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2019). *Informe del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río huallaga (noviembre - diciembre de 2018)* (Inf. Téc.).
- Aybar Camacho, C. L., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández Palomino, C., Vega-Jácome, F., Sabino Rojas, E., y Felipe-Obando, O. (2017). Uso del producto grillado pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. nota técnica n° 001 senamhi-dhi-2017.
- Ayes Rivera, I., Armijos Cardenas, E., Espinoza-Villar, R., Espinoza, J. C., Molina-Carpio, J., Ayala, J. M., ... Filizola, N. (2019). Decline of fine suspended sediments in the madeira river basin (2003–2017). *Water*, 11(3), 514.
- Ayes Rivera, I., Callau Poduje, A. C., Molina-Carpio, J., Ayala, J. M., Armijos Cardenas, E., Espinoza-Villar, R., ... Filizola, N. (2019). On the relationship between suspended sediment concentration, rainfall variability and groundwater: an empirical and probabilistic analysis for the andean beni river, bolivia (2003–2016). *Water*, 11(12), 2497.
- Ayes Rivera, I., Molina-Carpio, J., Espinoza, J. C., Gutierrez-Cori, O., Cerón, W. L., Frappart, F., ... Filizola, N. (2021). The role of the rainfall variability in the decline of the surface suspended sediment in the upper madeira basin (2003–2017). *Frontiers in Water*, 3, 738527.
- Baronas, J. J., Stevenson, E. I., Hackney, C. R., Darby, S. E., Bickle, M. J., Hilton, R. G., ... Tipper, E. T. (2020). Integrating suspended sediment flux in large alluvial river

- channels: Application of a synoptic rouse-based model to the irrawaddy and salween rivers. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(9), e2020JF005554.
- Basile, P. A. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Beck, H. E., Vergopolan, N., Pan, M., Levizzani, V., Van Dijk, A. I., Weedon, G. P., ... Wood, E. F. (2017). Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6201–6217.
- Beck, H. E., Wood, E. F., Pan, M., Fisher, C. K., Miralles, D. G., Van Dijk, A. I., ... Adler, R. F. (2019). Mswep v2 global 3-hourly 0.1 precipitation: methodology and quantitative assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(3), 473–500.
- Behrangi, A., Yin, X., Rajagopal, S., Stampoulis, D., y Ye, H. (2018). On distinguishing snowfall from rainfall using near-surface atmospheric information: Comparative analysis, uncertainties and hydrologic importance. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144, 89–102.
- Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., y Cohen, I. (s.f.). *Pearson correlation coefficient noise reduction in speech processing. 2. 1st*. Springer.
- Berberly, E. H., y Collini, E. A. (2000). Springtime precipitation and water vapor flux over southeastern south america. *Monthly Weather Review*, 128(5), 1328–1346.
- Berghuijs, W., Woods, R., y Hrachowitz, M. (2014). A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nature climate change*, 4(7), 583–586.
- Bilotta, G. S., y Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12), 2849–2861.
- Bishwakarma, M., y Støle, H. (2008). Real-time sediment monitoring in hydropower plants. *Journal of Hydraulic Research*, 46(2), 282–288.
- Boes, R. (2009). Real-time monitoring of suspended sediment concentration and particle size distribution in the headwater way of a high-head hydropower plant. En *Proc. 33rd iahr congress* (Vol. 11026, pp. 4037–44).
- Booth, W. C., Colomb, G. G., y Williams, J. M. (2003). *The craft of research*. University of Chicago press.
- Boyd, C. E. (2019). *Water quality: an introduction*. Springer Nature.
- Bridge, J. S. (2003). *Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record*. John Wiley & Sons.
- Brochier, R., Guille, A., y Velcin, J. (2019). Global vectors for node representations. En *The world wide web conference* (pp. 2587–2593).

- Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research*. Guilford publications.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford university press.
- Buffington, J., y Montgomery, D. (2013). 9.36 geomorphic classification of rivers.
- Bunte, K., y Abt, S. R. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- (C3S), C. C. C. S. (2017). Era5: Fifth generation of ecmwf atmospheric reanalyses of the global climate. *Copernicus climate change Service climate data store (CDS)*, 15(2), 2020.
- Cai, W., y Cowan, T. (2008). Evidence of impacts from rising temperature on inflows to the murray-darling basin. *Geophysical research letters*, 35(7).
- Cai, W., Wang, G., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., Jin, F.-F., ... others (2015). Increased frequency of extreme la niña events under greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 5(2), 132–137.
- Campbell, C. G., Laycak, D. T., Hoppes, W., Tran, N. T., y Shi, F. G. (2005). High concentration suspended sediment measurements using a continuous fiber optic in-stream transmissometer. *Journal of Hydrology*, 311(1-4), 244–253.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., ... Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6, 217–229.
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2019a). *Mejores prácticas para el estudio de los ríos amazónicos frente al desarrollo de infraestructura: Caso eia-d hidrovía amazónica* (Inf. Téc.).
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2019b). Metodología de línea base geomorfológica para los ríos de la hidrovía amazónica: Aplicación en el río huallaga.
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2020). *Webinar - waterways in south america: experiences and challenges*. Online.
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2021a). *Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en ríos de las cuencas andino-amazónicas* (1st ed.). Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC).
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2021b). *Recomendaciones técnicas para los términos de referencia de estudios ambientales de centrales hidroeléctricas* (1st ed.). Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC).

- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2021c). Sediment monitoring in the andean-amazon basins as a measure of adaptation to climate change.
- Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC). (2022). *Rios danzantes, guías metodológicas para el desarrollo de la línea base física de los ríos en andes-amazonía* (1st ed.). Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC).
- Charlton, R. (2007). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge.
- Chauhan, M. S., Kumar, V., Dikshit, P., y Dwivedi, S. (2014). Comparison of discharge data using adcp and current meter. *Int J Adv Earth Sci*, 3(2), 81–86.
- Chen, G., Lan, R., Zeng, W., Pan, H., y Li, W. (2018). Diurnal variations of rainfall in surface and satellite observations at the monsoon coast (south china). *Journal of Climate*, 31(5), 1703–1724.
- Chen, X., Long, D., Hong, Y., Zeng, C., y Yan, D. (2017). Improved modeling of snow and glacier melting by a progressive two-stage calibration strategy with grace and multisource data: How snow and glacier meltwater contributes to the runoff of the upper brahmaputra river basin? *Water Resources Research*, 53(3), 2431–2466.
- Ciabatta, L., Massari, C., Brocca, L., Gruber, A., Reimer, C., Hahn, S., ... Wagner, W. (2018). Sm2rain-cci: A new global long-term rainfall data set derived from esa cci soil moisture. *Earth System Science Data*, 10(1), 267–280.
- Clay, C. S., y Medwin, H. (1977). *Acoustical oceanography: principles and applications*.
- Cloern, J. E., Abreu, P. C., Carstensen, J., Chauvaud, L., Elmgren, R., Grall, J., ... others (2016). Human activities and climate variability drive fast-paced change across the world's estuarine–coastal ecosystems. *Global change biology*, 22(2), 513–529.
- Cohen, P., West, S. G., y Aiken, L. S. (2014). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Psychology press.
- Collins, A., y Anthony, S. (2008). Predicting sediment inputs to aquatic ecosystems across england and wales under current environmental conditions. *Applied Geography*, 28(4), 281–294.
- Conevski, S., Guerrero, M., Rennie, C. D., y Ruther, N. (2021). Towards an evaluation of bedload transport characteristics by using doppler and backscatter outputs from adcps. *Journal of Hydraulic Research*, 59(5), 703–723.
- Constantine, J. A., Dunne, T., Ahmed, J., Legleiter, C., y Lazarus, E. D. (2014). Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the amazon basin. *Nature Geoscience*, 7(12), 899–903.

- Costa, J., Cheng, R., Haeni, F., Melcher, N., Spicer, K., Hayes, E., ... Barrick, D. (2006). Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods. *Water Resources Research*, 42(7).
- Costa, J., Spicer, K. R., Cheng, R. T., Haeni, F. P., Melcher, N. B., Thurman, E. M., ... Keller, W. C. (2000). Measuring stream discharge by non-contact methods: A proof-of-concept experiment. *Geophysical Research Letters*, 27(4), 553–556.
- Courtice, G., Bauer, B., Cahill, C., Naser, G., y Paul, A. (2022). Suspended sediment releases in rivers: Toward establishing a safe sediment dose for construction projects. *Science of the Total Environment*, 848, 157685.
- Creswell, J. W., y Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., y Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- Cumming, G. (2014). The new statistics: Why and how. *Psychological science*, 25(1), 7–29.
- Cunjak, R. A., y Newbury, R. W. (2005). Atlantic coast rivers of canada. En *Rivers of north america* (pp. 938–980). Elsevier.
- Czuba, J. A., David, S. R., Edmonds, D. A., y Ward, A. S. (2019). Dynamics of surface-water connectivity in a low-gradient meandering river floodplain. *Water Resources Research*, 55(3), 1849–1870.
- Czuba, J. A., Straub, T. D., Curran, C. A., Landers, M. N., y Domanski, M. M. (2015). Comparison of fluvial suspended-sediment concentrations and particle-size distributions measured with in-stream laser diffraction and in physical samples. *Water Resources Research*, 51(1), 320–340.
- Dai, A., Giorgi, F., y Trenberth, K. E. (1999). Observed and model-simulated diurnal cycles of precipitation over the contiguous united states. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D6), 6377–6402.
- Dai, Z., y Liu, J. T. (2013). Impacts of large dams on downstream fluvial sedimentation: An example of the three gorges dam (tgd) on the changjiang (yangtze river). *Journal of Hydrology*, 480, 10–18.
- Damme, P. A. V., Córdova-Clavijo, L., Baigún, C., Hauser, M., Doria, C. R., y Duponchelle, F. (2019). Upstream dam impacts on gilded catfish *brachyplatystoma rousseauxii* (siluriformes: Pimelodidae) in the bolivian amazon. *Neotropical Ichthyology*, 17.
- da Motta Paca, V. H., Espinoza-Dávalos, G. E., Moreira, D. M., y Comair, G. (2020). Variability of trends in precipitation across the amazon river basin determined from the chirps precipitation product and from station records. *Water*, 12(5), 1244.

- Davis, B. E. (2005). *A guide to the proper selection and use of federally approved sediment and water-quality samplers*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Deines, K. L. (1999). Backscatter estimation using broadband acoustic doppler current profilers. , 249–253.
- Deng, H., Pepin, N., y Chen, Y. (2017). Changes of snowfall under warming in the tibetan plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(14), 7323–7341.
- Dépret, T., Riquier, J., y Piégay, H. (2017). Evolution of abandoned channels: Insights on controlling factors in a multi-pressure river system. *Geomorphology*, 294, 99–118.
- Dey, S. (2014). *Fluvial hydrodynamics* (Vol. 818). Springer.
- Dingman, S. L. (2009). *Fluvial hydraulics*. oxford university press.
- Dinku, T., Funk, C., Peterson, P., Maidment, R., Tadesse, T., Gadain, H., y Ceccato, P. (2018). Validation of the chirps satellite rainfall estimates over eastern africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144, 292–312.
- Downing, A., Thorne, P. D., y Vincent, C. E. (1995). Backscattering from a suspension in the near field of a piston transducer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(3), 1614–1620.
- Downing, J. (2006). Twenty-five years with obs sensors: The good, the bad, and the ugly. *Continental Shelf Research*, 26(17-18), 2299–2318.
- Eaton, B., Millar, R. G., y Davidson, S. (2010). Channel patterns: Braided, anabranching, and single-thread. *Geomorphology*, 120(3), 353-364.
- Eberly, L. E. (2007). Multiple linear regression. *Topics in Biostatistics*, 165–187.
- Espinoza Villar, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., ... Vauchel, P. (2009). Spatio-temporal rainfall variability in the amazon basin countries (brazil, peru, bolivia, colombia, and ecuador). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(11), 1574–1594.
- Everitt, B. (2001). *Landau s. leese m.: Cluster analysis, 4'th edition*. Edward Arnold Publishers Ltd., London.
- Felix, D., Albayrak, I., Abgottspon, A., Boes, R., y Gruber, P. (2012). Suspended sediment and pelton turbine wear monitoring: Experimental investigation of various optical and acoustic devices and begin of the case study fieschertal. En *Proceedings of the 17th international seminar on hydropower plants (viennahydro) & pumped storage in the context of renewable energy supply* (pp. 483–494).
- Felix, D., Albayrak, I., y Boes, R. M. (2016). Continuous measurement of suspended sediment concentration: Discussion of four techniques. *Measurement*, 89, 44–47.

- Felix, D., Albayrak, I., y Boes, R. M. (2018). In-situ investigation on real-time suspended sediment measurement techniques: Turbidimetry, acoustic attenuation, laser diffraction (lisst) and vibrating tube densimetry. *International journal of sediment research*, 33(1), 3–17.
- Filizola, N., y Guyot, J. L. (2004). The use of doppler technology for suspended sediment discharge determination in the river amazon/l'utilisation des techniques doppler pour la détermination du transport solide de l'amazone. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 143–153.
- Flener, C., Wang, Y., Laamanen, L., Kasvi, E., Vesakoski, J.-M., y Alho, P. (2015). Empirical modeling of spatial 3d flow characteristics using a remote-controlled adcp system: monitoring a spring flood. *Water*, 7(1), 217–247.
- Foley, J. A., Botta, A., Coe, M. T., y Costa, M. H. (2002). El niño–southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of amazonia. *Global biogeochemical cycles*, 16(4), 79–1.
- Frasson, R. P. d. M., Pavelsky, T. M., Fonstad, M. A., Durand, M. T., Allen, G. H., Schumann, G., ... Yang, X. (2019). Global relationships between river width, slope, catchment area, meander wavelength, sinuosity, and discharge. *Geophysical Research Letters*, 46(6), 3252–3262.
- Frias, C., Abad, J., Mendoza, A., Paredes, J., Ortals, C., y Montoro, H. (2015). Planform evolution of two anabranching structures in the upper peruvian amazon river. *Water Resources Research*, 51(4), 2742–2759.
- Fromant, G., Mieras, R., Revil-Baudard, T., Puleo, J., Hurther, D., y Chauchat, J. (2018). On bedload and suspended load measurement performances in sheet flows using acoustic and conductivity profilers. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123(10), 2546–2562.
- Fryirs, K. A., y Brierley, G. J. (2012). *Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape*. John Wiley & Sons.
- Gao, P. (2008). Understanding watershed suspended sediment transport. *Progress in Physical Geography*, 32(3), 243–263.
- García, M. (2008). Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice..
- García, M., y Maza, J. (1998). Origen y propiedades de los sedimentos. *Manual de Ingeniería de Ríos (Cap. 7)*. México: UNAM.
- García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Lana-Renault, N., y Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239, 160–173.

- Gartner, J. W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic doppler current profiler in san francisco bay, california. *Marine Geology*, 211(3-4), 169–187.
- Gloor, M., Brienen, R. J., Galbraith, D., Feldpausch, T. R., Schöngart, J., Guyot, J.-L., ... Phillips, O. L. (2013). Intensification of the amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*, 40(9), 1729–1733.
- González del Tánago, M., y García de Jalón, D. (2006). Propuesta de caracterización jerárquica de los ríos españoles para su clasificación según la directiva marco de la unión europea. *Limnetica*, 25(3), 693–712.
- Gostiaux, L., y van Haren, H. (2010). Extracting meaningful information from uncalibrated backscattered echo intensity data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 27(5), 943–949.
- Goulding, M., Barthem, R., y Ferreira, E. J. G. (2003). The smithsonian atlas of the amazon.
- Gower, A. L., Gower, R. M., Deakin, J., Parnell, W. J., y Abrahams, I. D. (2018). Learning about random media from near-surface backscattering: using machine learning to measure particle size and concentration. *arXiv: 1801.05490*.
- Gray, J., Glysson, G., y Edwards, T. (2008). *Suspended-sediment samplers and sampling methods*. ASCE Publications: Reston, Virginia: USA.
- Gray, J. R., y Gartner, J. W. (2009). Technological advances in suspended-sediment surrogate monitoring. *Water resources research*, 45(4).
- Gray, J. R., Gartner, J. W., Barton, J. S., Gaskin, J., Pittman, S. A., y Rennie, C. D. (2010). Surrogate technologies for monitoring bed-load transport in rivers. *Sedimentology of aqueous systems*, 46–79.
- Gualtieri, C., Ianniruberto, M., Filizola, N., Santos, R., y Endreny, T. (2017). Hydraulic complexity at a large river confluence in the amazon basin. *Ecohydrology*, 10(7), e1863.
- Guerrero, L., Naito, K., Valverde, H., Estrada, Y., Chicchon, H., Flores, G., ... Abad, J. D. C. (2022). The birthplace of the amazon river, a confluence of anabranching and meandering rivers. *Water Resources Research*, 58(3).
- Guerrero, M., y Di Federico, V. (2018). Suspended sediment assessment by combining sound attenuation and backscatter measurements—analytical method and experimental validation. *Advances in water resources*, 113, 167–179.
- Guerrero, M., Rütther, N., Haun, S., y Baranya, S. (2017). A combined use of acoustic and optical devices to investigate suspended sediment in rivers. *Advances in Water Resources*, 102, 1–12.

- Guerrero, M., Rüther, N., Szupiany, R., Haun, S., Baranya, S., y Latosinski, F. (2016). The acoustic properties of suspended sediment in large rivers: consequences on adcp methods applicability. *Water*, 8(1), 13.
- Guerrero, M., Szupiany, R. N., y Latosinski, F. (2013). Multi-frequency acoustics for suspended sediment studies: an application in the parana river. *Journal of Hydraulic Research*, 51(6), 696–707.
- GUIDE, H. (2019). Hydropower erosion and sedimentation.
- Gutierrez, R. R., y Abad, J. D. (2014). On the analysis of the medium term planform dynamics of meandering rivers. *Water Resources Research*, 50(5), 3714–3733.
- Gutierrez, R. R., Abad, J. D., Choi, M., y Montoro, H. (2014). Characterization of confluences in free meandering rivers of the amazon basin. *Geomorphology*, 220, 1–14.
- Ha, H., y Maa, J.-Y. (2009). Evaluation of two conflicting paradigms for cohesive sediment deposition. *Marine Geology*, 265(3-4), 120–129.
- Ha, H., Maa, J.-Y., Park, K., y Kim, Y. (2011). Estimation of high-resolution sediment concentration profiles in bottom boundary layer using pulse-coherent acoustic doppler current profilers. *Marine Geology*, 279(1-4), 199–209.
- Hanes, D. M. (2012). On the possibility of single-frequency acoustic measurement of sand and clay concentrations in uniform suspensions. *Continental Shelf Research*, 46, 64–66.
- Hanes, D. M. (2016). Acoustic attenuation due to bi-modal size distributions of suspended sediment. *Journal of Coastal Research*(75 (10075)), 23–27.
- Hardoon, D. R., Szedmak, S., y Shawe-Taylor, J. (2004). Canonical correlation analysis: An overview with application to learning methods. *Neural computation*, 16(12), 2639–2664.
- Haregeweyn, N., Poesen, J., Nyssen, J., De Wit, J., Haile, M., Govers, G., y Deckers, S. (2006). Reservoirs in tigray (northern ethiopia): characteristics and sediment deposition problems. *Land degradation & development*, 17(2), 211–230.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2016). Metodología de la investigación. 6ta edición sampieri. Soriano, RR (1991). *Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdés.*
- Holliday, C., Rasmussen, T. C., y Miller, W. P. (2003). Establishing the relationship between turbidity and total suspended sediment concentration..
- Horowitz, A. J. (2009). Monitoring suspended sediments and associated chemical constituents in urban environments: lessons from the city of atlanta, georgia, usa water quality monitoring program. *Journal of Soils and Sediments*, 9, 342–363.

- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., y Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., ... Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American meteorological Society*, 95(5), 701–722.
- Hsu, Y.-S., y Cai, J.-F. (2010). Densimetric monitoring technique for suspended-sediment concentrations. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(1), 67–73.
- Huang, C.-J., Fan, Y.-M., Hsueh, P.-C., Shi, M.-S., y Bian, J.-W. (2018). Real-time observation of suspended sediment from adcp and turbidimeter mounted on a metocean data buoy. En *Egu general assembly conference abstracts* (p. 2644).
- Huang, R., y Zhang, Q. (2021). Concentration measurement without calibration of natural sediment particles using backscatter sensing with optical fibres. *Measurement*, 167, 108256.
- Huberty, C. J. (1984). Issues in the use and interpretation of discriminant analysis. *Psychological bulletin*, 95(1), 156.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... Stocker, E. F. (2007). The trmm multisatellite precipitation analysis (tmpa): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology*, 8(1), 38–55.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (2000). *Monitoreo de la calidad de aguas superficiales: Vertiente del atlántico, río huallaga* (Inf. Téc.).
- Jerolmack, D. J., y Paola, C. (2010). Shredding of environmental signals by sediment transport. *Geophysical Research Letters*, 37(19).
- Johnson, R. A., Wichern, D. W., y cols. (2002). *Applied multivariate statistical analysis*.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis for special types of data*. Springer.
- Justice, C., Townshend, J., Vermote, E., Masuoka, E., Wolfe, R., Saleous, N., ... Morisette, J. (2002). An overview of modis land data processing and product status. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 3–15.
- Ke, C.-Q., Yu, T., Yu, K., Tang, G.-D., y King, L. (2009). Snowfall trends and variability in qinghai, china. *Theoretical and applied climatology*, 98, 251–258.
- Kidd, C., y Huffman, G. (2011). Global precipitation measurement. *Meteorological Applications*, 18(3), 334–353.
- Kim, H.-Y. (2014). Analysis of variance (anova) comparing means of more than two groups. *Restorative dentistry & endodontics*, 39(1), 74–77.

- Kirschbaum, D. B., Huffman, G. J., Adler, R. F., Braun, S., Garrett, K., Jones, E., ... others (2017). Nasa's remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(6), 1169–1184.
- Kleinbaum, D. G., Dietz, K., Gail, M., Klein, M., y Klein, M. (2002). *Logistic regression*. Springer.
- Konsoer, K. M., Rhoads, B. L., Best, J. L., Langendoen, E. J., Abad, J. D., Parsons, D. R., y Garcia, M. H. (2016). Three-dimensional flow structure and bed morphology in large elongate meander loops with different outer bank roughness characteristics. *Water Resources Research*, 52(12), 9621–9641.
- Konsoer, K. M., Rhoads, B. L., Langendoen, E. J., Best, J. L., Ursic, M. E., Abad, J. D., y Garcia, M. H. (2016). Spatial variability in bank resistance to erosion on a large meandering, mixed bedrock-alluvial river. *Geomorphology*, 252, 80–97.
- Kumar, R. (2018). *Research methodology: A step-by-step guide for beginners*. Sage.
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., y Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (trmm) sensor package. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 15(3), 809–817.
- Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A., Stocker, E., ... others (2000). The status of the tropical rainfall measuring mission (trmm) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 39(12), 1965–1982.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., y Wasserman, W. (2004). *Applied linear regression models* (Vol. 4). McGraw-Hill/Irwin New York.
- Lane, S. N. (2000). Secondary circulation cells in river channel confluences: measurement artefacts or coherent flow structures? *Hydrological processes*, 14(11-12), 2047–2071.
- Langat, P. K., Kumar, L., y Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and gis techniques. *Geomorphology*, 325, 92–102.
- Latosinski, F. G., Szupiany, R. N., García, C. M., Guerrero, M., y Amsler, M. L. (2014). Estimation of concentration and load of suspended bed sediment in a large river by means of acoustic doppler technology. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(7), 04014023.
- Le, T. B., Khosronejad, A., Sotiropoulos, F., Bartelt, N., Woldeamlak, S., y Dewall, P. (2019). Large-eddy simulation of the mississippi river under base-flow condition: hydrodynamics of a natural diffuence-confluence region. *Journal of Hydraulic Research*, 57(6), 836–851.
- Lee, K., Mukai, T., Lee, D.-J., y Iida, K. (2014). Classification of sound-scattering layers using swimming speed estimated by acoustic doppler current profiler. *Fisheries science*, 80, 1–11.

- Lin, P., Pan, M., Allen, G. H., de Frasson, R. P., Zeng, Z., Yamazaki, D., y Wood, E. F. (2020). Global estimates of reach-level bankfull river width leveraging big data geospatial analysis. *Geophysical Research Letters*, 47(7), e2019GL086405.
- Loomis, D., Richardson, D. B., y Elliott, L. (2005). Poisson regression analysis of ungrouped data. *Occupational and environmental medicine*, 62(5), 325–329.
- Lopez Moreno, Y. P., Vanegas Guzman, N. A., y cols. (2017). Manual de protocolo del equipo “riversurveyor de sontek–m9” con funcionamiento de tecnología satelital del laboratorio de servicios públicos.
- Lu, Y., y Lueck, R. G. (1999). Using a broadband adcp in a tidal channel. part ii: Turbulence. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16(11), 1568–1579.
- Maa, J. P.-Y., Xu, J., y Victor, M. (1992). Notes on the performance of an optical backscatter sensor for cohesive sediments. *Marine Geology*, 104(1-4), 215–218.
- Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P., y Poirel, A. (2009). Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (france): influence of the climatic regime. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(5), 777–792.
- Marinho, R. R., Furtado, A. R., Dos Santos, V. C., Nascimento, A. Z. A., y Junior, N. P. F. (2022). Riverbed morphology and hydrodynamics in the confluence of complex mega rivers-a study in the branco and negro rivers, amazon basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 118, 103969.
- Marsh, H. W., y Schulkin, M. (1962). Shallow-water transmission. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(6), 863–864.
- Martinez, J.-M., Guyot, J.-L., Filizola, N., y Sondag, F. (2009). Increase in suspended sediment discharge of the amazon river assessed by monitoring network and satellite data. *Catena*, 79(3), 257–264.
- McPhaden, M. J. (1999). Genesis and evolution of the 1997-98 el niño. *Science*, 283(5404), 950–954.
- Mehta, A. J., Hayter, E. J., Parker, W. R., Krone, R. B., y Teeter, A. M. (1989). Cohesive sediment transport. i: Process description. *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(8), 1076–1093.
- Menard, S. (2002). *Applied logistic regression analysis* (n.º 106). Sage.
- Mendoza, A., Abad, J. D., Frias, C. E., Ortals, C., Paredes, J., Montoro, H., ... Soto-Cortés, G. (2016). Planform dynamics of the iquitos anabranching structure in the peruvian upper amazon river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 961–970.

- Minella, J. P., Merten, G. H., Reichert, J. M., y Clarke, R. T. (2008). Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(12), 1819–1830.
- Mishra, P. N., Bore, T., Jiang, Y., Scheuermann, A., y Li, L. (2018). Dielectric spectroscopy measurements on kaolin suspensions for sediment concentration monitoring. *Measurement*, 121, 160–169.
- Molina, A., Govers, G., Poesen, J., Van Hemelryck, H., De Bièvre, B., y Vanacker, V. (2008). Environmental factors controlling spatial variation in sediment yield in a central andean mountain area. *Geomorphology*, 98(3-4), 176–186.
- Molina-Carpio, J., Espinoza, J. C., Vauchel, P., Ronchail, J., Gutierrez Caloir, B., Guyot, J.-L., y Noriega, L. (2017). Hydroclimatology of the upper madeira river basin: spatio-temporal variability and trends. *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 911–927.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., y Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Moradi, G., Vermeulen, B., Rennie, C. D., Cardot, R., y Lane, S. N. (2019). Evaluation of adcp processing options for secondary flow identification at river junctions. *Earth surface processes and landforms*, 44(14), 2903–2921.
- Motta, D., Langendoen, E. J., Abad, J. D., y García, M. H. (2014). Modification of meander migration by bank failures. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(5), 1026–1042.
- Mueller, D. S. (2016). *Qrev—software for computation and quality assurance of acoustic doppler current profiler moving-boat streamflow measurement: Technical manual for version 2.8* (Vol. 2016). US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Mueller, D. S., Wagner, C. R., Rehmel, M. S., Oberg, K. A., y Rainville, F. (2009). *Measuring discharge with acoustic doppler current profilers from a moving boat*. US Department of the Interior, US Geological Survey Reston, Virginia (EUA).
- Mullison, J. (2017). Backscatter estimation using broadband acoustic doppler current profilers-updated. , 9–12.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... others (2021). Era5-land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383.
- Muste, M., Baranya, S., Tsubaki, R., Kim, D., Ho, H., Tsai, H., y Law, D. (2016). Acoustic mapping velocimetry. *Water Resources Research*, 52(5), 4132–4150.
- Muste, M., Yu, K., y Spasojevic, M. (2004). Practical aspects of adcp data use for quantification of mean river flow characteristics; part i: moving-vessel measurements. *Flow measurement and instrumentation*, 15(1), 1–16.

- Myers, L., y Sirois, M. J. (2004). Spearman correlation coefficients, differences between. *Encyclopedia of statistical sciences*, 12.
- Najibi, N. (2019). *Hydroclimate drivers and atmospheric dynamics of floods* (Tesis Doctoral no publicada). The City College of New York.
- Navratil, O., Esteves, M., Legout, C., Gratiot, N., Nemery, J., Willmore, S., y Grangeon, T. (2011). Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. *Journal of Hydrology*, 398(3-4), 246–259.
- Nikora, V. I., y Goring, D. G. (2002). Fluctuations of suspended sediment concentration and turbulent sediment fluxes in an open-channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(2), 214–224.
- Nobre, C. A., Sampaio, G., Borma, L. S., Castilla-Rubio, J. C., Silva, J. S., y Cardoso, M. (2016). Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(39), 10759–10768.
- Noriega, E. (2018). *Evaluación y tratamiento estadístico de datos de precipitación de los productos trmm y chirps y su aplicación práctica en la cuenca andina del rio beni* (Tesis). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. (Ingeniería Civil)
- Oberg, K., y Mueller, D. S. (2007). Validation of streamflow measurements made with acoustic doppler current profilers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(12), 1421–1432.
- Parsons, D. R., Jackson, P., Czuba, J. A., Engel, F., Rhoads, B. L., Oberg, K., ... Riley, J. (2013). Velocity mapping toolbox (vmt): A processing and visualization suite for moving-vessel adcp measurements. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(11), 1244–1260.
- Pavanelli, D., y Bigi, A. (2005). Indirect methods to estimate suspended sediment concentration: reliability and relationship of turbidity and settleable solids. *Biosystems engineering*, 90(1), 75–83.
- Pearson, S. G., Verney, R., van Prooijen, B. C., Tran, D., Hendriks, E. C., Jacquet, M., y Wang, Z. B. (2021). Characterizing the composition of sand and mud suspensions in coastal and estuarine environments using combined optical and acoustic measurements. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(7), e2021JC017354.
- Pepin, E., Guyot, J.-L., Armijos, E., Bazán, H., Fraizy, P., Moquet, J., ... Vauchel, P. (2013). Climatic control on eastern andean denudation rates (central cordillera from ecuador to bolivia). *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 85–93.
- Petrie, J., Diplas, P., Gutierrez, M., y Nam, S. (2013). Data evaluation for acoustic doppler current profiler measurements obtained at fixed locations in a natural river. *Water Resources Research*, 49(2), 1003–1016.

- Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126–135.
- Philander, S. G. (1989). El niño, la niña, and the southern oscillation. *International geophysics series*, 46, X–289.
- Pomázi, F., y Baranya, S. (2020). Comparative assessment of fluvial suspended sediment concentration analysis methods. *Water*, 12(3), 873.
- Qi, P., Lin, L., Huang, R., Zhao, S., Tian, H., Li, S., ... Liu, W. (2017). Image fiber-based miniature suspended solid sensor with high accuracy and a large dynamic range. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9.
- Quintana-Cobo, I., Moreira-Turcq, P., Cordeiro, R. C., Aniceto, K., Crave, A., Fraizy, P., ... Turcq, B. (2018). Dynamics of floodplain lakes in the upper amazon basin during the late holocene. *Comptes Rendus Geoscience*, 350(1-2), 55–64.
- Rai, A. K., y Kumar, A. (2015). Continuous measurement of suspended sediment concentration: Technological advancement and future outlook. *Measurement*, 76, 209–227.
- Reichle, R. H., Draper, C. S., Liu, Q., Giroto, M., Mahanama, S. P., Koster, R. D., y De Lanoy, G. J. (2017). Assessment of merra-2 land surface hydrology estimates. *Journal of Climate*, 30(8), 2937–2960.
- Rencher, A. C., y Christensen, W. (2002). *Methods of multivariate analysis*. a john wiley & sons. *Inc. Publication*, 727.
- Rencher, A. C., y Schaalje, G. B. (2008). *Linear models in statistics*. John Wiley & Sons.
- Restrepo, J. D., Kettner, A. J., y Syvitski, J. P. (2015). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the colombian andes. *Anthropocene*, 10, 13–28.
- Rhoads, B. L. (2020). *River dynamics: geomorphology to support management*. Cambridge University Press.
- Rhoads, B. L., y Kenworthy, S. T. (1995). Flow structure at an asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, 11(4), 273–293.
- Rhoads, B. L., y Kenworthy, S. T. (1998). Time-averaged flow structure in the central region of a stream confluence. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(2), 171–191.
- Rojas, T. V., Abad, J. D., Roque, W. R., Latrubesse, E. M., y Shan, J. (2023). Free and underfit-scavenger river dynamics dominate the large amazonian pacaya-samiria wetland structure. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 2.
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22(3), 169–199.

- Rosgen, D. L. (2006). The natural channel design method for river restoration. En *World environmental and water resource congress 2006: Examining the confluence of environmental and water concerns* (pp. 1–12).
- Roxy, M. K., Modi, A., Murtugudde, R., Valsala, V., Panickal, S., Prasanna Kumar, S., ... Lévy, M. (2016). A reduction in marine primary productivity driven by rapid warming over the tropical indian ocean. *Geophysical Research Letters*, 43(2), 826–833.
- Roy, S., y Sahu, A. S. (2017). Potential interaction between transport and stream networks over the lowland rivers in eastern india. *Journal of environmental management*, 197, 316–330.
- Ruben, L. D., Naito, K., Gutierrez, R. R., Szupiany, R., y Abad, J. D. (2021). Meander statistics toolbox (mstat): A toolbox for geometry characterization of bends in large meandering channels. *SoftwareX*, 14, 100674.
- Ruben, L. D., Szupiany, R. N., Latosinski, F. G., Weibel, C. L., Wood, M., y Boldt, J. (2020). Acoustic sediment estimation toolbox (aset): A software package for calibrating and processing trdi adcp data to compute suspended-sediment transport in sandy rivers. *Computers & Geosciences*, 140, 104499.
- Santini, W., Martinez, J.-M., Espinoza-Villar, R., Cochonneau, G., Vauchel, P., Moquet, J.-S., ... others (2015). Sediment budget in the ucayali river basin, an andean tributary of the amazon river. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 367, 320–325.
- Satgé, F., Ruelland, D., Bonnet, M.-P., Molina, J., y Pillco, R. (2019). Consistency of satellite-based precipitation products in space and over time compared with gauge observations and snow- $\langle ? \rangle$ hydrological modelling in the lake titicaca region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(1), 595–619.
- Schoellhamer, D. H., Mumley, T. E., y Leatherbarrow, J. E. (2007). Suspended sediment and sediment-associated contaminants in san francisco bay. *Environmental Research*, 105(1), 119–131.
- Schumm, S. A. (1963). *A tentative classification of alluvial river channels: an examination of similarities and differences among some great plains rivers* (Vol. 477). US Department of the Interior, Geological Survey.
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system* (Vol. 338). The Blackburn Press.
- Schumm, S. A. (1981). Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications.
- Schumm, S. A. (1985). Patterns of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 13(1), 5–27.

- Segura, H., Espinoza, J. C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., y Garreaud, R. (2020). Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical andes/western amazon. *Climate Dynamics*, 54(5-6), 2613–2631.
- SENAMHI. (2016). Proyecciones de máxima creciente de los ríos Amazonas, Marañón, Ucayali y Huallaga.
- Shen, X., y Maa, J. P.-Y. (2016). A camera and image processing system for floc size distributions of suspended particles. *Marine Geology*, 376, 132–146.
- Simmons, S. M., Parsons, D. R., Best, J. L., Oberg, K. A., Czuba, J. A., y Keevil, G. M. (2017). An evaluation of the use of a multibeam echo-sounder for observations of suspended sediment. *Applied Acoustics*, 126, 81–90.
- Sirabahenda, Z., St-Hilaire, A., Courtenay, S. C., y Van Den Heuvel, M. R. (2019). Comparison of acoustic to optical backscatter continuous measurements of suspended sediment concentrations and their characterization in an agriculturally impacted river. *Water*, 11(5), 981.
- Slattery, M. C., y Burt, T. P. (1997). Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 22(8), 705–719.
- Stevens, J. P. (2012). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Routledge.
- Suedel, B. C., Lutz, C. H., Clarke, J. U., y Clarke, D. G. (2012). The effects of suspended sediment on walleye (*Sander vitreus*) eggs. *Journal of Soils and Sediments*, 12(6), 995–1003.
- Sylvester, Z., Durkin, P., y Covault, J. A. (2019). High curvatures drive river meandering. *Geology*, 47(3), 263–266.
- Szupiany, R. N., Lopez Weibel, C., Guerrero, M., Latosinski, F., Wood, M., Dominguez Ruben, L., y Oberg, K. (2019). Estimating sand concentrations using ADCP-based acoustic inversion in a large fluvial system characterized by bi-modal suspended-sediment distributions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(6), 1295–1308.
- Tang, G., Clark, M. P., Papalexiou, S. M., Ma, Z., y Hong, Y. (2020). Have satellite precipitation products improved over last two decades? a comprehensive comparison of GPMIMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111697.
- Taylor, K. G., y Owens, P. N. (2009). Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments*, 9, 281–303.
- Teledyne. (2008). *Winriver ii user's guide* (Inf. Téc.). N 957-6231-00.

- Teledyne Instruments, RD. (2007). Winriver user's guide. *RD Instruments Poway, CA, USA*.
- Thevenot, M., y Kraus, N. C. (1993). Comparison of acoustical and optical measurements of suspended material in the chesapeake estuary. *Journal of Marine Environmental Engineering*, 1(1), 65–79.
- Thorne, P. D., y Hanes, D. M. (2002). A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes. *Continental shelf research*, 22(4), 603–632.
- Thorne, P. D., y Hurther, D. (2014). An overview on the use of backscattered sound for measuring suspended particle size and concentration profiles in non-cohesive inorganic sediment transport studies. *Continental Shelf Research*, 73, 97–118.
- Thorne, P. D., Hurther, D., Cooke, R. D., Caceres, I., Barraud, P. A., y Sánchez-Arcilla, A. (2018). Developments in acoustics for studying wave-driven boundary layer flow and sediment dynamics over rippled sand-beds. *Continental Shelf Research*, 166, 119–137.
- Thorne, P. D., y Meral, R. (2008). Formulations for the scattering properties of suspended sandy sediments for use in the application of acoustics to sediment transport processes. *Continental Shelf Research*, 28(2), 309–317.
- Trenberth, K. E. (1997). The definition of el nino. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771–2778.
- Urlick, R. (1948). The absorption of sound in suspensions of irregular particles. *The Journal of the acoustical society of America*, 20(3), 283–289.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Verstraeten, G., de Vente, J., y Ocakoglu, F. (2011). Sediment yield in europe: Spatial patterns and scale dependency. *Geomorphology*, 130(3-4), 142–161.
- Van Manh, N., Dung, N. V., Hung, N. N., Kummu, M., Merz, B., y Apel, H. (2015). Future sediment dynamics in the mekong delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise. *Global and Planetary Change*, 127, 22–33.
- Van Rijn, L. C., y cols. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas* (Vol. 1006). Aqua publications Amsterdam.
- Vercruyssen, K., Grabowski, R. C., y Rickson, R. (2017). Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. *Earth-Science Reviews*, 166, 38–52.
- Vergne, A., Berni, C., Le Coz, J., y Tencé, F. (2021). Acoustic backscatter and attenuation due to river fine sediments: experimental evaluation of models and inversion methods. *Water Resources Research*, 57(9), e2021WR029589.
- Vide, J. P. M. (2009). *Ingeniería de ríos* (Vol. 9). Univ. Politèc. de Catalunya.

- Villar, J. C. E., Guyot, J. L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., ... Vauchel, P. (2009). Contrasting regional discharge evolutions in the amazon basin (1974–2004). *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 297–311.
- Visbeck, M. (2002). Deep velocity profiling using lowered acoustic doppler current profilers: Bottom track and inverse solutions. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 19(5), 794–807.
- Voulgaris, G., y Meyers, S. T. (2004). Temporal variability of hydrodynamics, sediment concentration and sediment settling velocity in a tidal creek. *Continental Shelf Research*, 24(15), 1659–1683.
- Wang, Y., Rhoads, B. L., Wang, D., Wu, J., y Zhang, X. (2018). Impacts of large dams on the complexity of suspended sediment dynamics in the yangtze river. *Journal of Hydrology*, 558, 184–195.
- Wasserstein, R. L., Schirm, A. L., y Lazar, N. A. (2019). *Moving to a world beyond “p<0.05”* (Vol. 73) (n.º sup1). Taylor & Francis.
- Wei, X., Sauvage, S., Le, T. P. Q., Ouillon, S., Orange, D., Vinh, V. D., y Sanchez-Perez, J.-M. (2019). A modeling approach to diagnose the impacts of global changes on discharge and suspended sediment concentration within the red river basin. *Water*, 11(5), 958.
- Whinney, J., Jones, R., Duckworth, A., y Ridd, P. (2017). Continuous in situ monitoring of sediment deposition in shallow benthic environments. *Coral Reefs*, 36(2), 521–533.
- Winterwerp, J. C., y Van Kesteren, W. G. (2004). *Introduction to the physics of cohesive sediment dynamics in the marine environment*. Elsevier.
- Wohl, E. (2013). *Mountain rivers revisited*. John Wiley & Sons.
- Wold, S., Esbensen, K., y Geladi, P. (1987). Principal component analysis. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 2(1-3), 37–52.
- Wosiacki, L. F., Suekame, H. K., Wood, M. S., Gonçalves, F. V., y Bleninger, T. (2021). Mapping of suspended sediment transport using acoustic methods in a pantanal tributary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1–19.
- Wren, D., Barkdoll, B., Kuhnle, R., y Derrow, R. (2000). Field techniques for suspended-sediment measurement. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(2), 97–104.
- Wright, S. A., Topping, D. J., y Williams, C. A. (2010). Discriminating silt-and-clay from suspended-sand in rivers using side-looking acoustic profilers. En *Joint federal inter-agency conference 2010: Hydrology and sedimentation for a changing future: existing and emerging issues*.
- Xavier, B. C., Silva, I. O., Guimarães, L. G., Gallo, M. N., Ribeiro, C. P., y Figueiredo, A. G. (2014). Estimation of suspended sediment concentration by acoustic scattering: an

- experimental and theoretical analysis for spherical particles. *Journal of soils and sediments*, 14(7), 1325–1333.
- Yang, S.-I., Zhao, Q.-y., y Belkin, I. M. (2002). Temporal variation in the sediment load of the yangtze river and the influences of human activities. *Journal of Hydrology*, 263(1-4), 56–71.
- Yeh, S.-W., Kug, J.-S., Dewitte, B., Kwon, M.-H., Kirtman, B. P., y Jin, F.-F. (2009). El niño in a changing climate. *Nature*, 461(7263), 511–514.
- Yuan, S., Tang, H., Li, K., Xu, L., Xiao, Y., Gualtieri, C., ... Melville, B. (2021). Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence between the yangtze river and the poyang lake. *Water Resources Research*, 57(3), e2020WR028284.
- Zhang, Y., Wallace, J. M., y Battisti, D. S. (1997). Enso-like interdecadal variability: 1900–93. *Journal of climate*, 10(5), 1004–1020.
- Zingg, T. (1935). *Beitrag zur schotteranalyse* (Tesis Doctoral no publicada). ETH Zurich.
- Zou, K. H., Tuncali, K., y Silverman, S. G. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3), 617–628.
- Zou, X., Song, H., Wang, C., y Ma, Z. (2016). Relationships between b-mode ultrasound imaging signals and suspended sediment concentrations. *Measurement*, 92, 34–41.
- Zounemat-Kermani, M., Matta, E., Cominola, A., Xia, X., Zhang, Q., Liang, Q., y Hinkelmann, R. (2020). Neurocomputing in surface water hydrology and hydraulics: A review of two decades retrospective, current status and future prospects. *Journal of Hydrology*, 588, 125085.
- Zubieta, R., Saavedra, M., Espinoza, J. C., Ronchail, J., Sulca, J., Drapeau, G., y Martin-Vide, J. (2019). Assessing precipitation concentration in the amazon basin from different satellite-based data sets. *International Journal of Climatology*, 39(7), 3171–3187.

ANEXOS

ANEXO 01: CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS OTORGADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGIA DEL AGUA (CITA-UTEC)



Lima, 07 de Febrero de 2023

CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DEL CITA-UTEC

Por la presente autorizo a él (la) Sr(a). **CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO**, identificado(a) con DNI **N° 71197020** quien ha trabajado en el Centro de Investigación y Tecnología del Agua – CITA la cual forma parte de la empresa UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA con RUC N° 20545990998 desde el 16 de Julio del 2018 hasta el 15 de Diciembre del 2021, desempeñando el cargo de **ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN DE CITA** en el área de DIRECCIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y CITA, a hacer uso de los datos pertenecientes al CITA-UTEC para su trabajo de tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL).

Esta autorización permite al solicitante a hacer uso de los datos para uso exclusivo de su tesis de grado, en la cual debe indicarse la pertenencia de los datos al CITA-UTEC. Igualmente, en caso de que los datos quieran ser utilizados para otras publicaciones, debe gestionarse una nueva solicitud de uso de datos.

Asimismo, pedimos incluir a CITA-UTEC y la organización Gordon y Betty Moore en la sección de agradecimientos como proveedores de datos.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Atentamente,

Patrick Venail Z.

Director Centro de Investigación y Tecnología del Agua – CITA
Director departamento de Ingeniería Ambiental
Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC

ANEXO 02: DECLARACIÓN JURADA DE NO INTERESES DE DATOS

Huánuco, 21 de marzo del 2023

**DECLARACIÓN JURADA DE
NO INTERESES DE USO DE DATOS**

Yo, **Hernan Arturo Chicchon Justiniano**, identificado con **DNI 71197020**, declaro bajo juramento que los datos utilizados en mi tesis titulada "Técnica de retrodispersión acústica como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonia peruana" fueron proporcionados por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC).

Los datos utilizados pertenecen al proyecto denominado "Evaluación científica de la forma y el caudal de los ríos: información de referencia para las directrices de infraestructura en la Amazonía peruana (Grant ID: GBMF7711)" financiado por la Fundación Gordon and Betty Moore y ejecutado por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA-UTEC).

Declaro que no tengo ningún interés personal, financiero o de otra índole en el uso de los datos proporcionados por el CITA-UTEC. También declaro que no he utilizado los datos para ningún otro propósito que no sea el de realizar mi tesis.

Fui parte de dicho proyecto como asistente de investigación del CITA-UTEC desde el 16 de Julio del 2018 hasta el 15 de diciembre del 2021, lo cual permitió el desarrollo de esta tesis.

Declaro que he cumplido con todas las obligaciones legales y éticas en relación con el uso de los datos proporcionados por el CITA-UTEC y que me comprometo a mantener la confidencialidad y seguridad de los mismos.

En consecuencia, firmo la presente declaración jurada en señal de conformidad con todo lo expresado en ella.



Hernan Arturo Chicchon Justiniano
DNI 71197020

ANEXO 03: CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO ADCP, PROPORCIONADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)



Lima, 21 de Marzo del 2023

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO: ADCP

El Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA), que forma parte de la empresa UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA con RUC N° 20545990998, hace constar que el instrumento ADCP de la marca Teledyne, modelo RiverRay, utilizado por nuestro centro, ha sido validado para realizar aforos en ríos y corrientes de agua, lo cual lo convierte en una herramienta útil para investigaciones y publicaciones.

Nuestro equipo ADCP, fabricado por "Teledyne RD Instruments", modelo RiverRay, fue sometido a pruebas de validación por parte de nuestros especialistas, quienes evaluaron su capacidad para medir velocidades y flujos de agua, obteniendo datos precisos y acordes con los ríos monitoreados. Los resultados de las pruebas, supervisadas por nuestros especialistas, indican que el equipo cumple con las especificaciones técnicas requeridas para la medición de caudales en corrientes de agua, por lo que se puede utilizar con confianza para obtener datos hidrológicos.

Además, se realizaron verificaciones de campo del equipo para demostrar su adecuado uso en investigaciones y publicaciones científicas. Se comprobó que el ADCP cumple con los estándares de calidad necesarios para obtener datos fiables y precisos, por lo que se puede utilizar para llevar a cabo investigaciones y publicaciones en el ámbito de la hidrología.

La presente constancia se emite a nombre de **CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO**, identificado con **DNI N° 71197020**, para ser utilizada como anexo de su tesis de grado titulada "Técnica de retrodispersión acústica como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de Amazonia peruana", presentada ante la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL).

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que considere convenientes.

Atentamente,

Patrick Venail Z.

Director Centro de Investigación y Tecnología del Agua – CITA
Director departamento de Ingeniería Ambiental
Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC

ANEXO 04: CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA MUESTREO DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS USADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)



Dr. Medardo Silva Soto, Av. Miguel Grau
Barranco, Lima - Perú
Tel: 601 230 - 5000
www.utec.edu.pe

Lima, 21 de Marzo del 2023

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO PARA MUESTREO DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS

El Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA), que forma parte de la empresa UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA con RUC N° 20545990998, hace constar que el instrumento de muestreo de sedimentos suspendidos usado por el CITA, que consiste en una variación del muestreador Niskin al cual se le adiciona un lastre hidrodinámico similar al muestreador puntual de sedimentos suspendidos P-61 usado por la USGS, Estados Unidos, ha sido validado y verificado para su uso en investigaciones y publicaciones.

Nuestro instrumento de muestreo de sedimentos suspendidos fue sometido a pruebas de validación por parte de nuestros especialistas, quienes evaluaron su capacidad para muestrear sedimentos suspendidos en los ríos monitoreados. Los resultados de las pruebas, supervisadas por nuestros especialistas, indican que el equipo cumple con las especificaciones técnicas requeridas para el monitoreo de sedimentos suspendidos, por lo que se puede utilizar con confianza para mediciones sedimentológicas.

Además, se realizaron verificaciones de campo de nuestro instrumento para demostrar su uso adecuado en investigaciones y publicaciones científicas, con los cuales se comprobó su uso para la obtención de muestras confiables, por lo que se puede utilizar para llevar a cabo investigaciones y publicaciones en el ámbito de la hidráulica fluvial y sedimentología.

La presente constancia se emite a nombre de **CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO**, identificado con **DNI N° 71197020**, para ser utilizada como anexo de su tesis de grado titulada "Técnica de retrodispersión acústica como alternativa para monitoreo continuo de concentración de sedimentos suspendidos en ríos de la Amazonia peruana", presentada ante la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL).

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que considere convenientes.

Atentamente,

Patrick Venail Z.

Director Centro de Investigación y Tecnología del Agua – CITA
Director departamento de Ingeniería Ambiental
Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC

ANEXO 05: CONSTANCIA DE CALIDAD DE DATOS OBTENIDOS DE LOS PROCESOS DE LABORATORIO RELACIONADOS A LA CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS PROPORCIONADO POR EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DEL AGUA (CITA-UTEC)



Lima, 21 de Marzo del 2023

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE DATOS OBTENIDOS DE LOS PROCESOS DE LABORATORIO RELACIONADOS A LA CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS

El Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA), que forma parte de la empresa UNIVERSIDAD DE INGENIERIA Y TECNOLOGIA con RUC N° 20545990998, hace constar que los datos obtenidos de los procesos de laboratorio relacionados con la caracterización de sedimentos suspendidos, realizados por nuestro equipo de especialistas, son confiables y de calidad.

Los datos de concentración de sedimentos suspendidos fueron obtenidos mediante el método de filtrado, mientras que los diámetros de los sedimentos suspendidos fueron obtenidos mediante la técnica de difracción láser mediante el equipo LISST-Portable|XR, cuyo fabricante es la empresa Sequoia.

Nuestro equipo de especialistas ha seguido los procedimientos y estándares establecidos en la literatura científica para la obtención de dichos datos.

La presente constancia se emite a nombre de **HERNAN ARTURO, CHICCHON JUSTINIANO**, identificado con **DNI N° 71197020**, para ser utilizada como anexo de su tesis de grado titulada "Técnica de retrodispersión acústica como alternativa para monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos de la Amazonia peruana", presentada ante la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL).

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que considere convenientes.

Atentamente,

Patrick Venail Z.

Director Centro de Investigación y Tecnología del Agua – CITA
Director departamento de Ingeniería Ambiental
Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC

ANEXO 06: MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN		
			VARIABLES	SUB VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD			
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	DEPENDIENTE	Y1: Relación de mediciones de SSC con datos de retrodispersión acústica obtenido por ADCP.	Distribución en sección de la SSC medida en campo	Ingeniería de sedimentos e hidroacústica	Cantidad de material sólido presente en una solución, generalmente agua, en forma de partículas suspendidas.	mg/L		
¿Es confiable el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa para el monitoreo continuo de la SSC en ríos de la Amazonia peruana?	Verificar el uso de la técnica de retrodispersión acústica (backscatter) como alternativa confiable para monitoreo continuo de SSC en ríos de la Amazonia peruana.	La técnica de retrodispersión acústica es una alternativa confiable para el monitoreo continuo de la concentración de sedimentos suspendidos en ríos de la Amazonia peruana, y su uso está influenciado por las variables de morfología fluvial, hidrodinámica, sedimentología y régimen de lluvia.			Distribución en sección de la retrodispersión acústica		El decibel es una unidad logarítmica que se utiliza para expresar la intensidad de una señal acústica y permite comparar señales de diferentes magnitudes.	db		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	INDEPENDIENTE	VARIABLES	SUB VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD		
¿Existe una influencia de la morfología fluvial en la variabilidad de SSC en ríos de la Amazonia peruana?	Verificar influencia de la morfología fluvial en la SSC en ríos de la Amazonia peruana	La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonia peruana está influenciada positivamente por la variabilidad de la morfología fluvial, medida a través de su sinuosidad.							X1: Morfología fluvial	Sinuosidad
¿Existe influencia de la hidrodinámica sobre la SSC en ríos de la Amazonia peruana?	Verificar la influencia de la hidrodinámica en la SSC en ríos de la Amazonia peruana	La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonia peruana está influenciada positivamente por la variabilidad de la hidrodinámica, medida a través del caudal, velocidades de flujo primario y secundario.	INDEPENDIENTE	X2: Hidrodinámica	Caudal	Hidraulica	Cantidad de agua que fluye a través de un punto en un período determinado de tiempo. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo	m ³ /s		
¿Existe influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC?	Verificar la influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC	La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonia peruana está influenciada positivamente por la variabilidad sedimentológica, medida a través de diámetros y clasificación.			X3: Sedimentología		Concentración	Ingeniería de sedimentos	Cantidad de material sólido en suspensión en una muestra de agua	mg/L
							Diámetros		Es la medida de las dimensiones de las partículas de sedimento en suspensión en un cauce fluvial o en una muestra de agua	µm
¿Existe influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la SSC en ríos de la Amazonia peruana?	Verificar la influencia del régimen de lluvia de los principales afluentes sobre la SSC en ríos de la Amazonia Peruana	La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonia peruana está influenciada positivamente por el régimen de lluvia, medida a través de la cantidad y distribución de las precipitaciones.	X4: Régimen de lluvia	Precipitación	Hidrología	Cantidad de lluvia que cae en un área específica durante un período de tiempo determinado	mm			
¿Existe influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC?	Verificar la influencia de las características sedimentológicas de los SS medidos respecto a la distribución de SSC	La concentración de sedimentos suspendidos en los ríos de la Amazonia peruana está influenciada positivamente por la variabilidad sedimentológica, medida a través de diámetros y clasificación.		X3: Sedimentología		Clasificación	Clasificación del tipo de SS en cohesivos y no cohesivos	—		
						Área de drenaje	Extensión de superficie que drena hacia un punto específico	m ²		
					Raster multitemporal de precipitaciones diarias	Cantidad de lluvia que cae en un área específica durante un período de tiempo determinado	mm			

Nota: Elaboración propia.

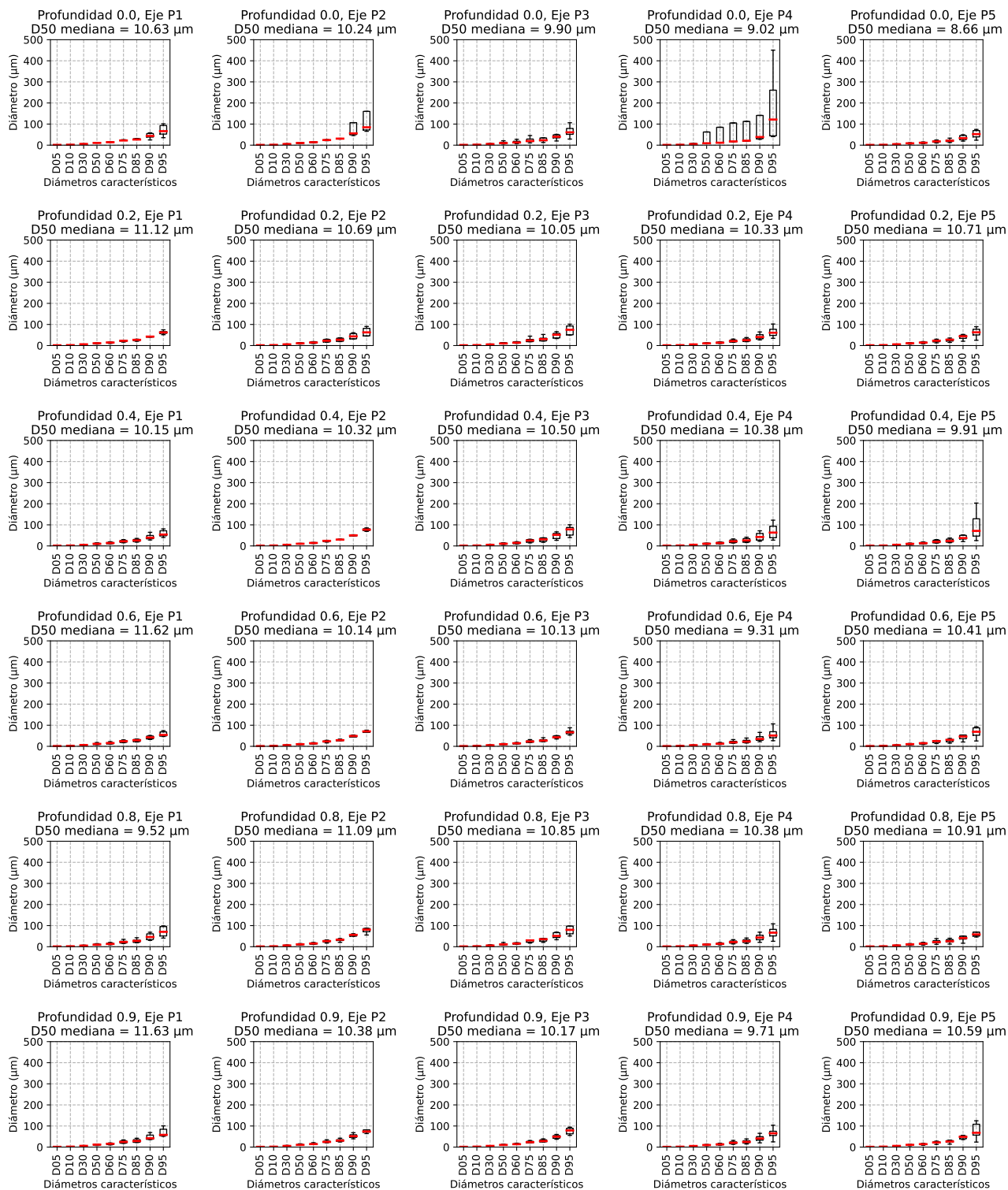
ANEXO 07: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
VARIABLES		SUB VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
DEPENDIENTE	Y1: Relación de mediciones de SSC con datos de retrodispersión acústica obtenido por ADCP.	Distribución en sección de la SSC medida en campo	Ingeniería de sedimentos e hidroacústica	Cantidad de material sólido presente en una solución, generalmente agua, en forma de partículas suspendidas.	mg/L
		Distribución en sección de la retrodispersión acústica		El decibel es una unidad logarítmica que se utiliza para expresar la intensidad de una señal acústica y permite comparar señales de diferentes magnitudes.	db
VARIABLES		SUB VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
INDEPENDIENTE	X1: Morfología fluvial	Sinuosidad	Geomorfología	Grado de curva por unidad de longitud	—
	X2: Hidrodinámica	Caudal	Hidraulica	Cantidad de agua que fluye a través de un punto en un período determinado de tiempo. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo	m^3/s
		Velocidades de flujo primario		Velocidad promedio del flujo en la sección transversal total del cauce fluvial, incluyendo la velocidad del agua en la superficie y en el fondo del canal. Se miden en unidades de distancia por unidad de tiempo	m/s
		Velocidades de flujo secundario		Patrones de velocidades a lo largo de la sección de estudio. Se mide en unidades de distancia por unidad de tiempo	m/s
	X3: Sedimentología	Concentración	Ingeniería de sedimentos	Cantidad de material sólido en suspensión en una muestra de agua	mg/L
		Diámetros		Es la medida de las dimensiones de las partículas de sedimento en suspensión en un cauce fluvial o en una muestra de agua	μm
		Clasificación		Clasificación del tipo de SS en cohesivos y no cohesivos	—
	X4: Régimen de lluvia	Precipitación	Hidrología	Cantidad de lluvia que cae en un área específica durante un período de tiempo determinado	mm
		Área de drenaje		Extensión de superficie que drena hacia un punto específico	m^2
		Raster multitemporal de precipitaciones diarias		Cantidad de lluvia que cae en un área específica durante un período de tiempo determinado	mm

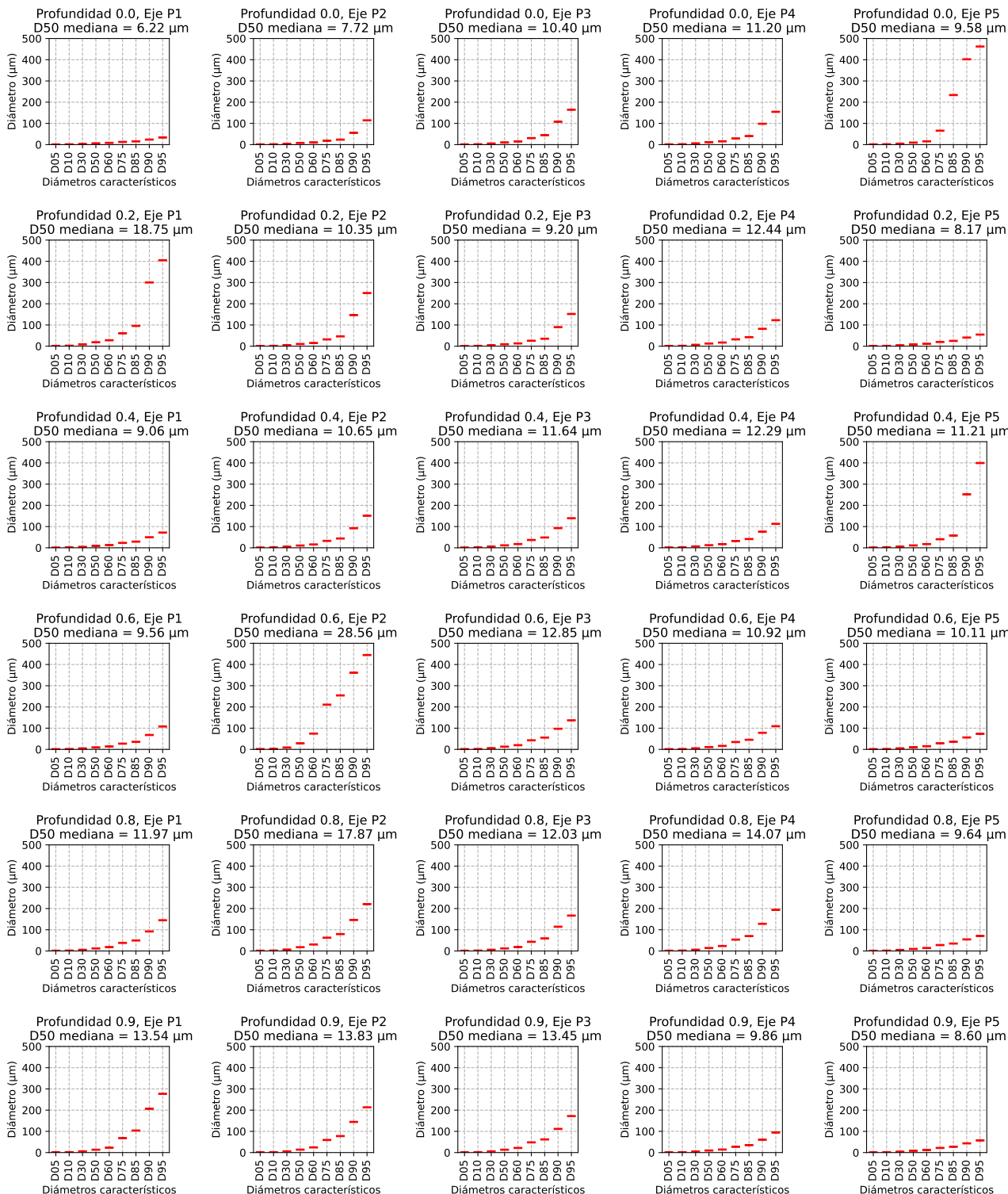
Nota: Elaboración propia

ANEXO 08: BOXPLOTS DE DISTRIBUCIÓN DE D50 Y SSC DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS PRESENTADOS POR RÉGIMEN FLUVIAL PARA LOS RÍOS EN ESTUDIO

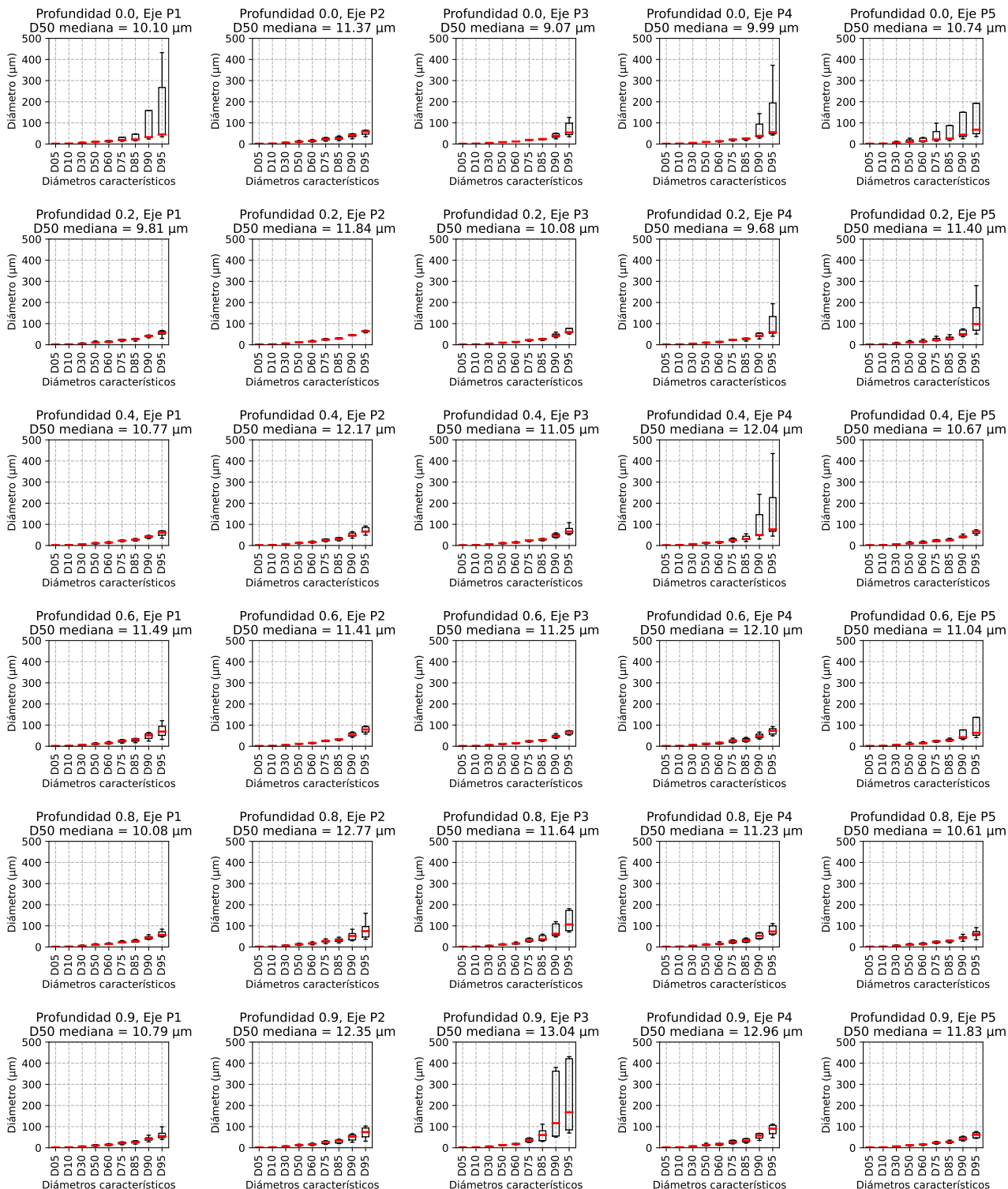
Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI) CRECIENTE (Enero - Abril)



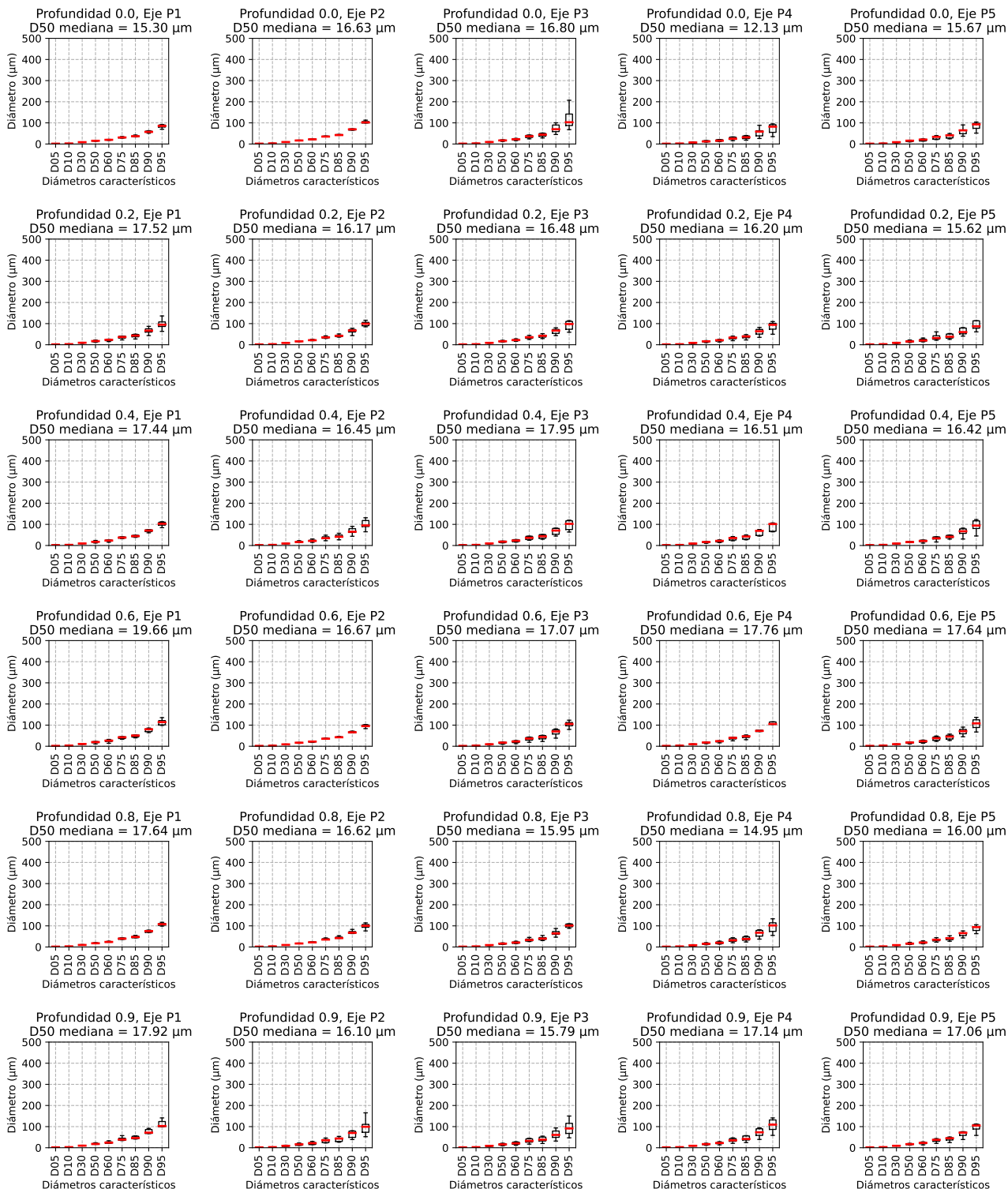
Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI) VACIANTE (Agosto - Octubre)



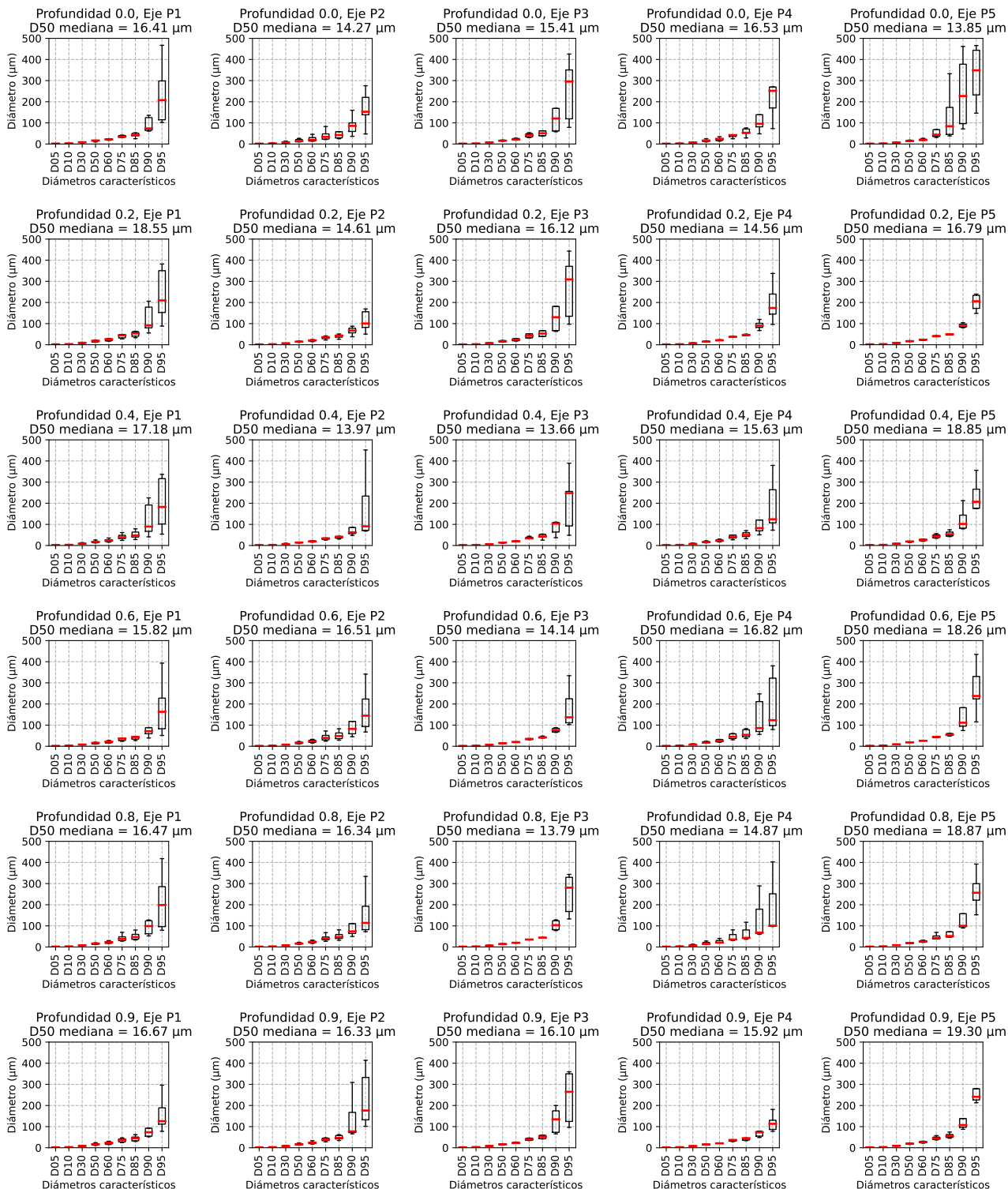
Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI) TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)



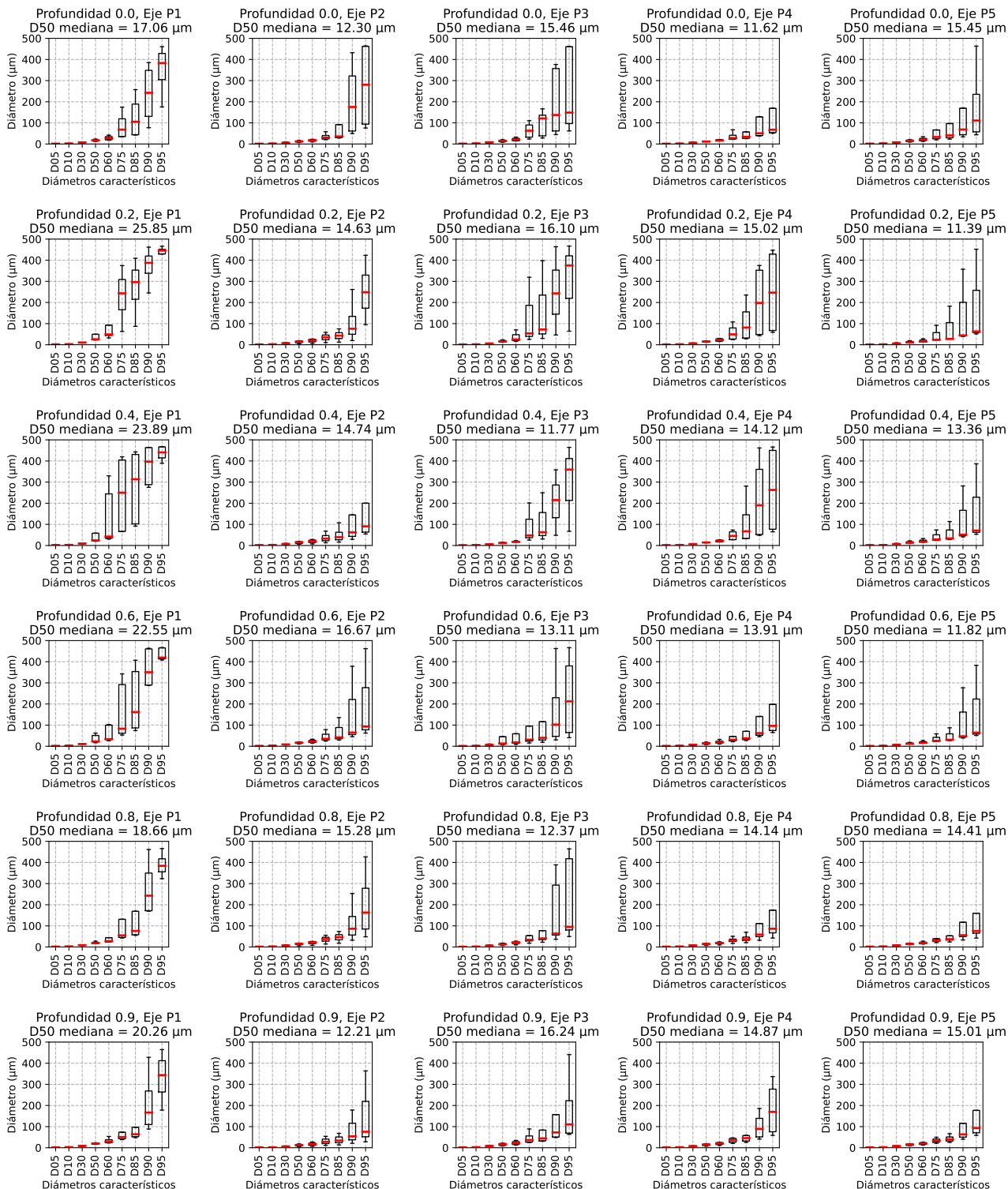
Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA) CRECIENTE (Enero - Abril)



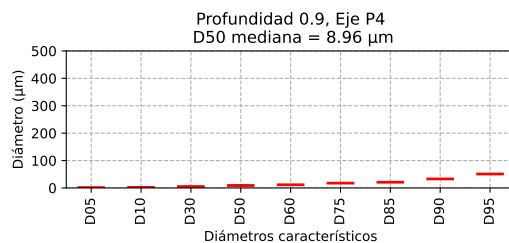
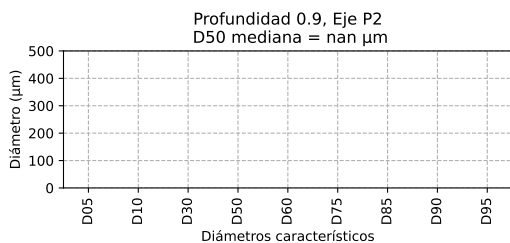
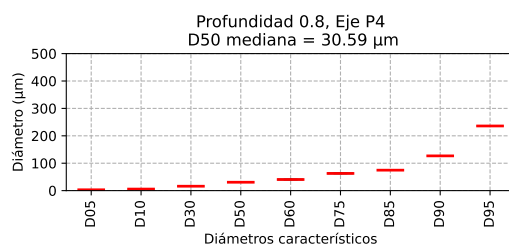
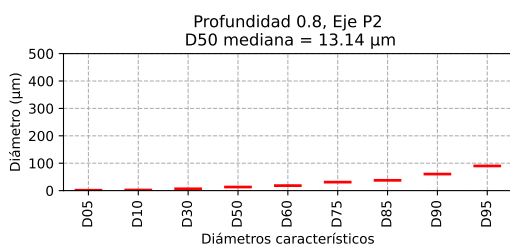
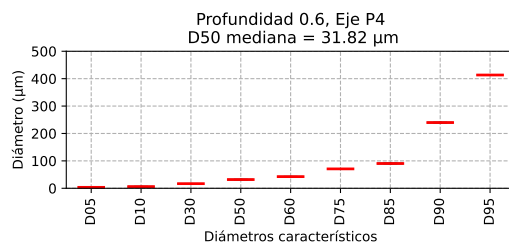
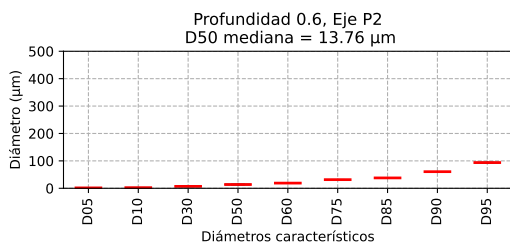
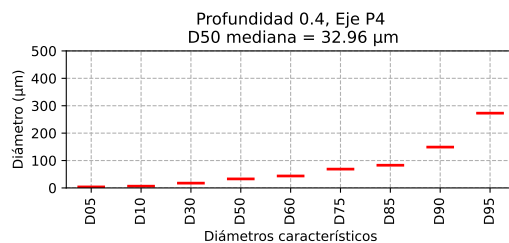
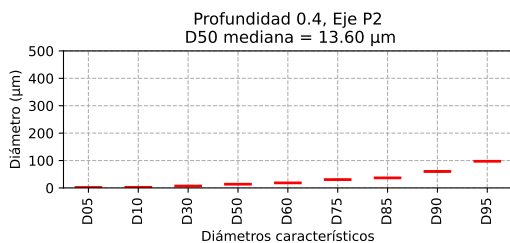
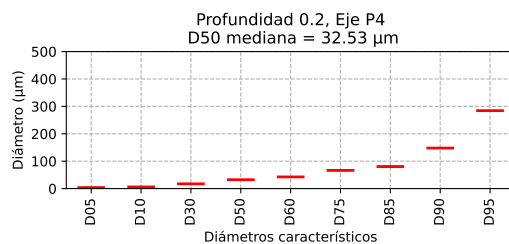
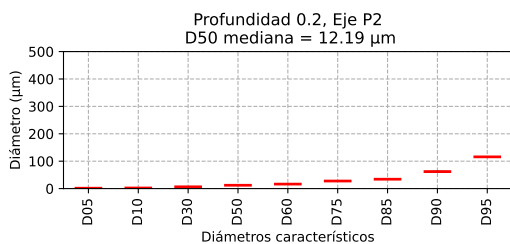
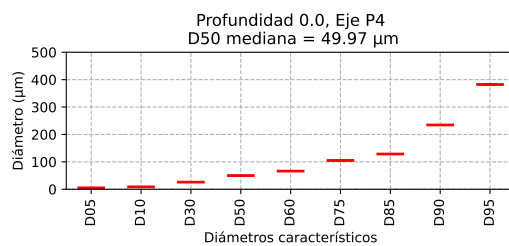
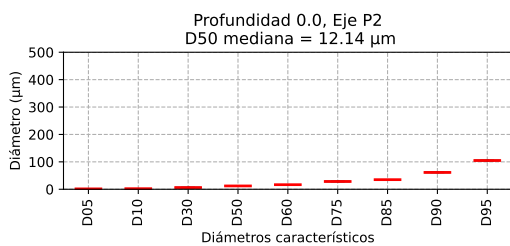
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



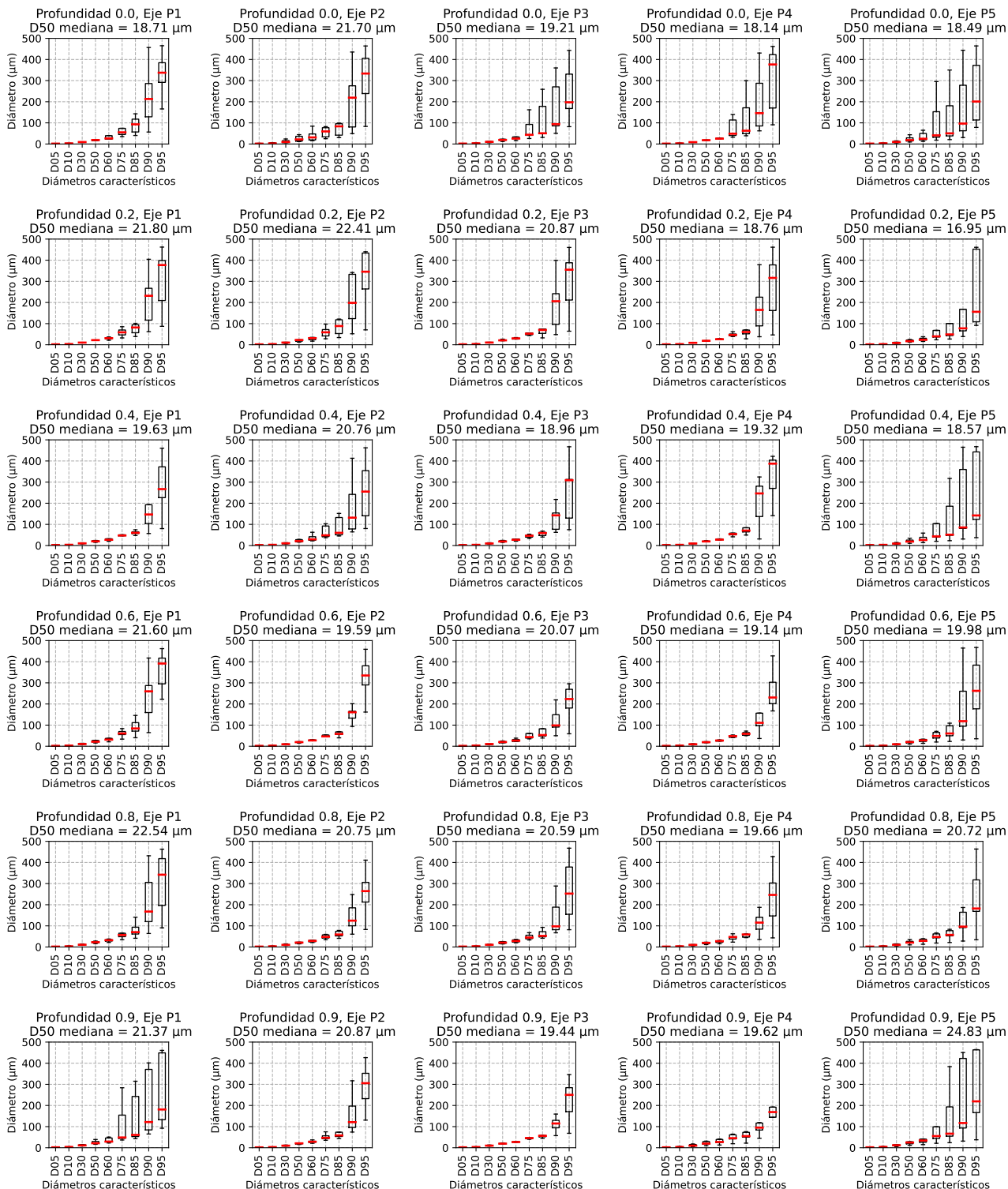
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



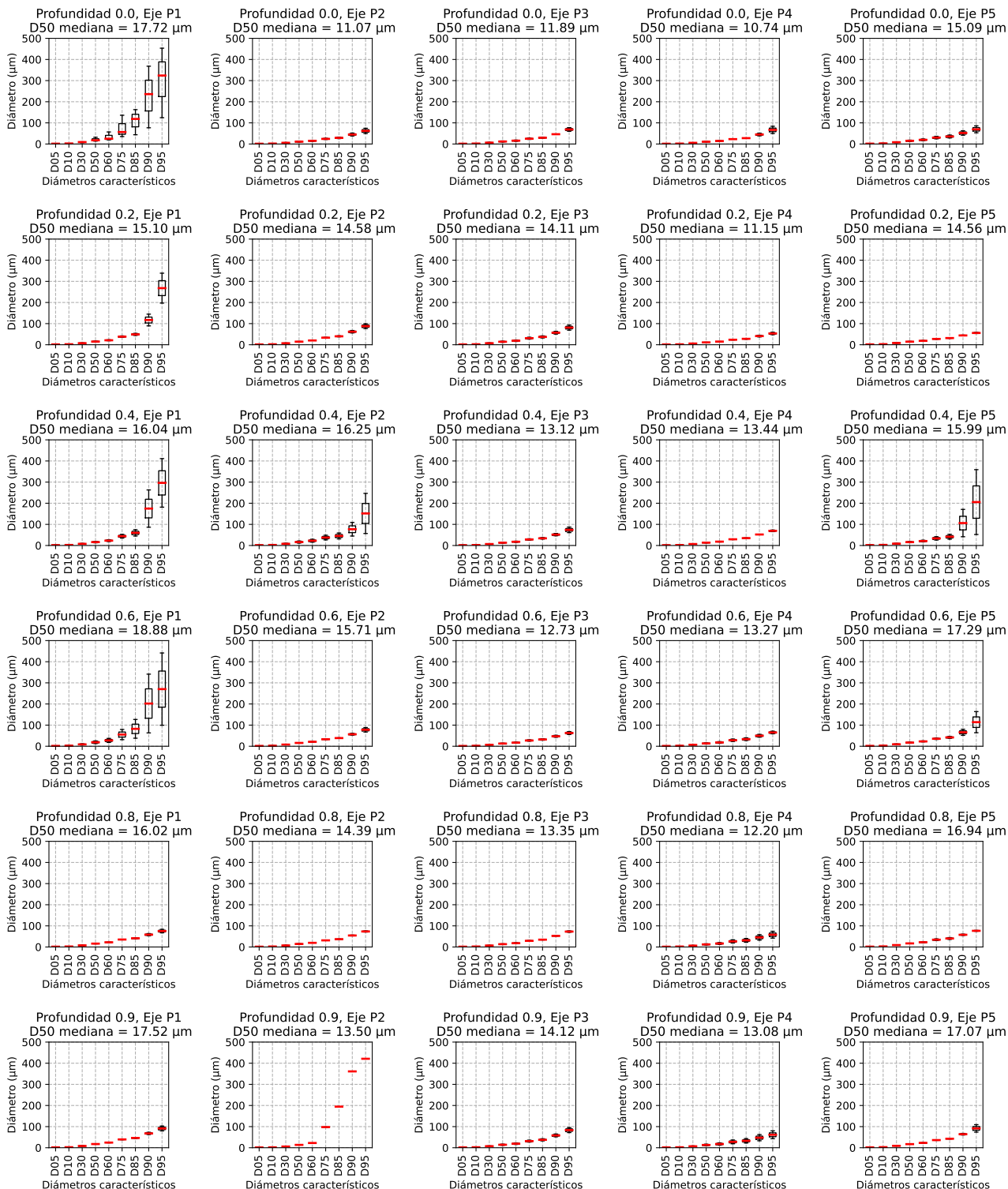
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



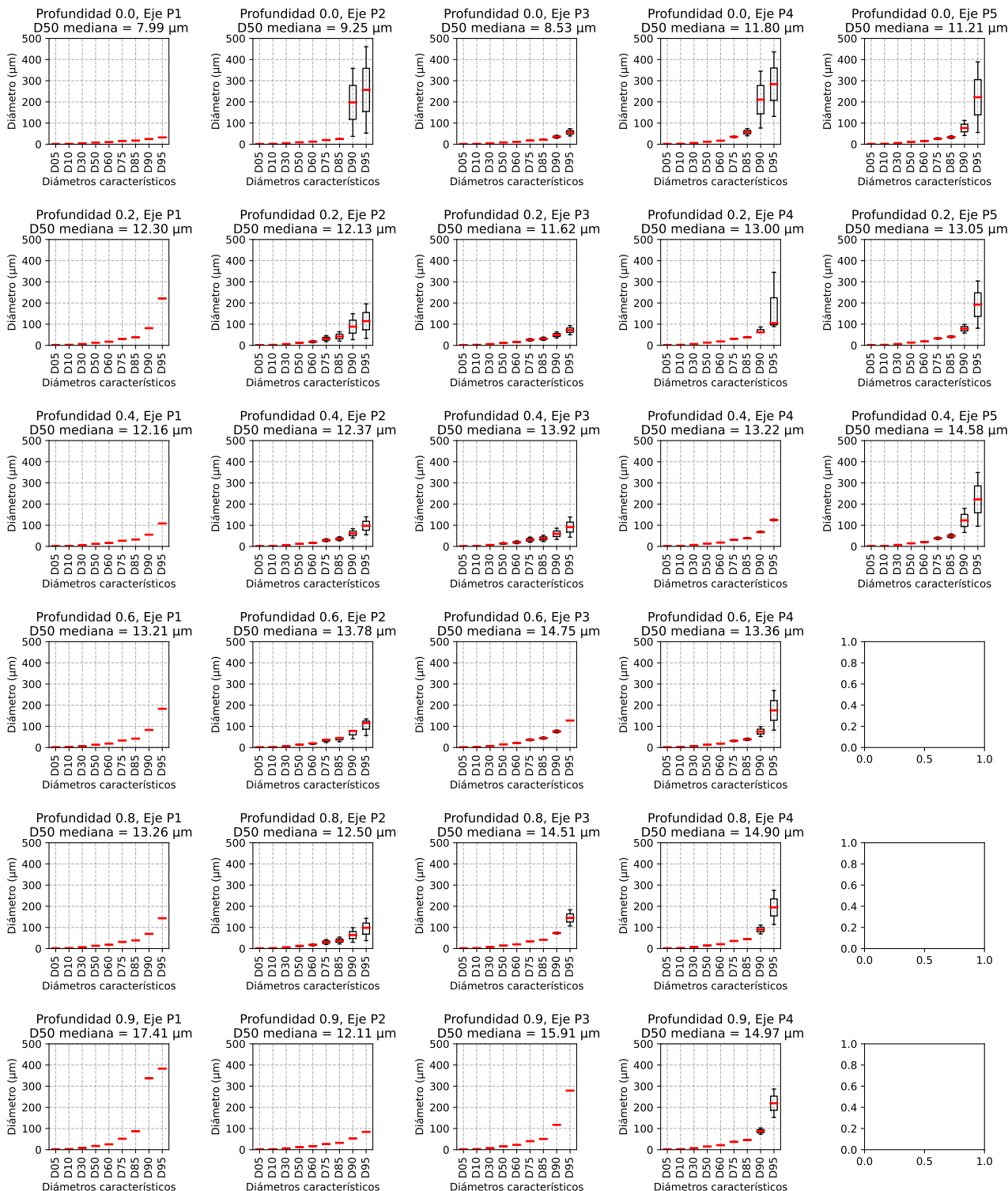
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



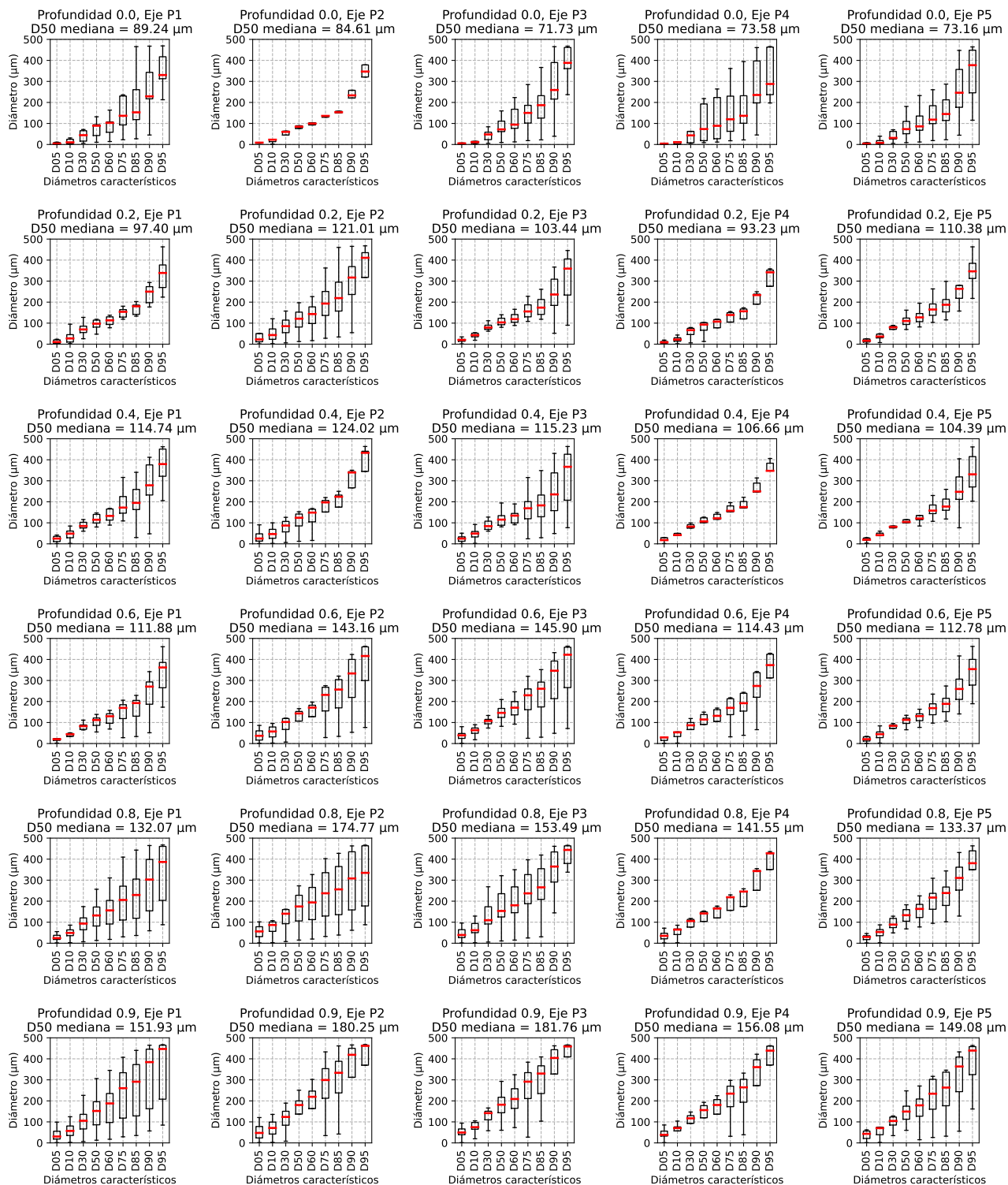
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



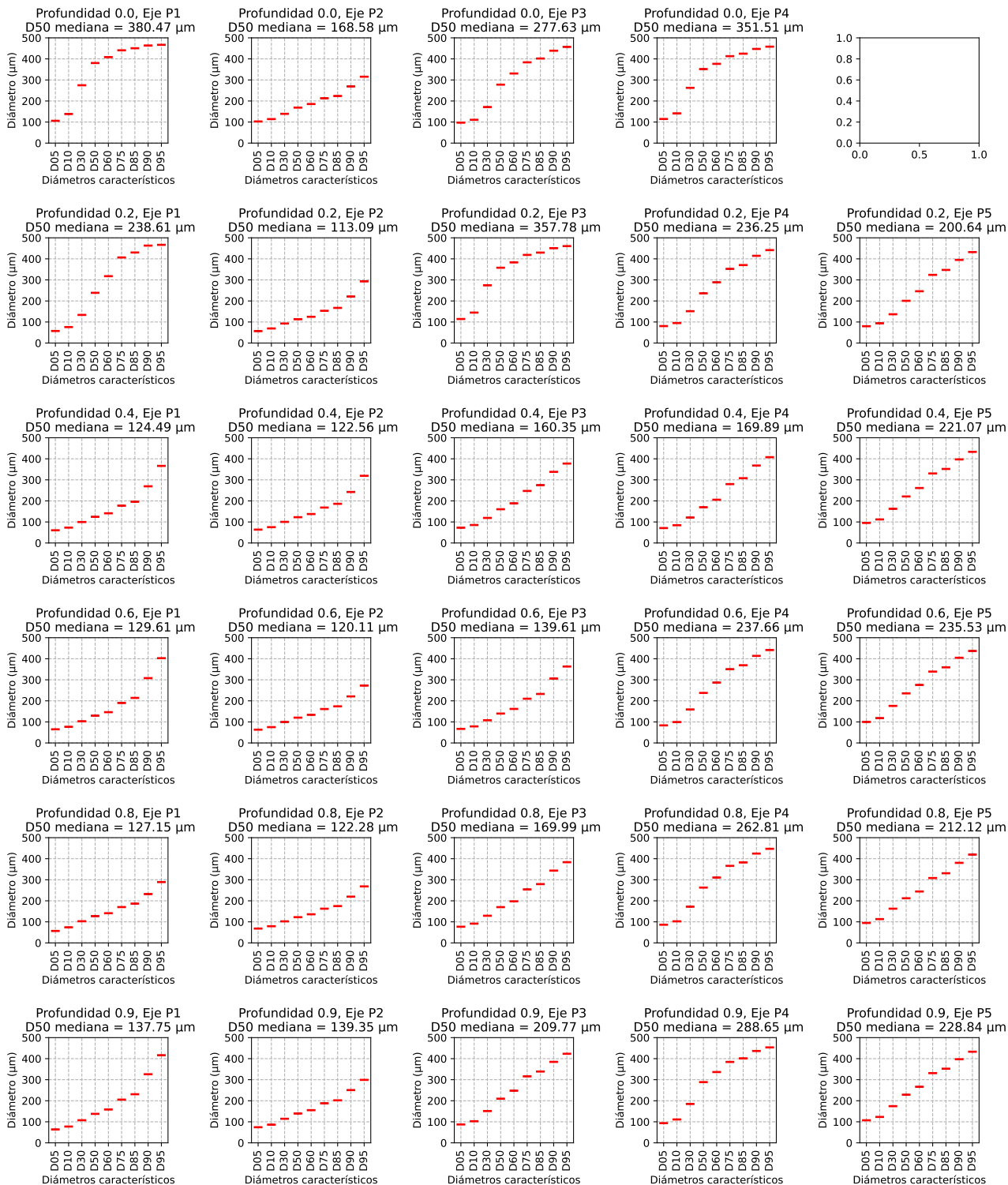
**Distribución de diámetros característicos de SS - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



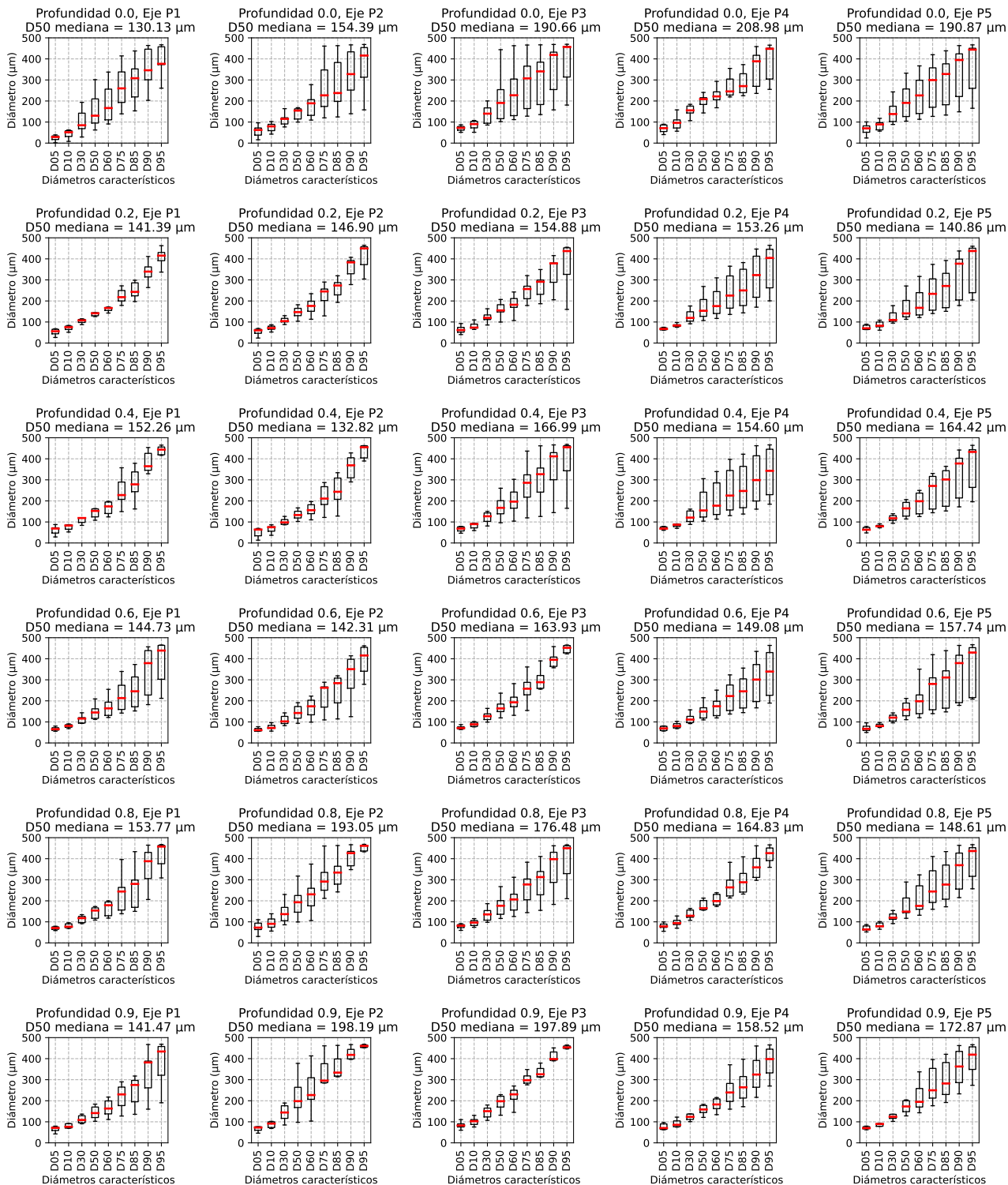
**Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



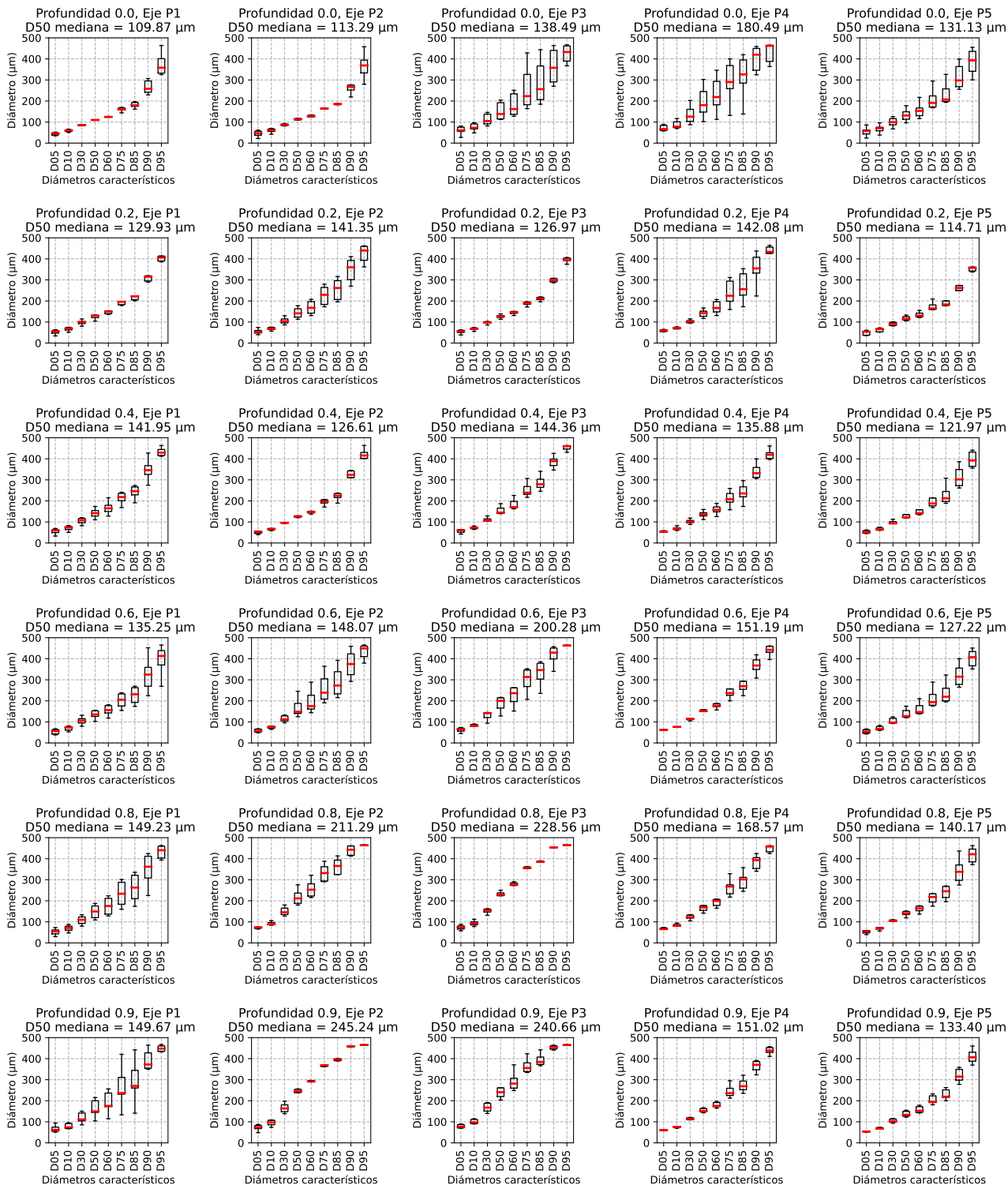
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI) VACIANTE (Agosto - Octubre)



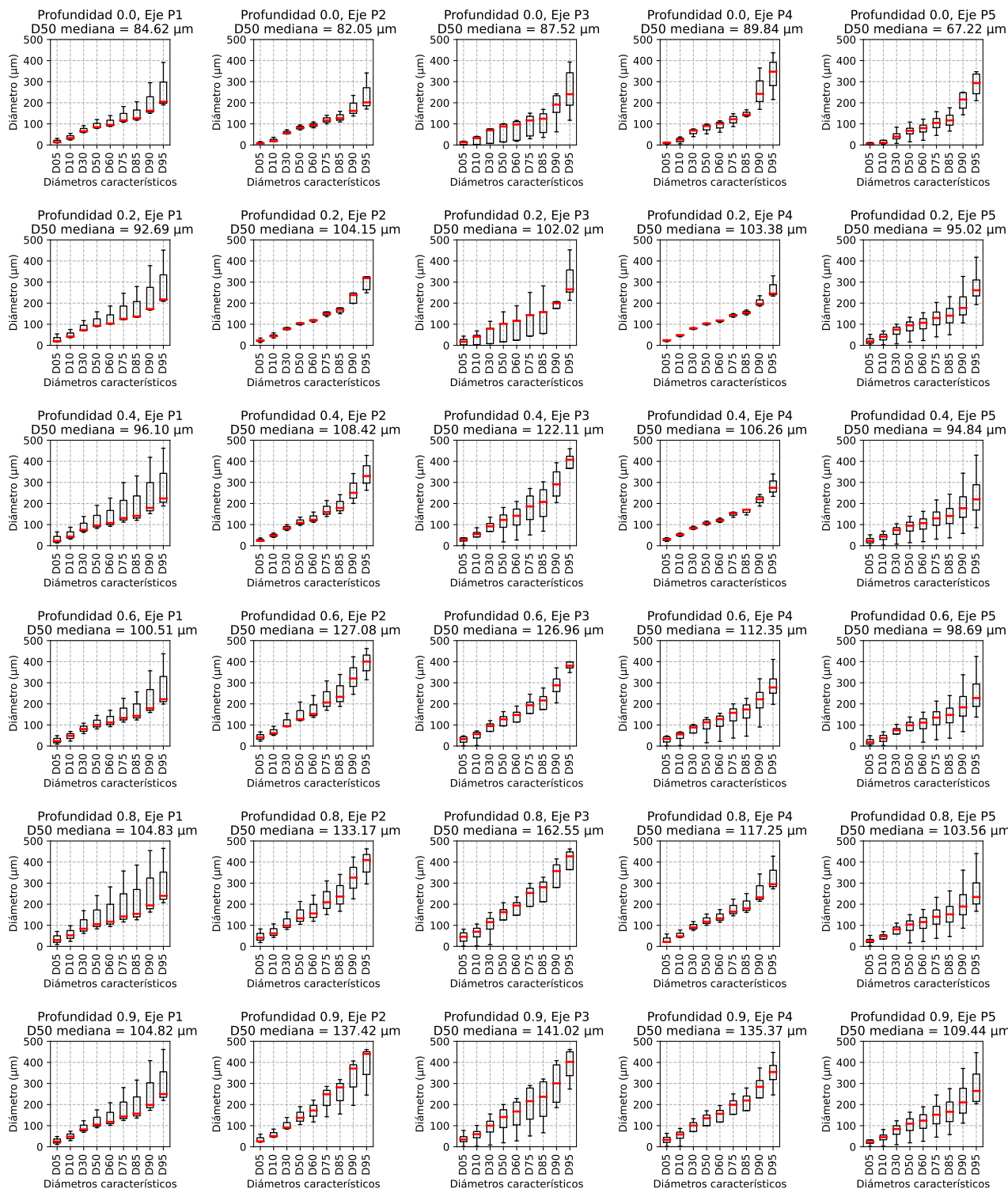
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI) TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)



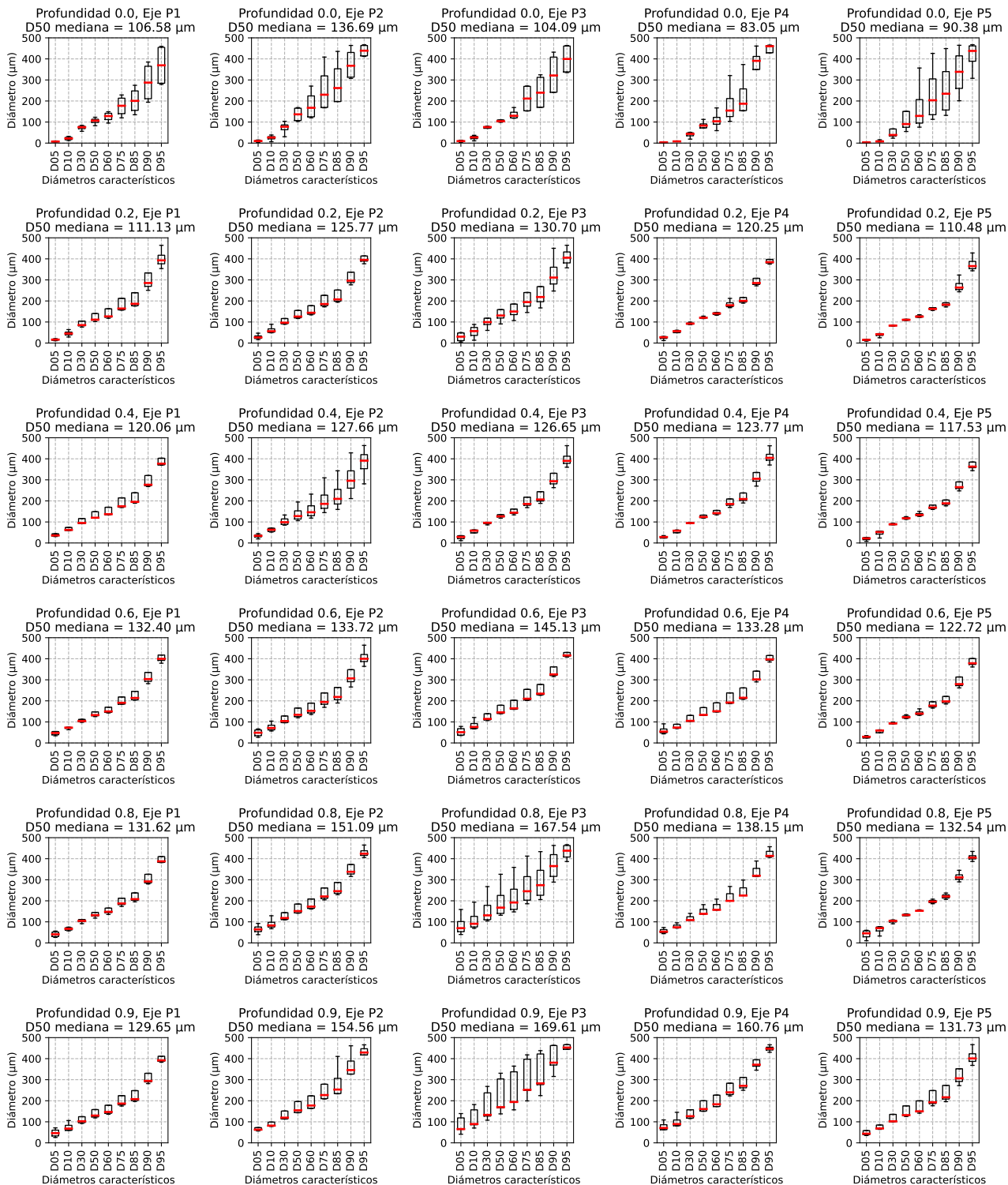
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA) CRECIENTE (Enero - Abril)



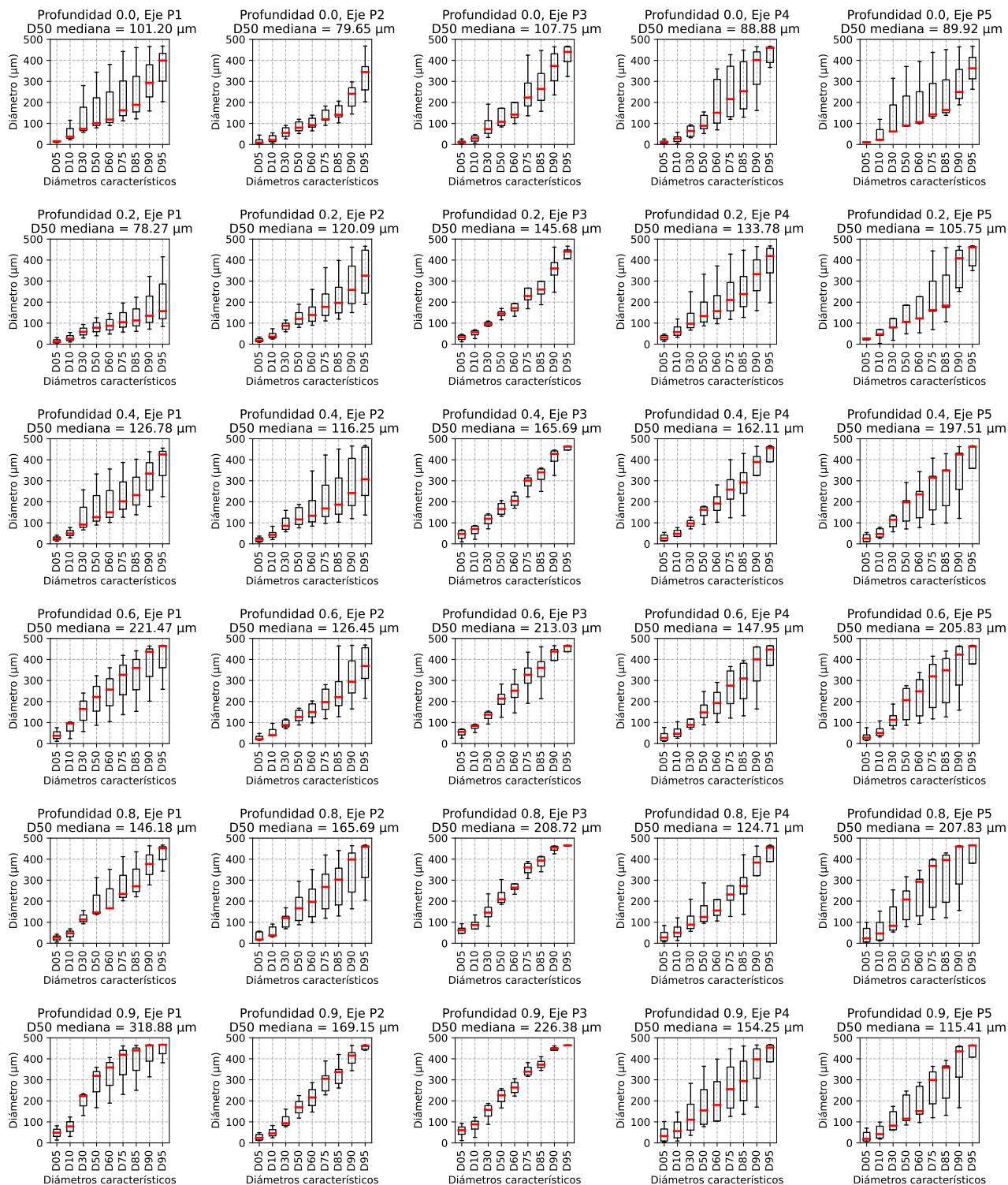
**Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



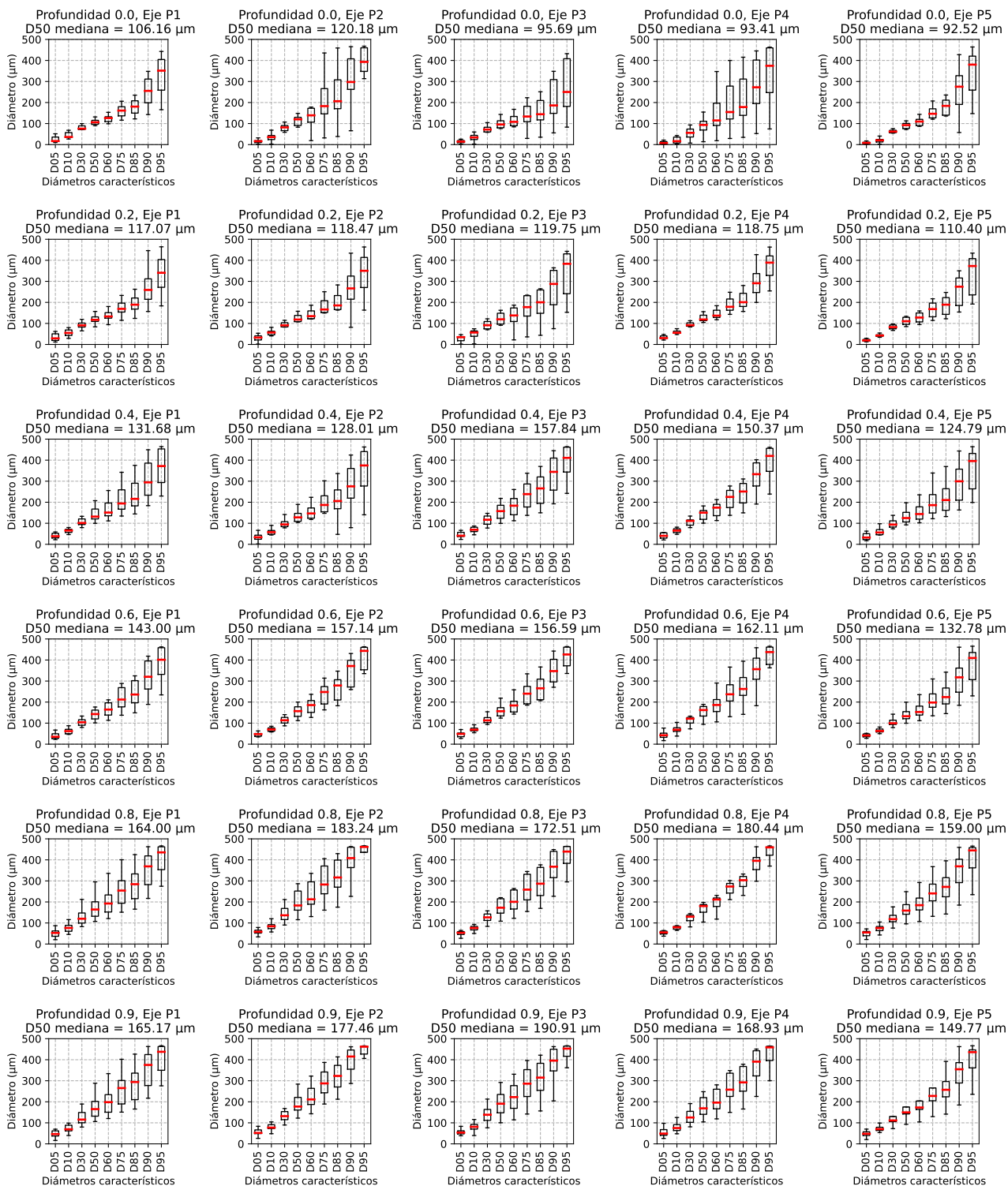
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA) VACIANTE (Agosto - Octubre)



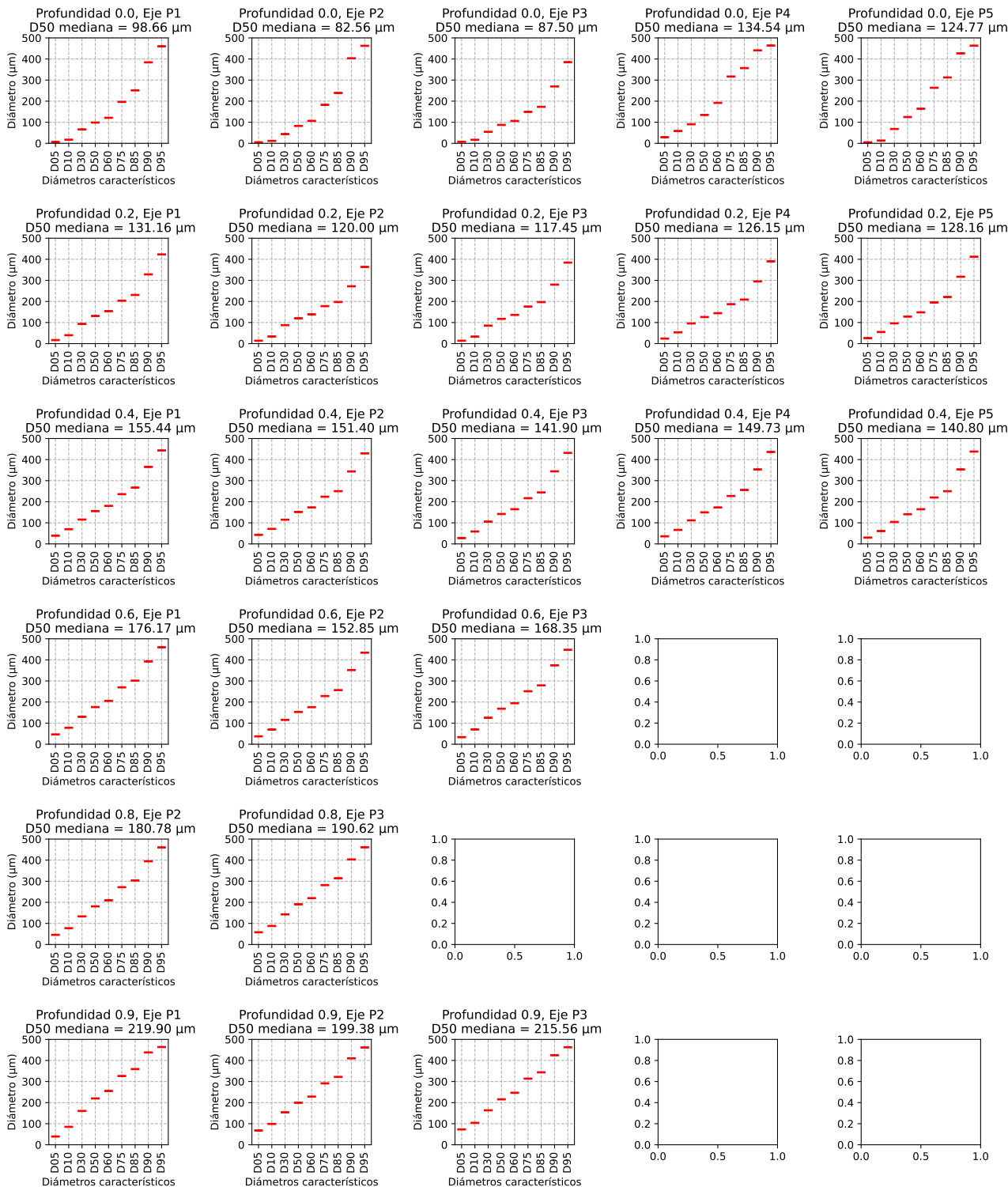
**Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN) TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)



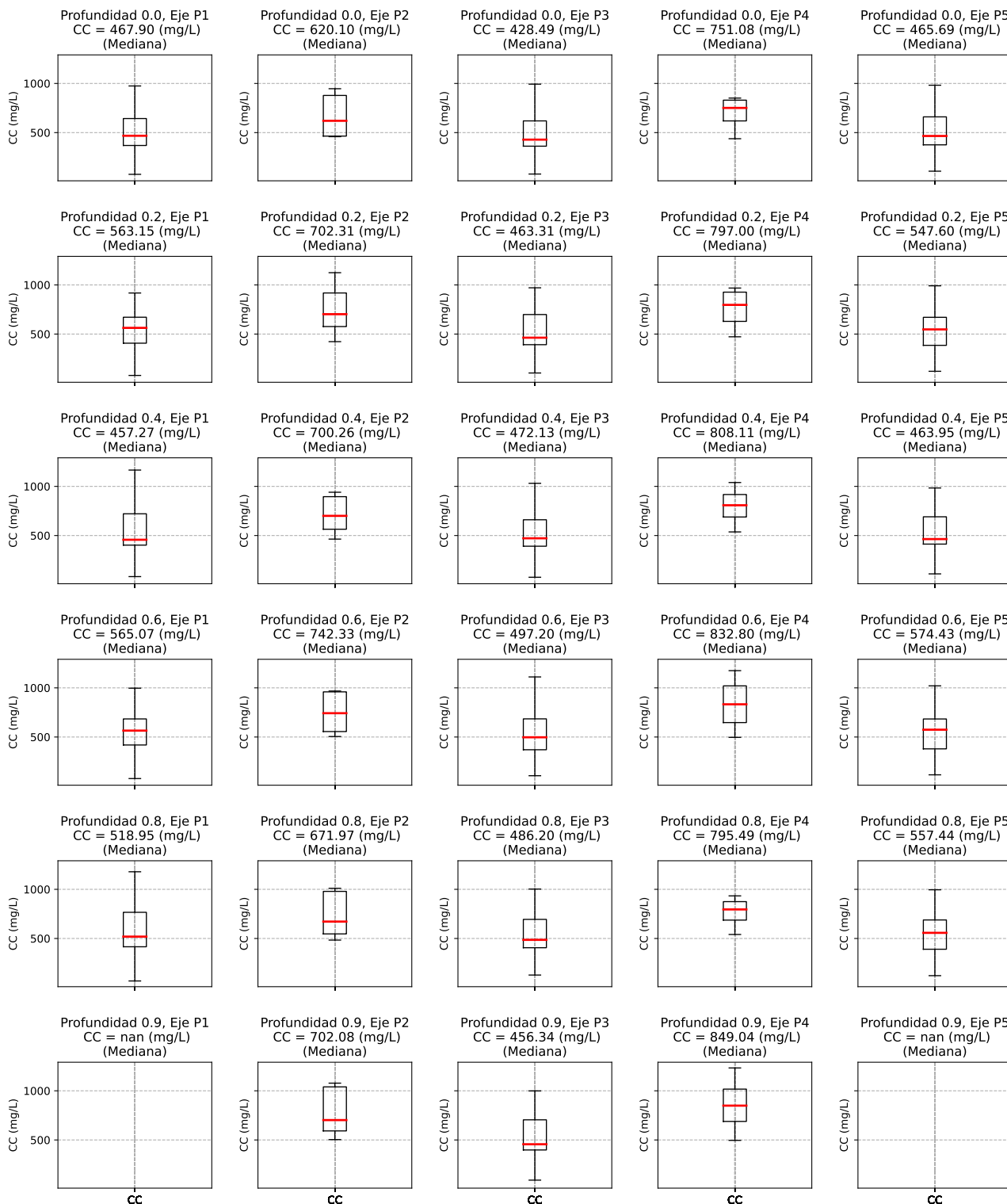
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN) VACIANTE (Agosto - Octubre)



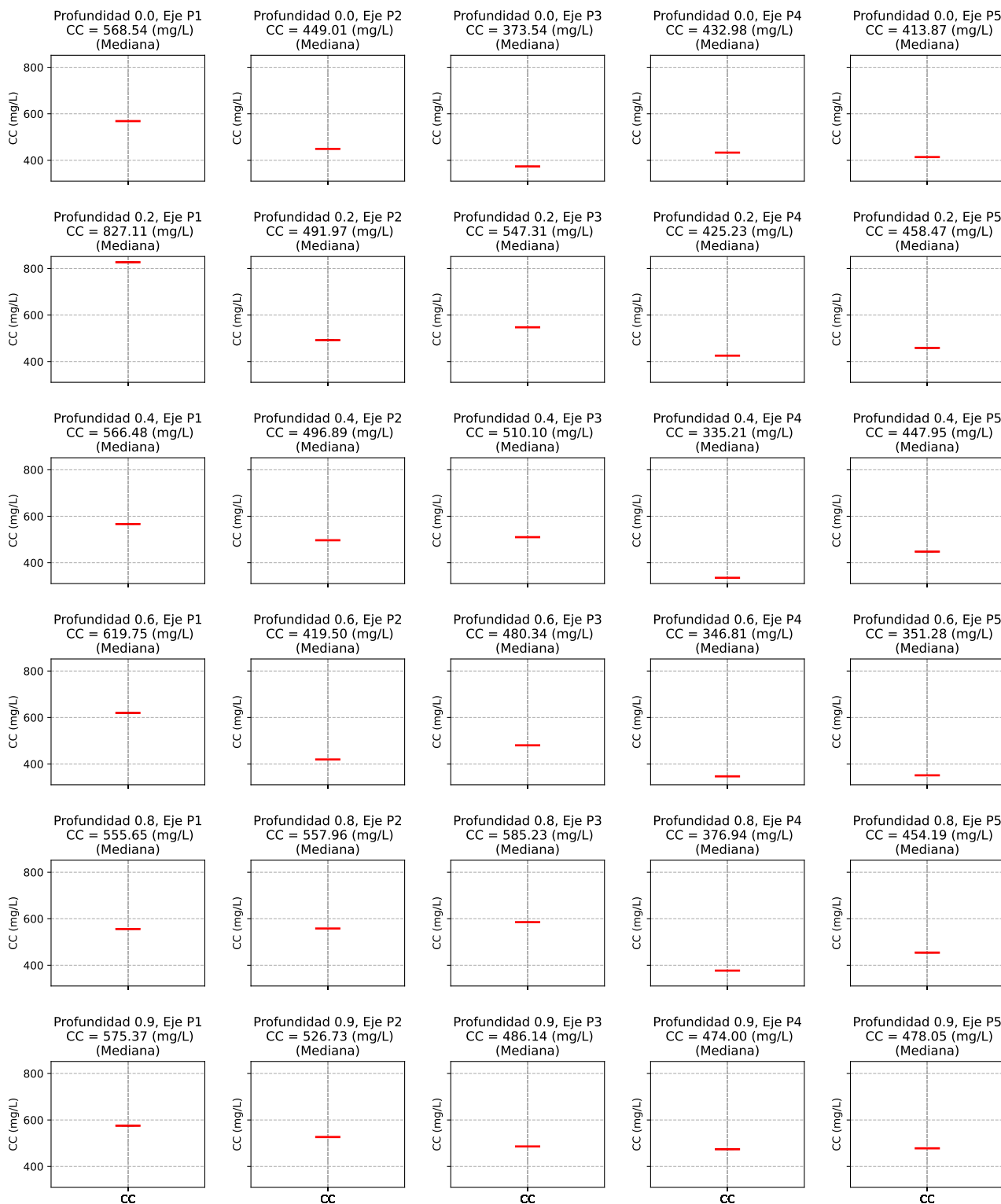
Distribución de diámetros característicos de SS - No Cohesivos para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN) TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)



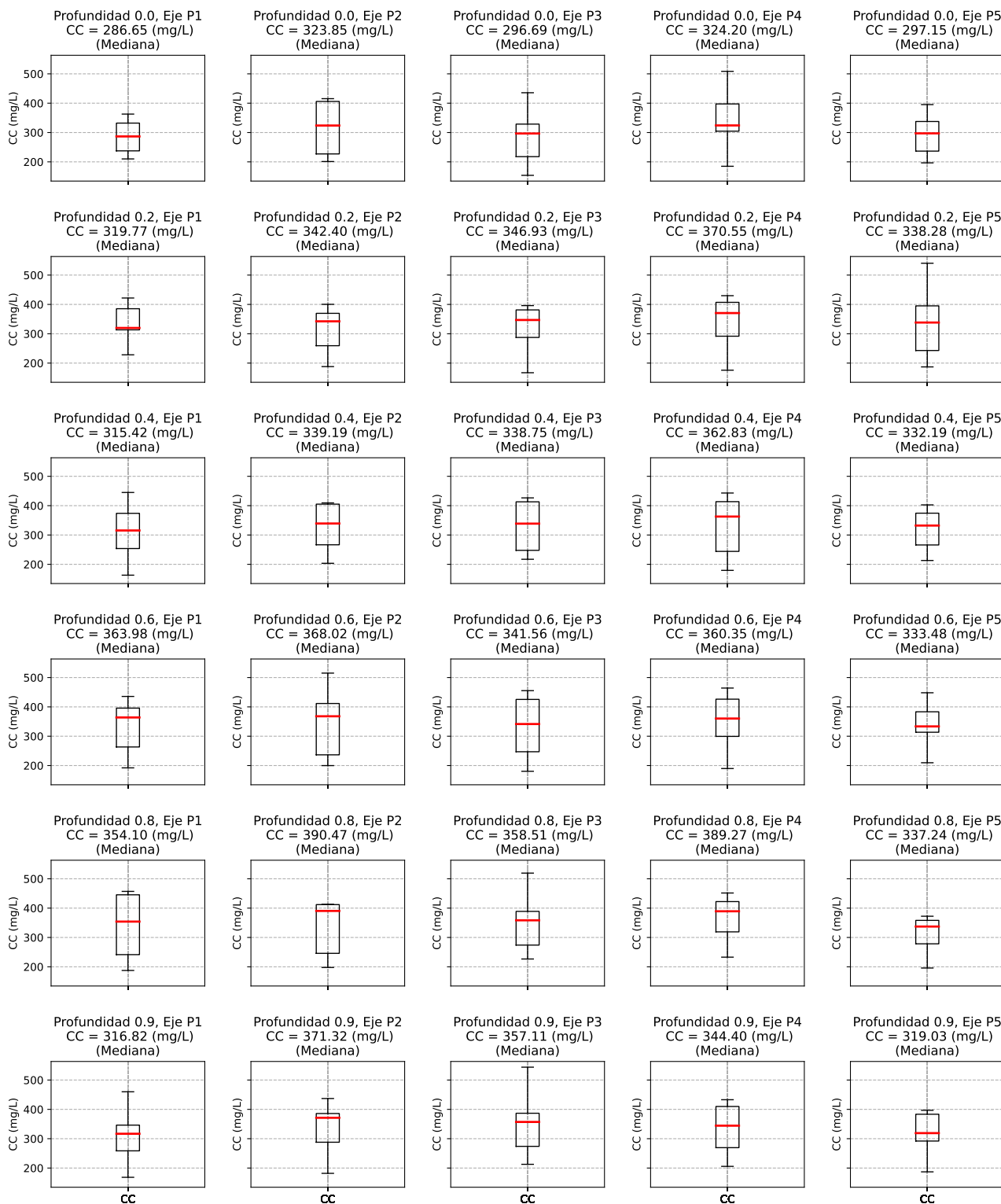
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



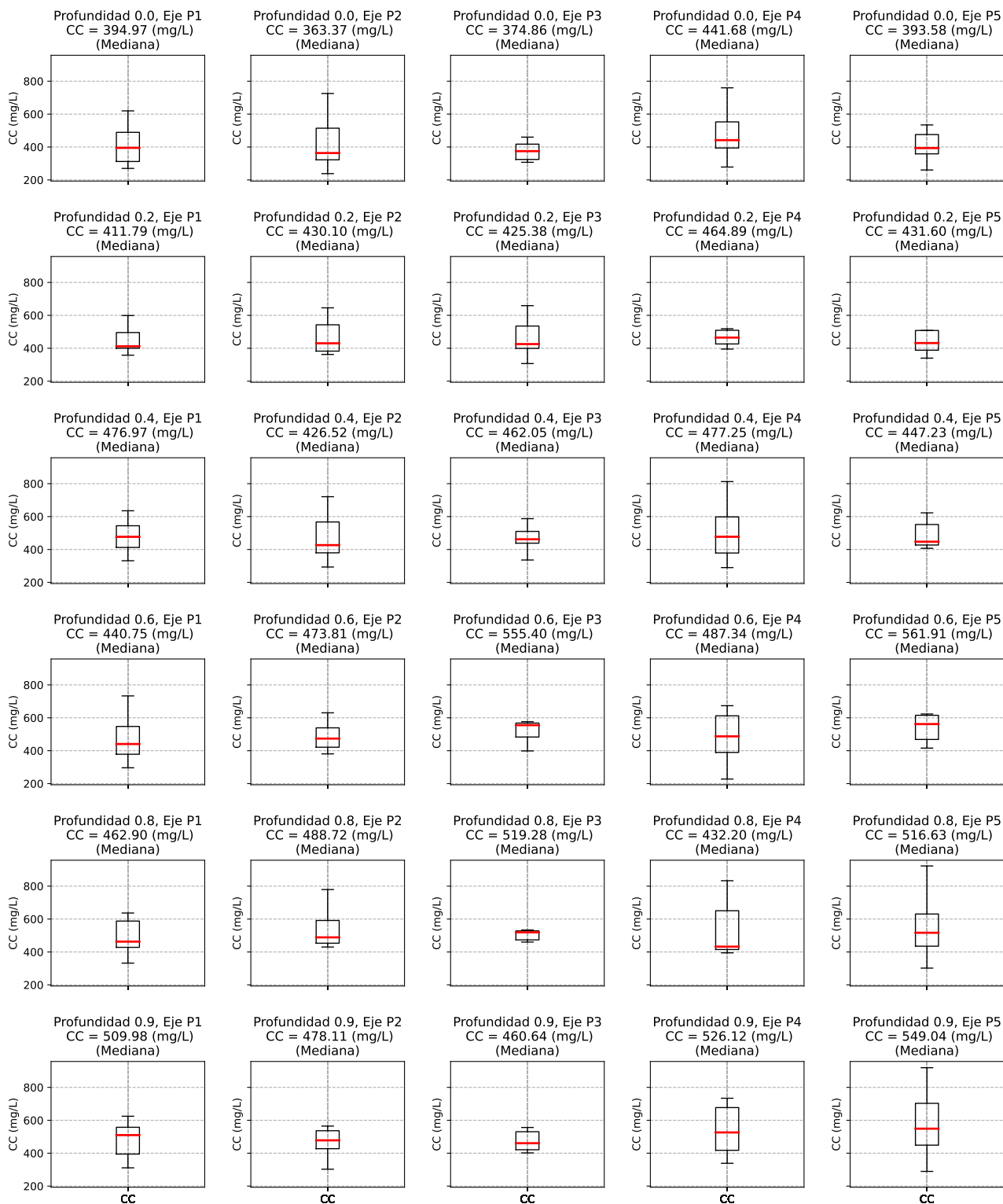
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



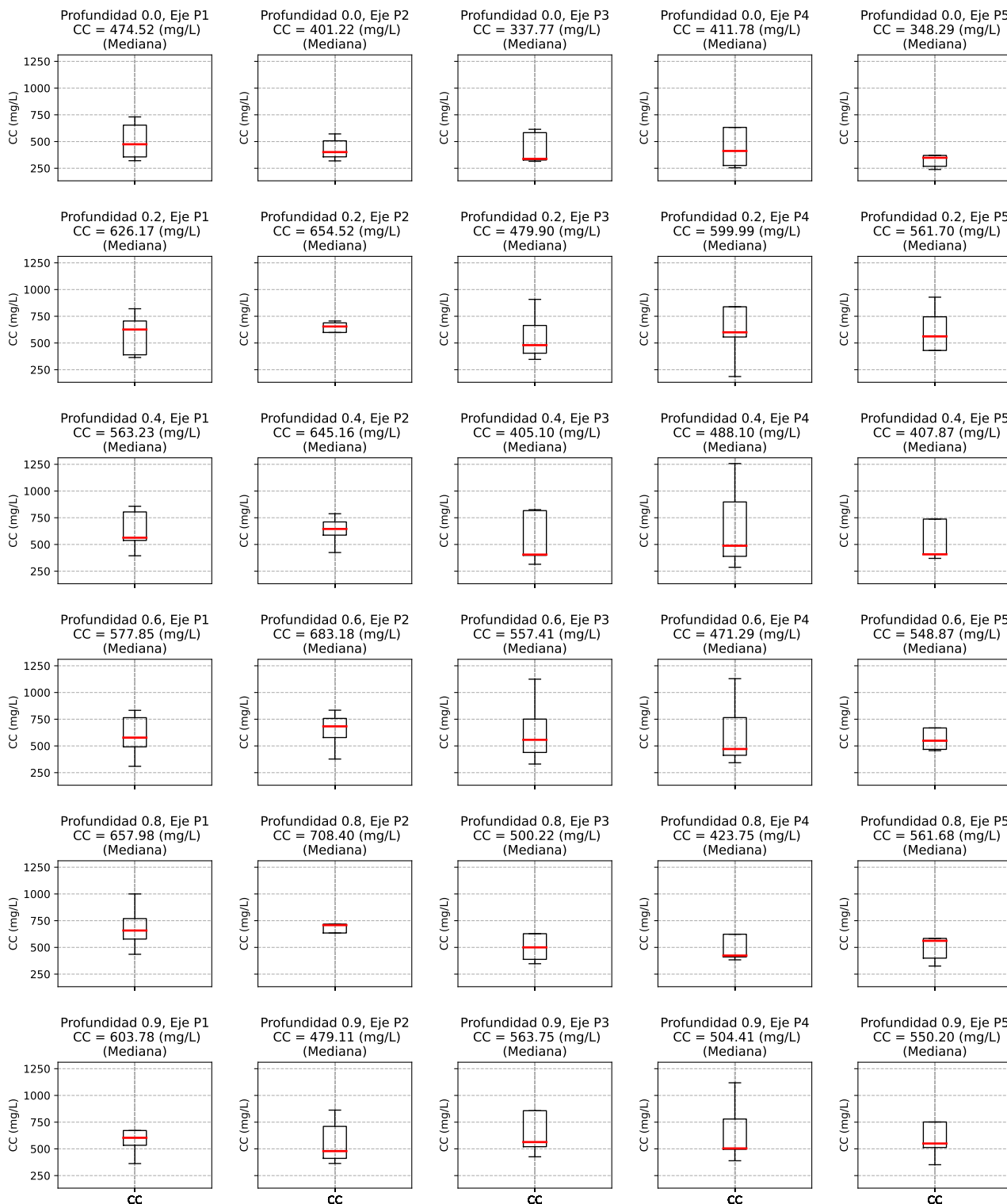
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



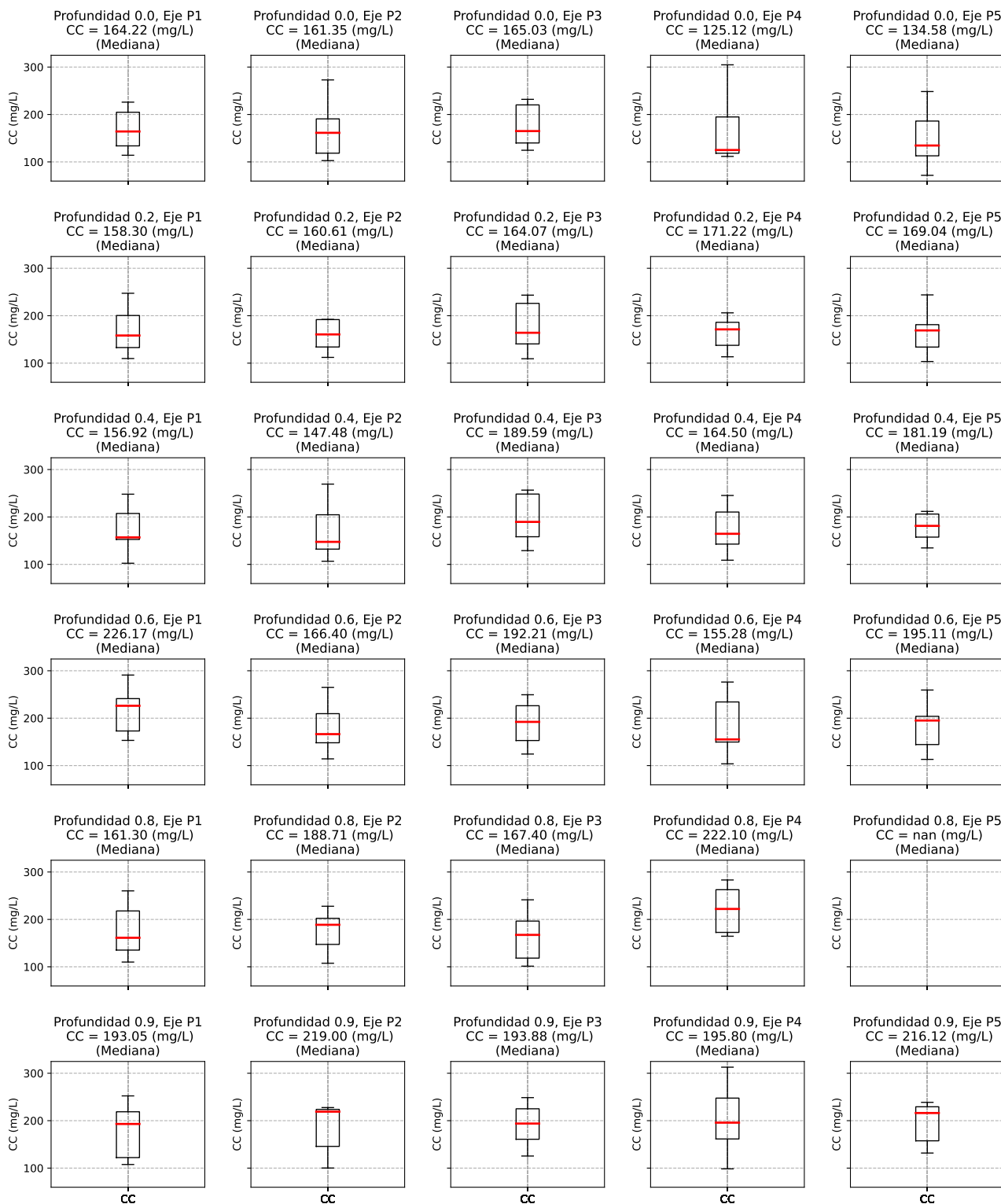
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



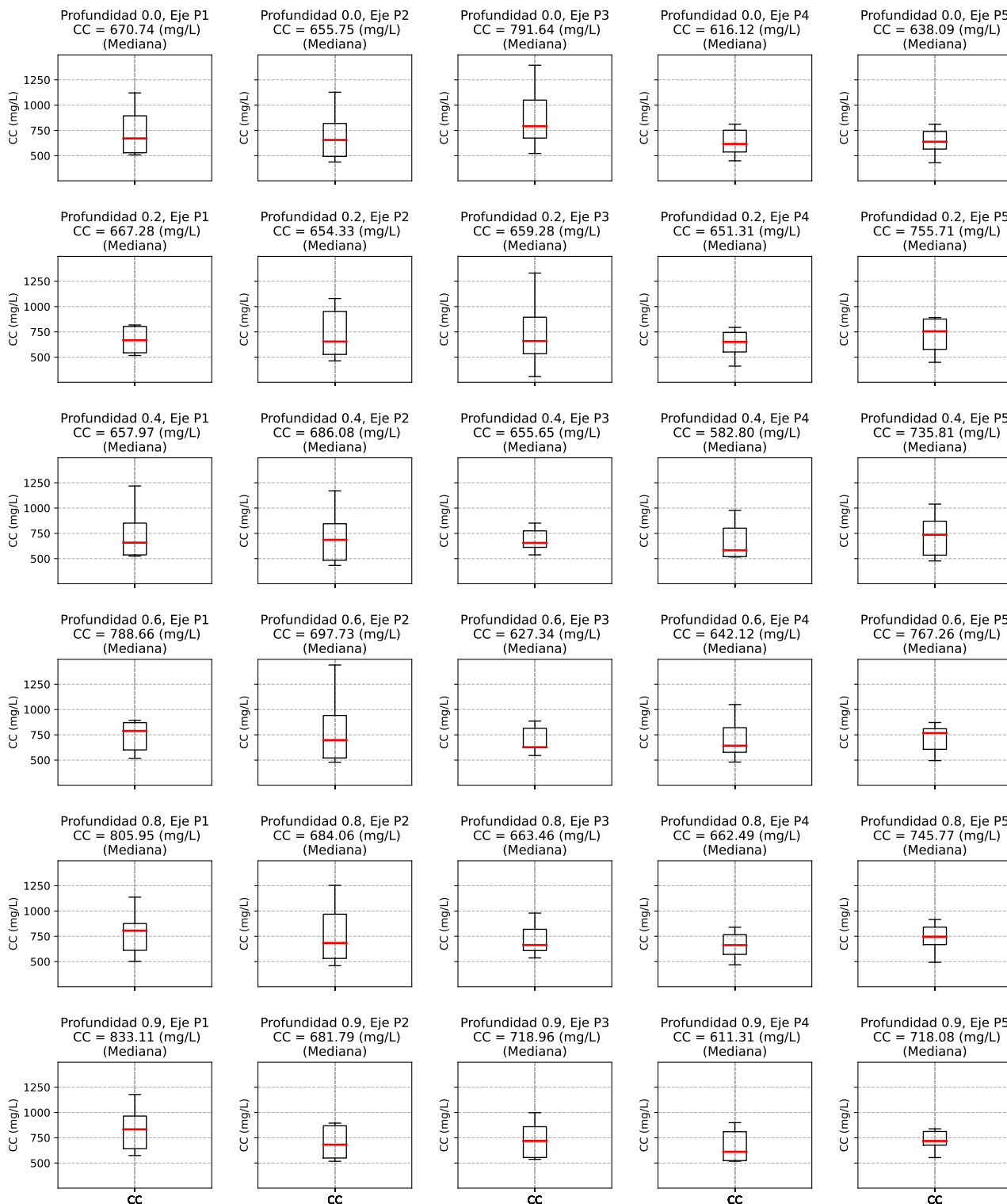
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



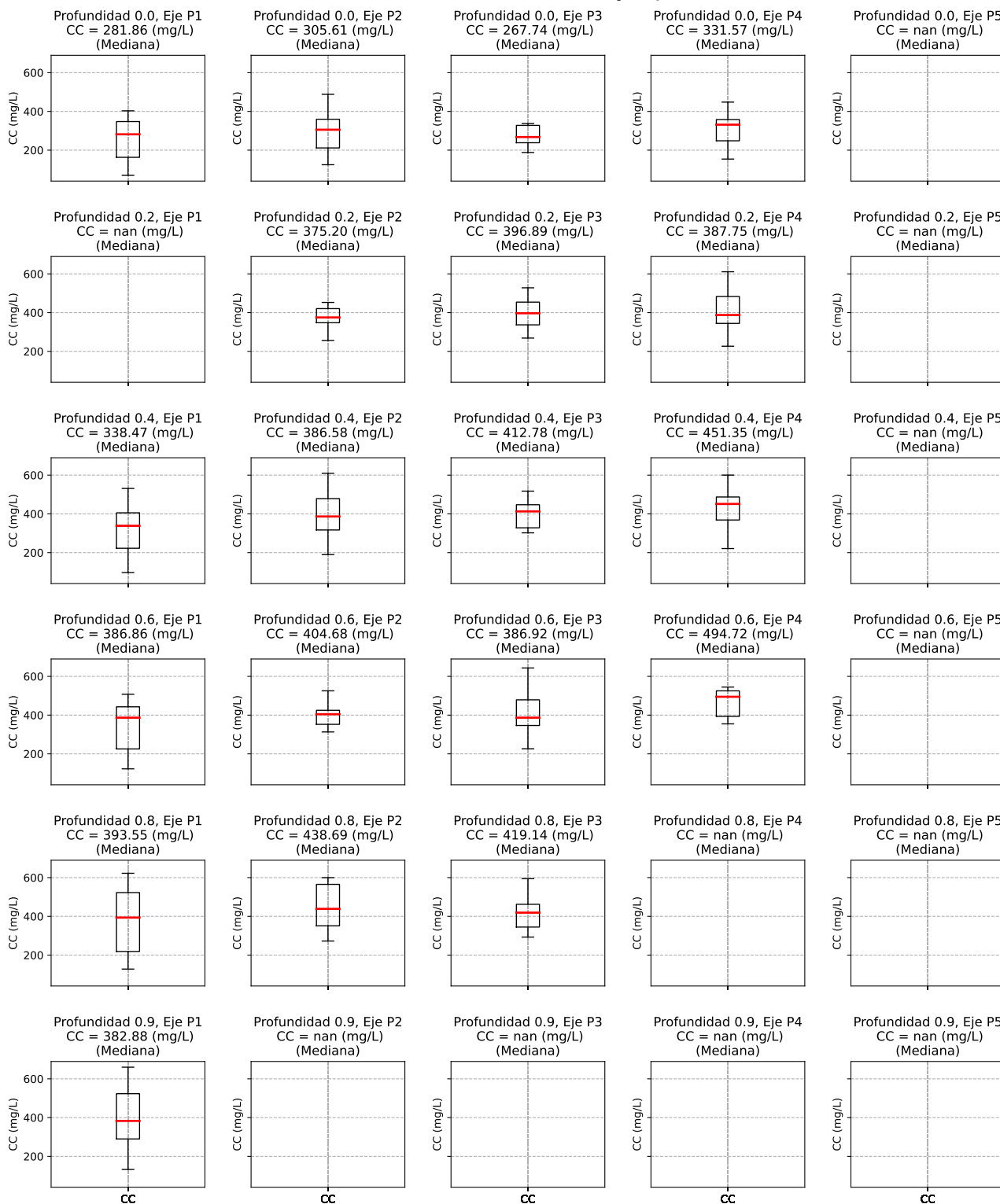
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



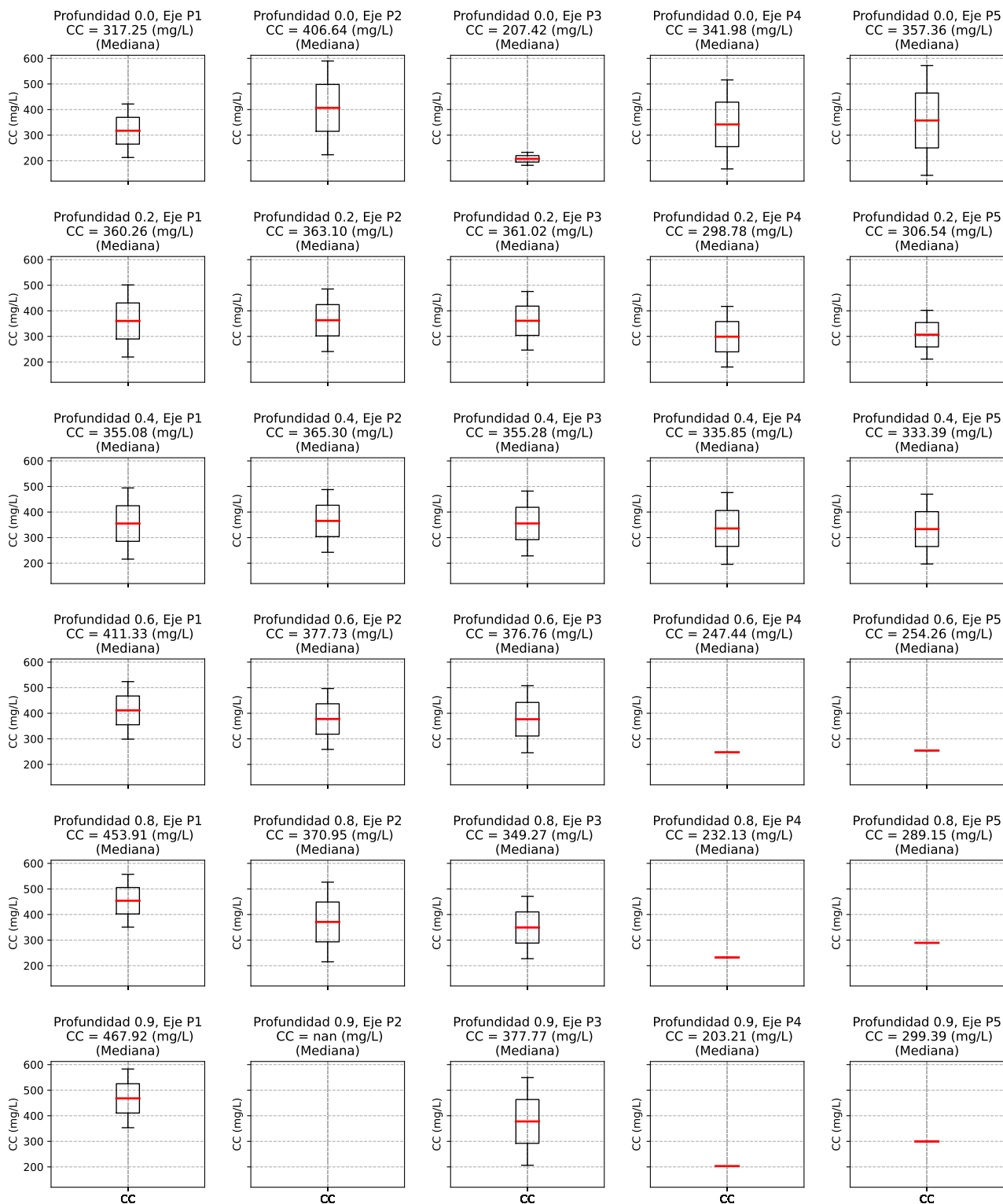
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



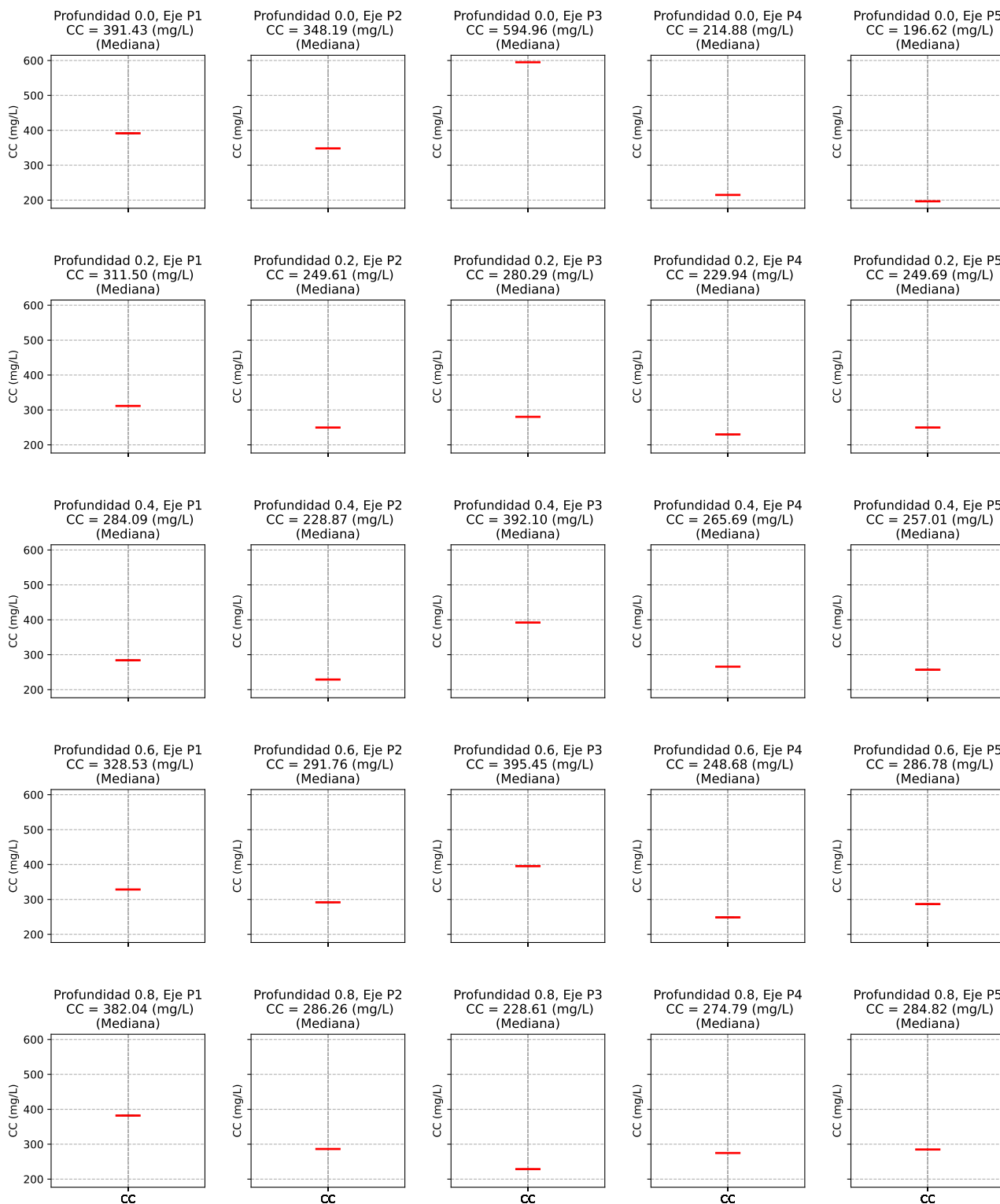
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



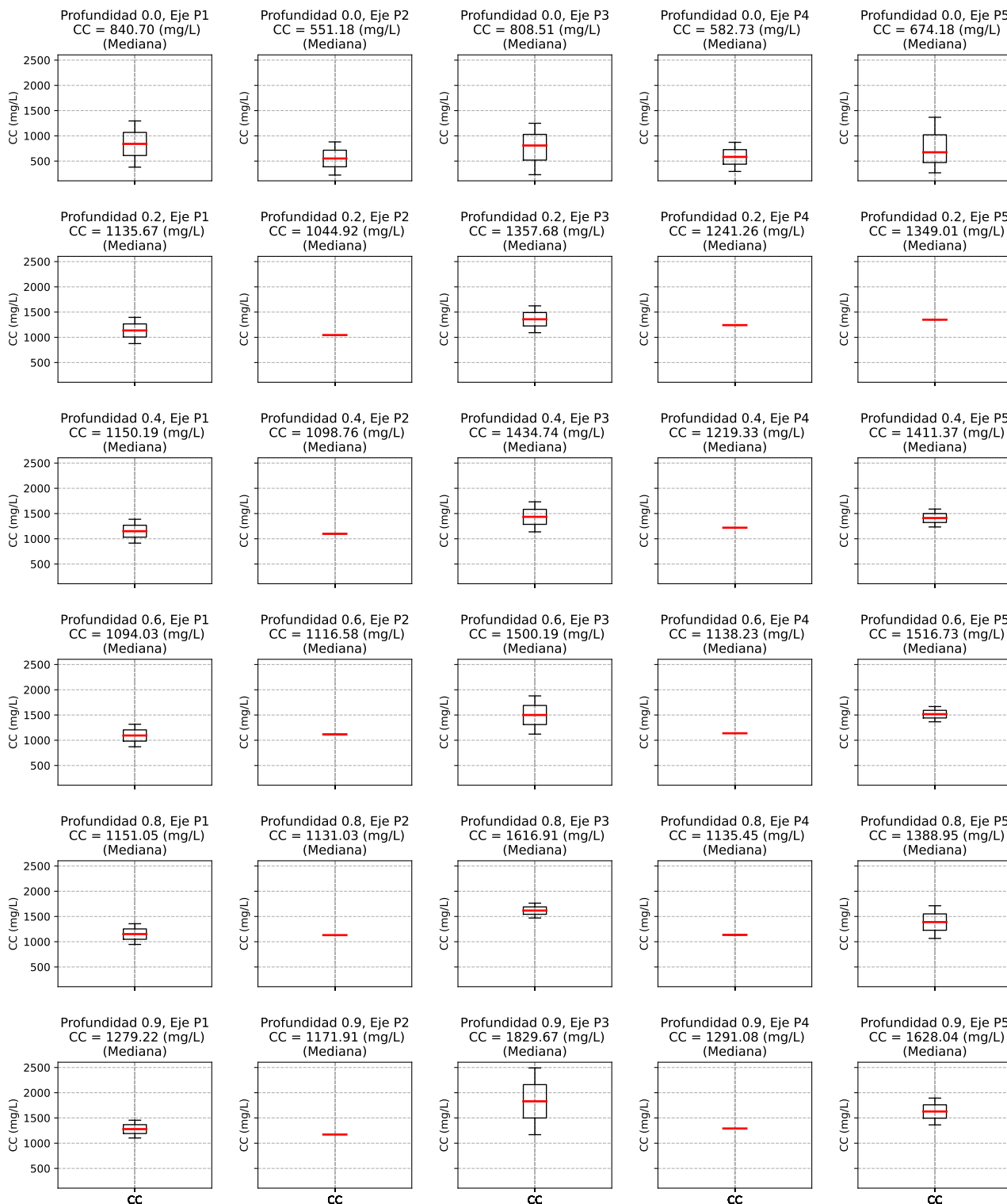
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



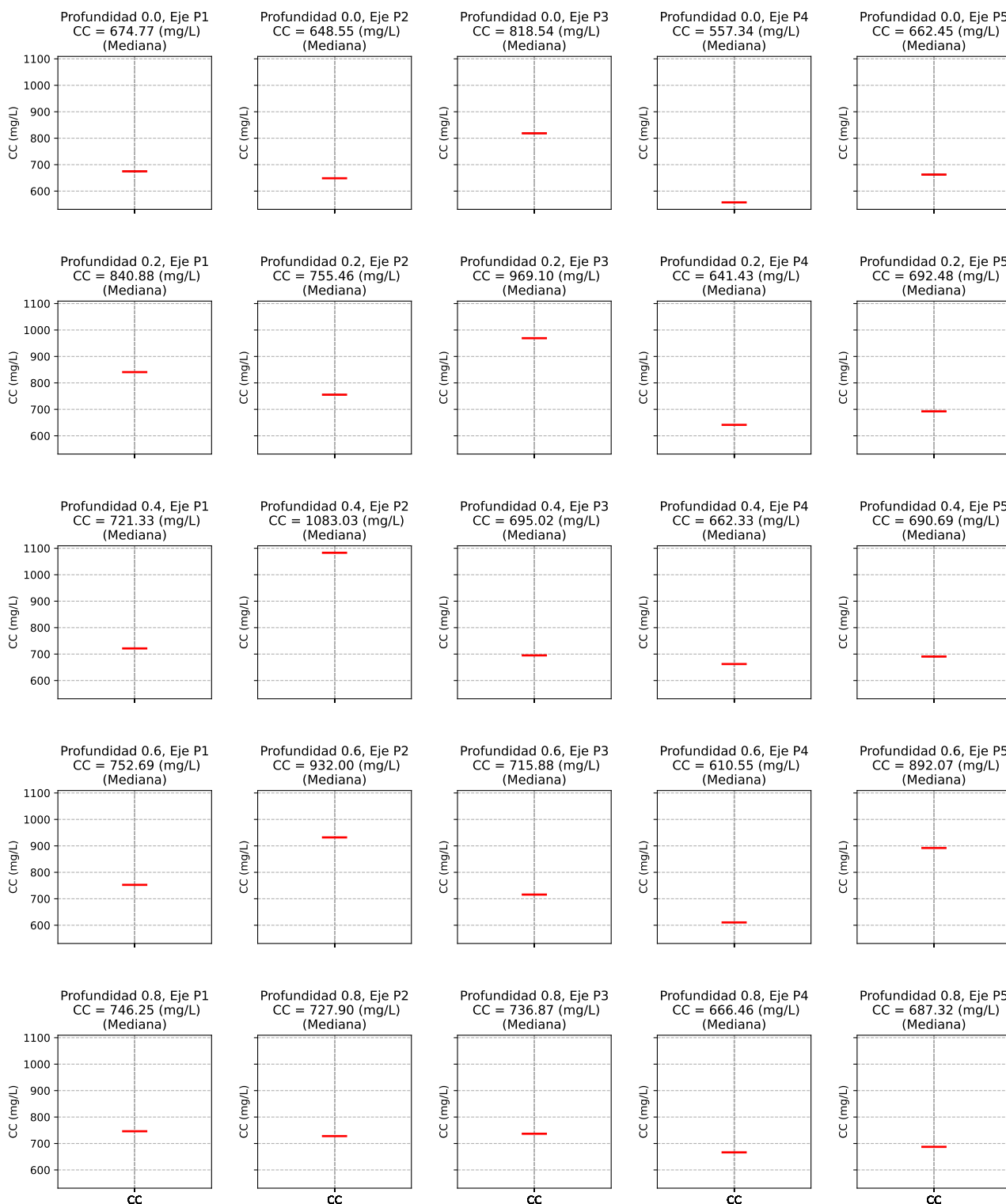
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



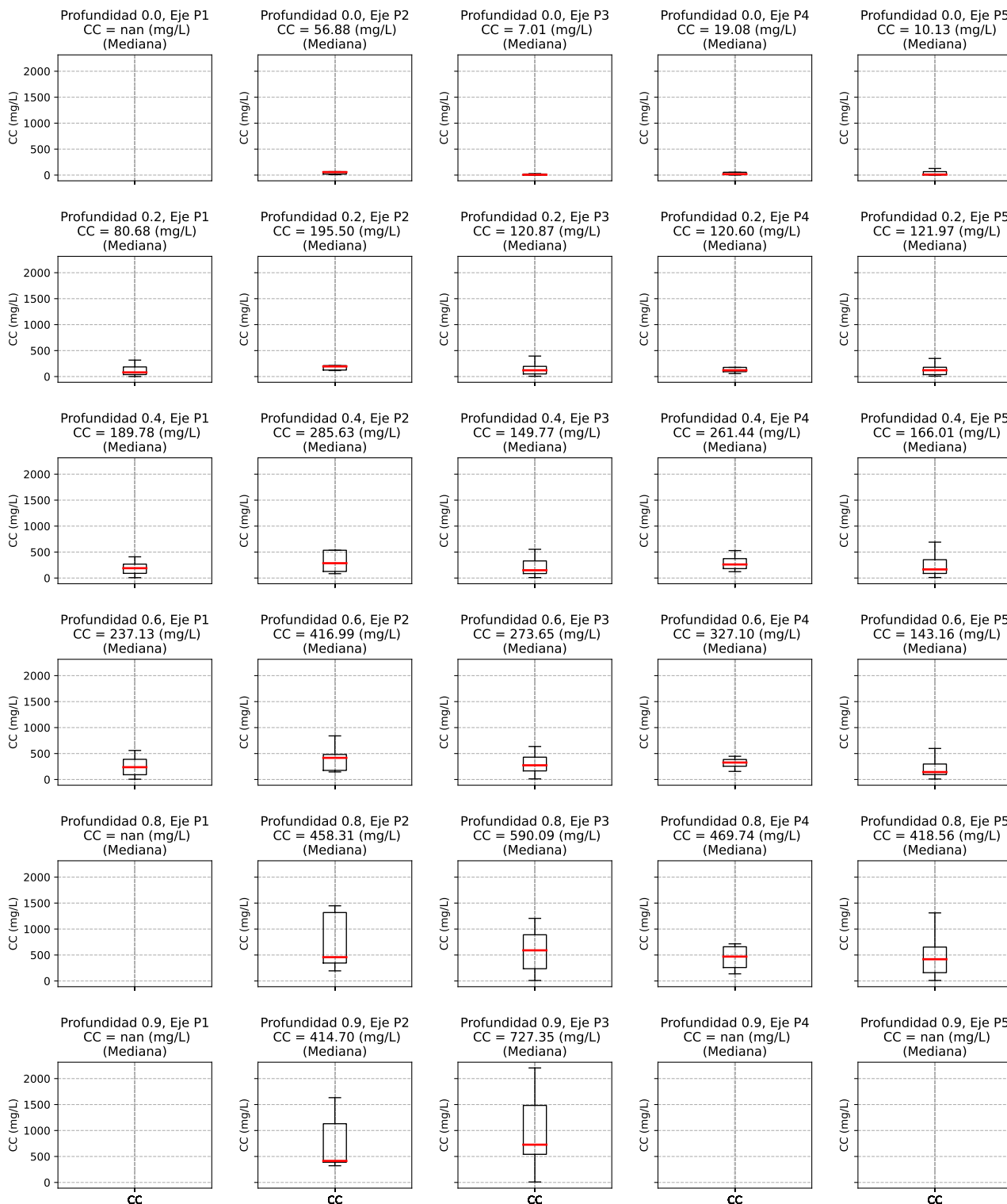
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (AMAZONAS)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



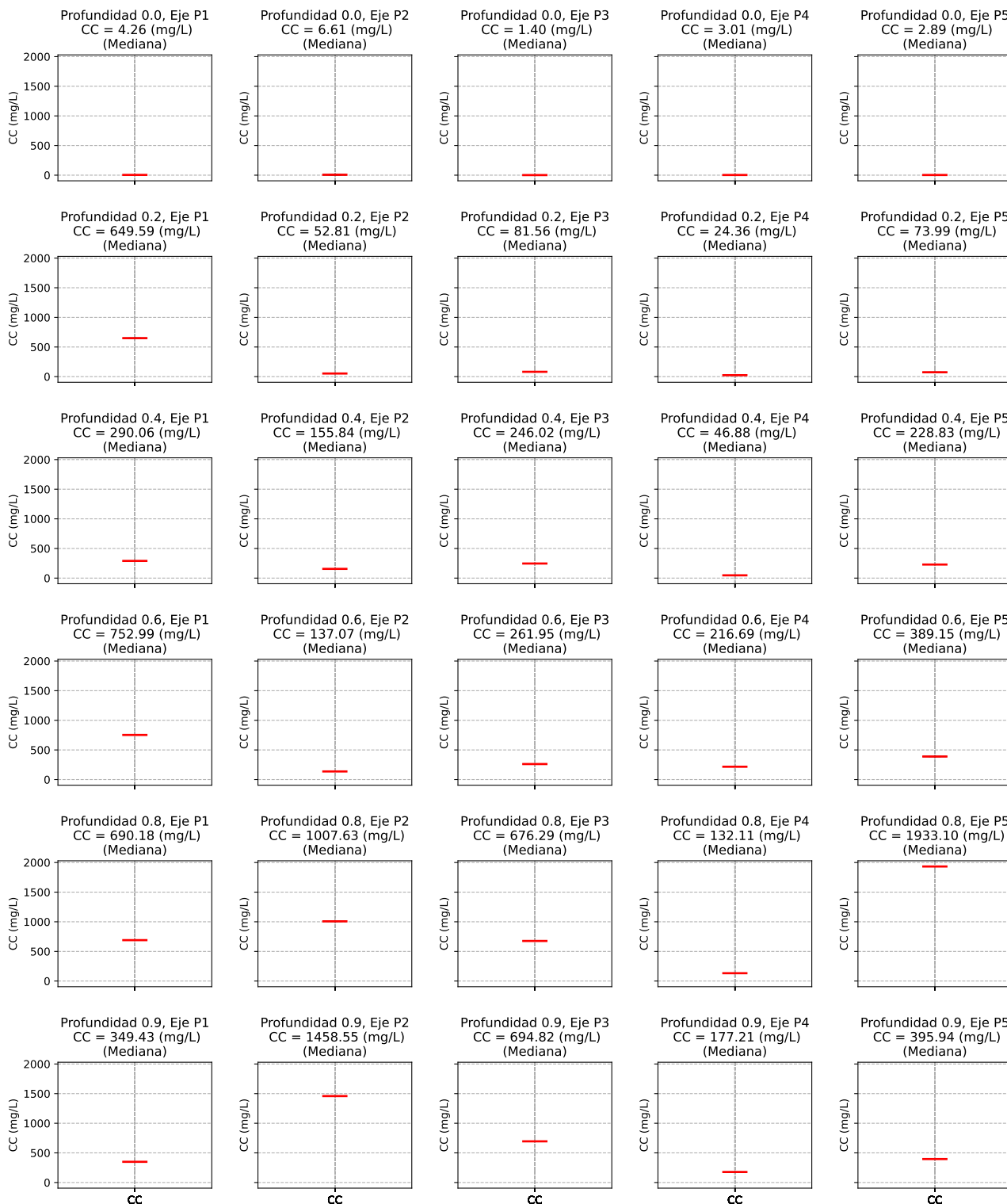
**Distribución de SSC - Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (AMAZONAS)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



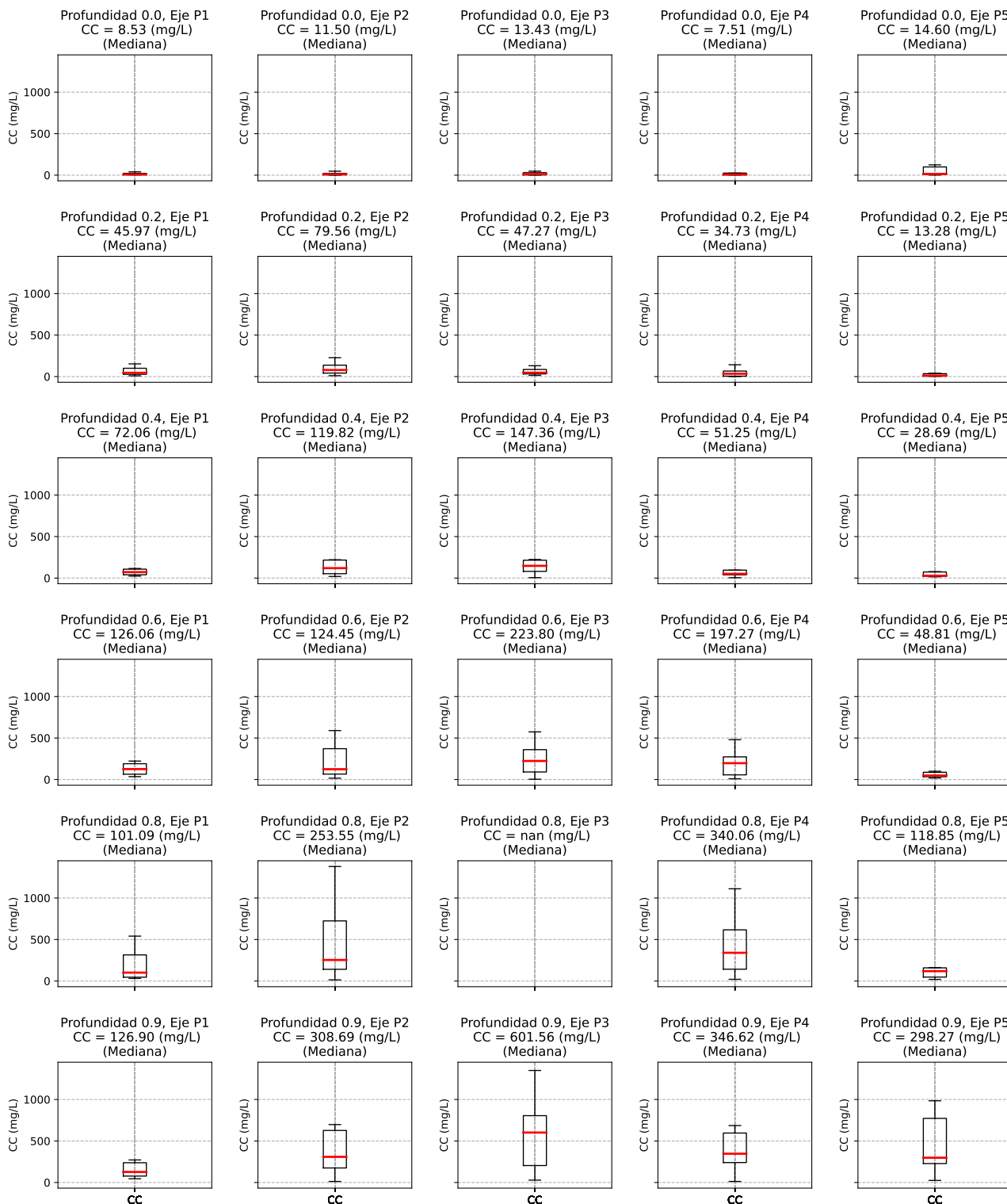
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



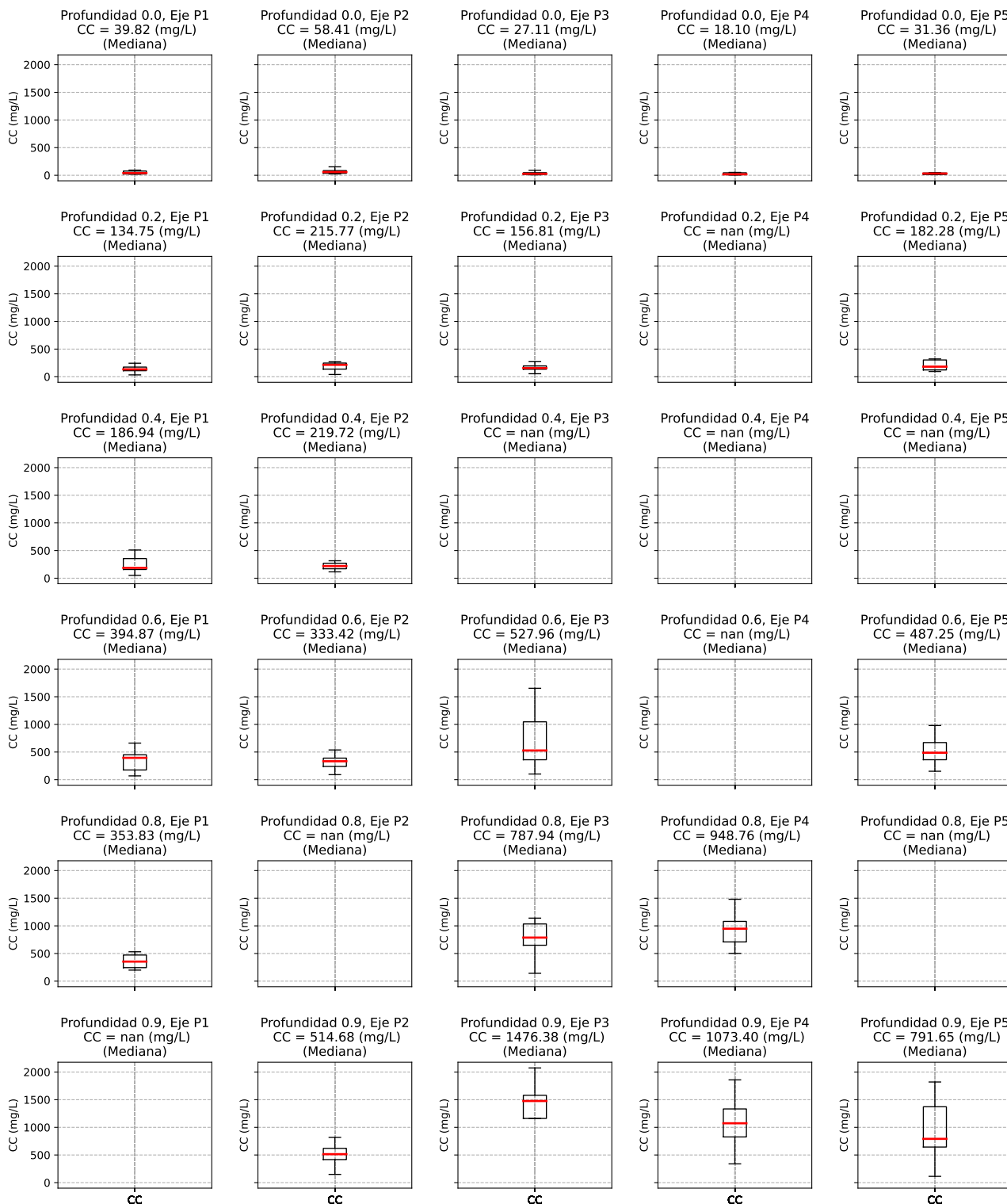
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



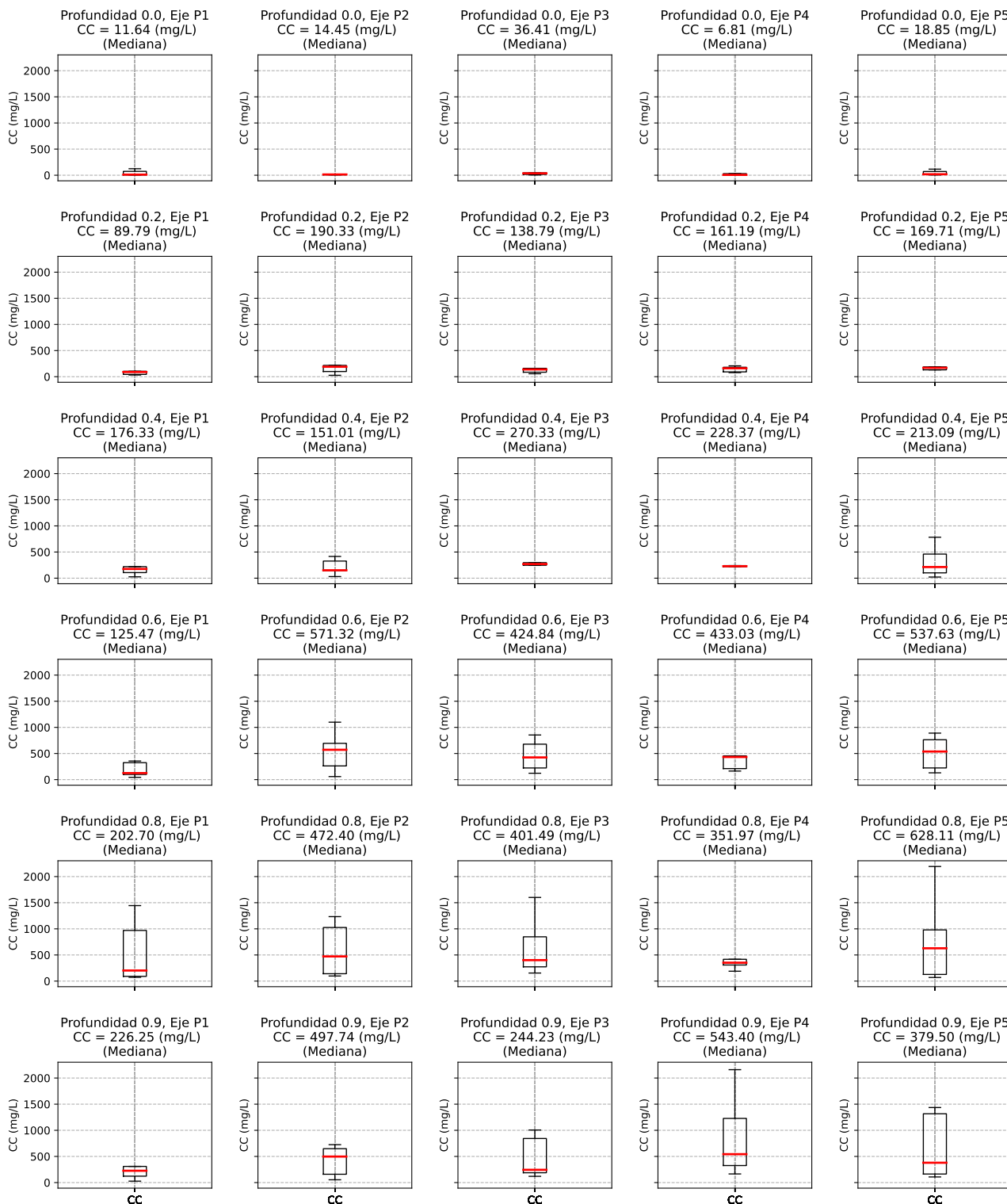
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (UCAYALI)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



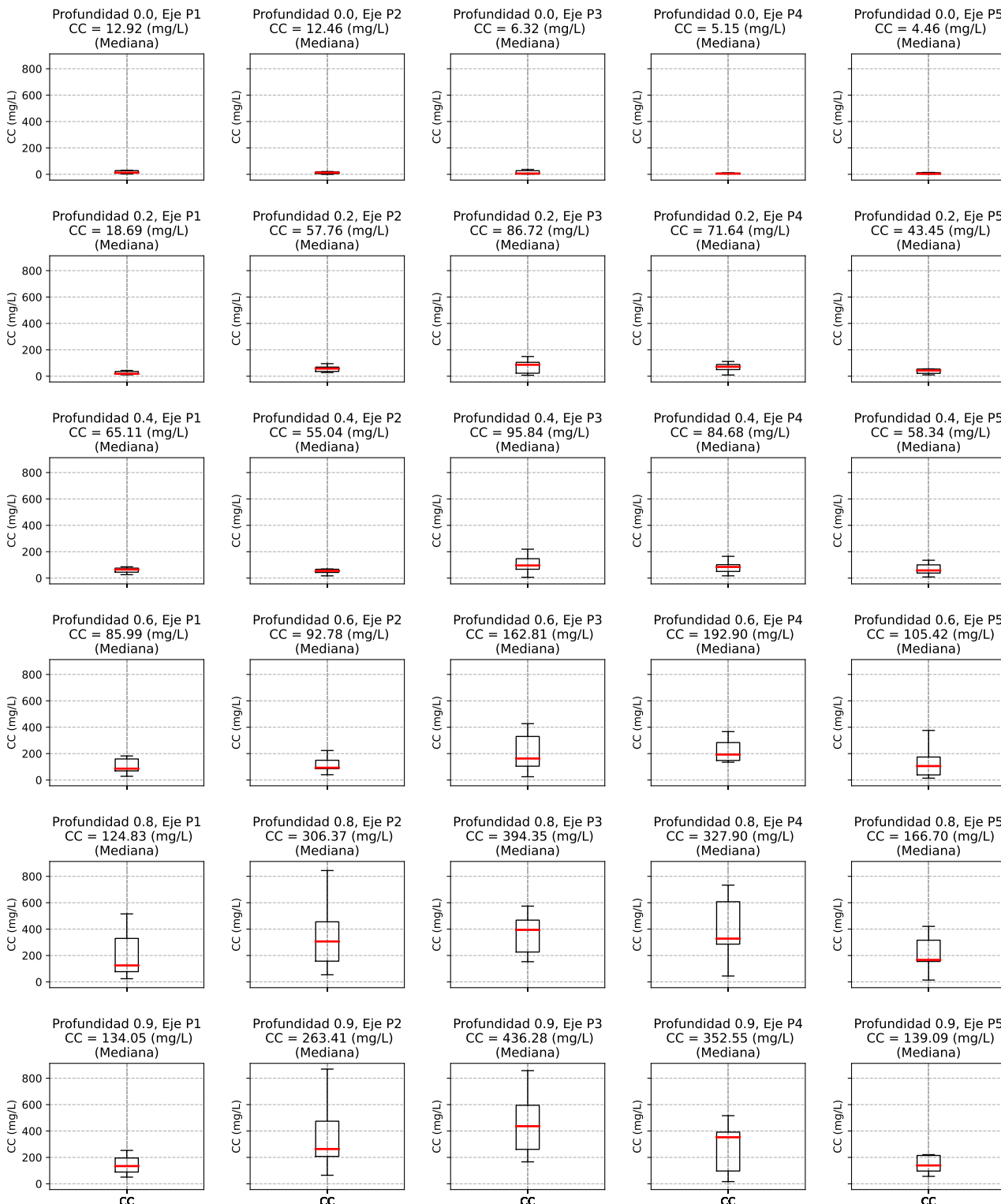
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



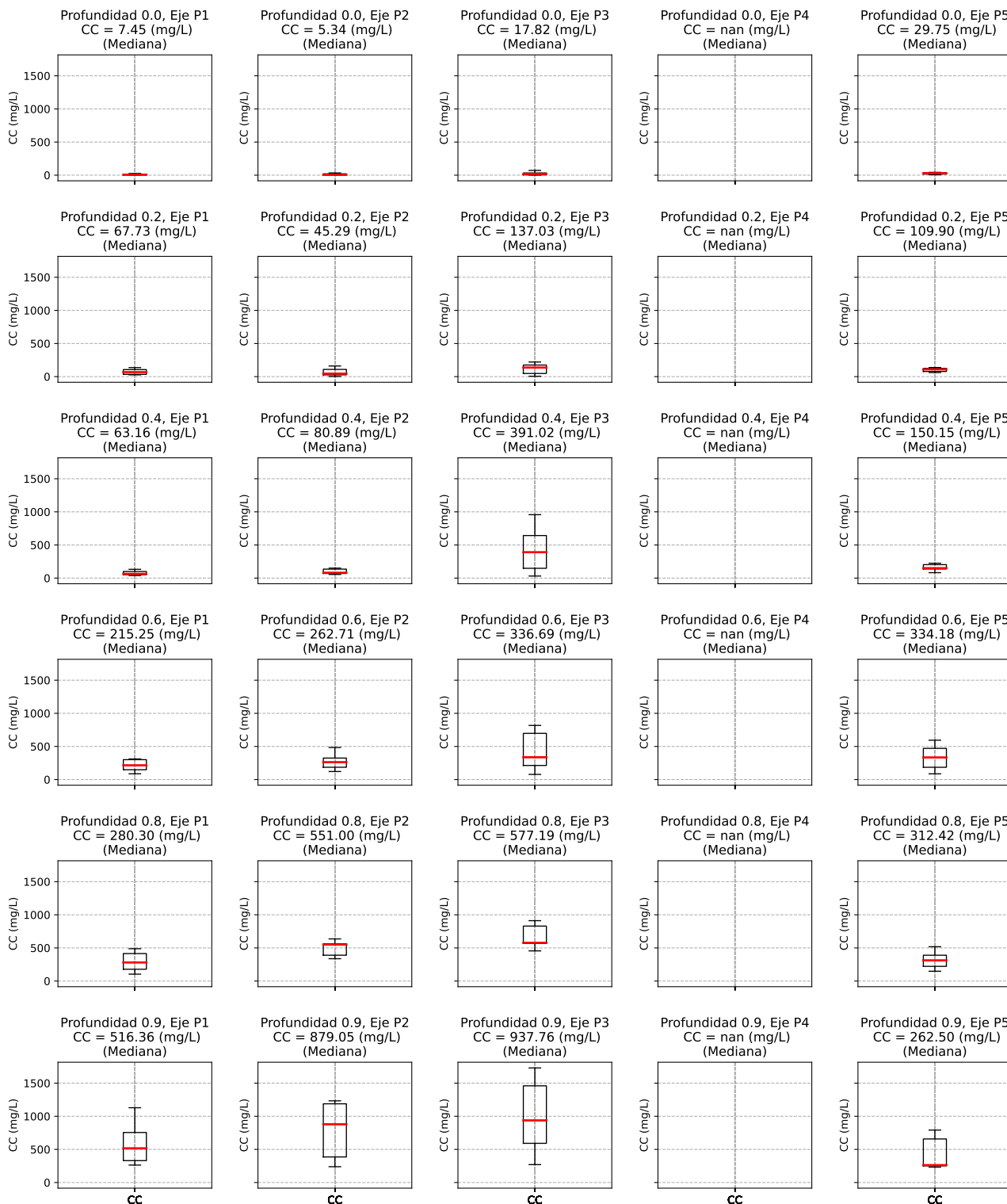
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
TRANSICIÓN DECRECIENTE (Mayo - Julio)**



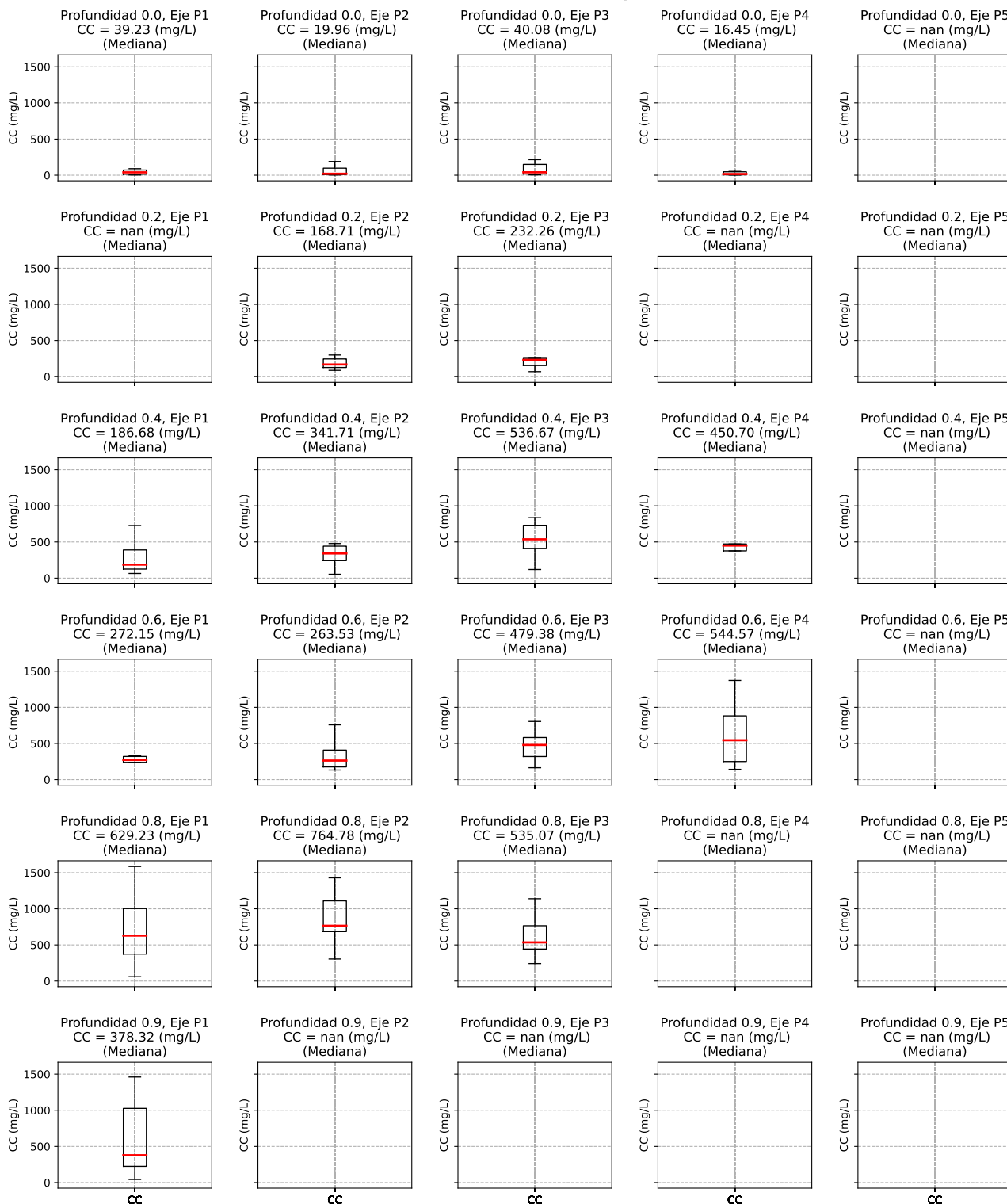
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (HUALLAGA)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



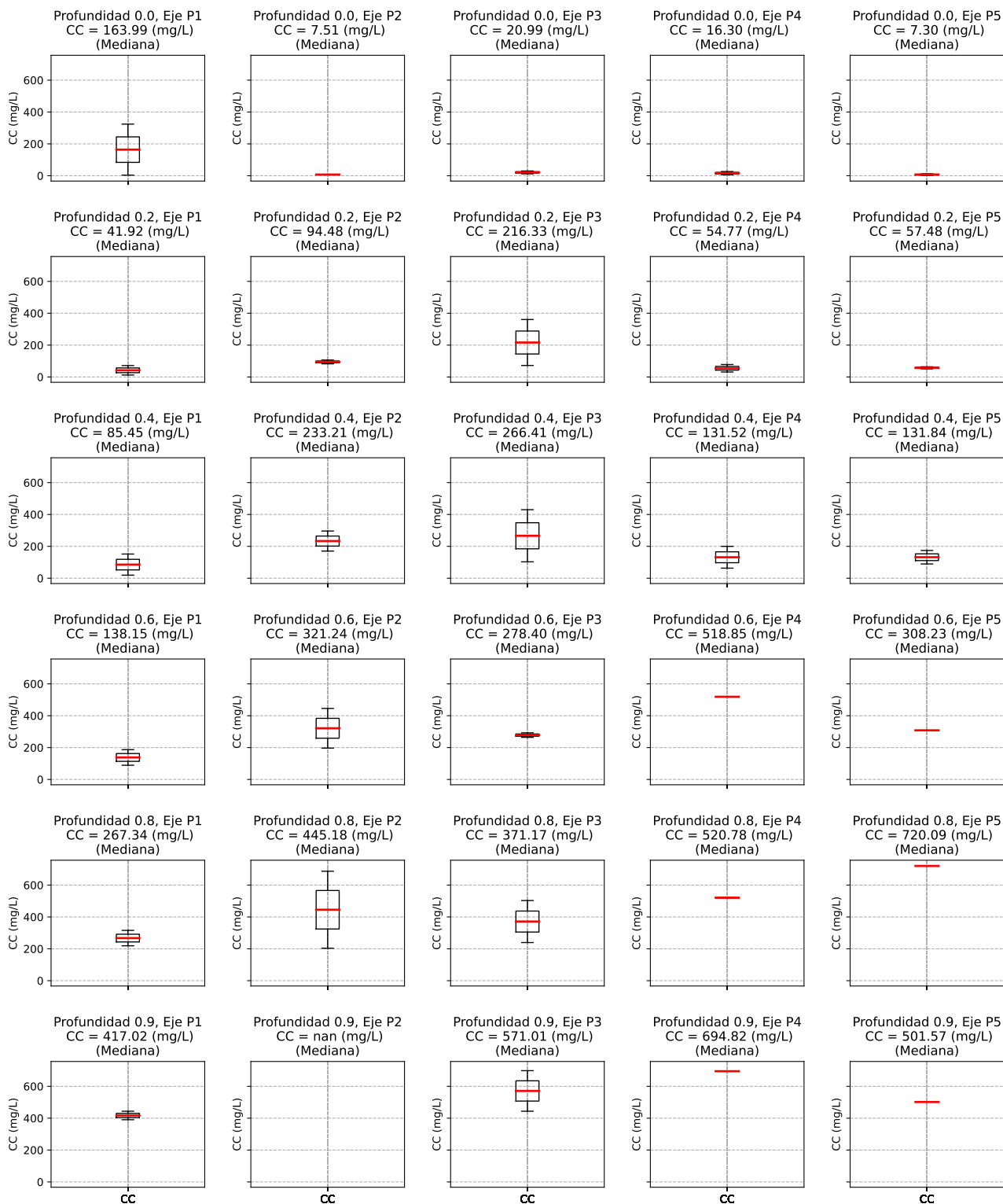
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



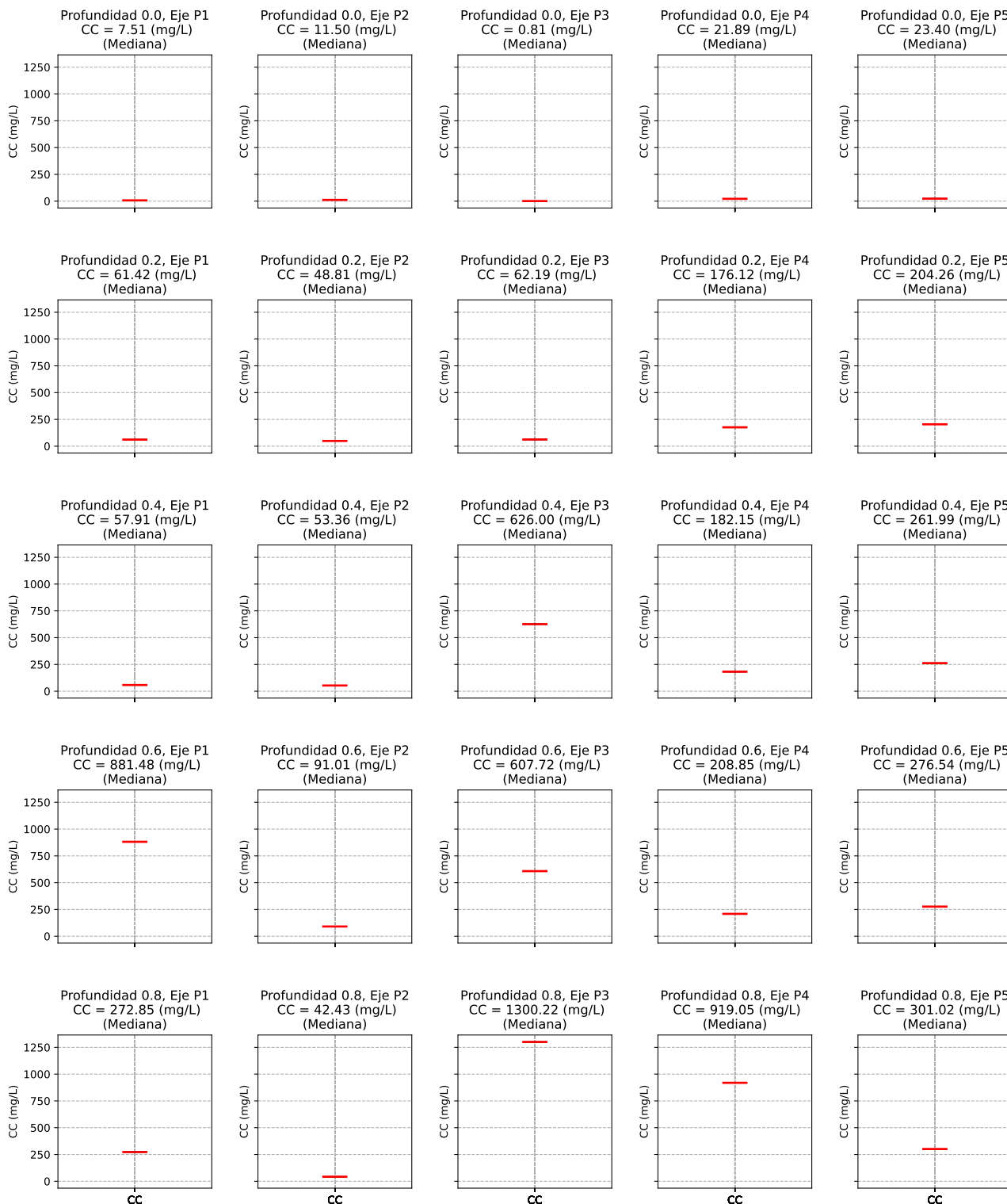
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN DECREciente (Mayo - Julio)**



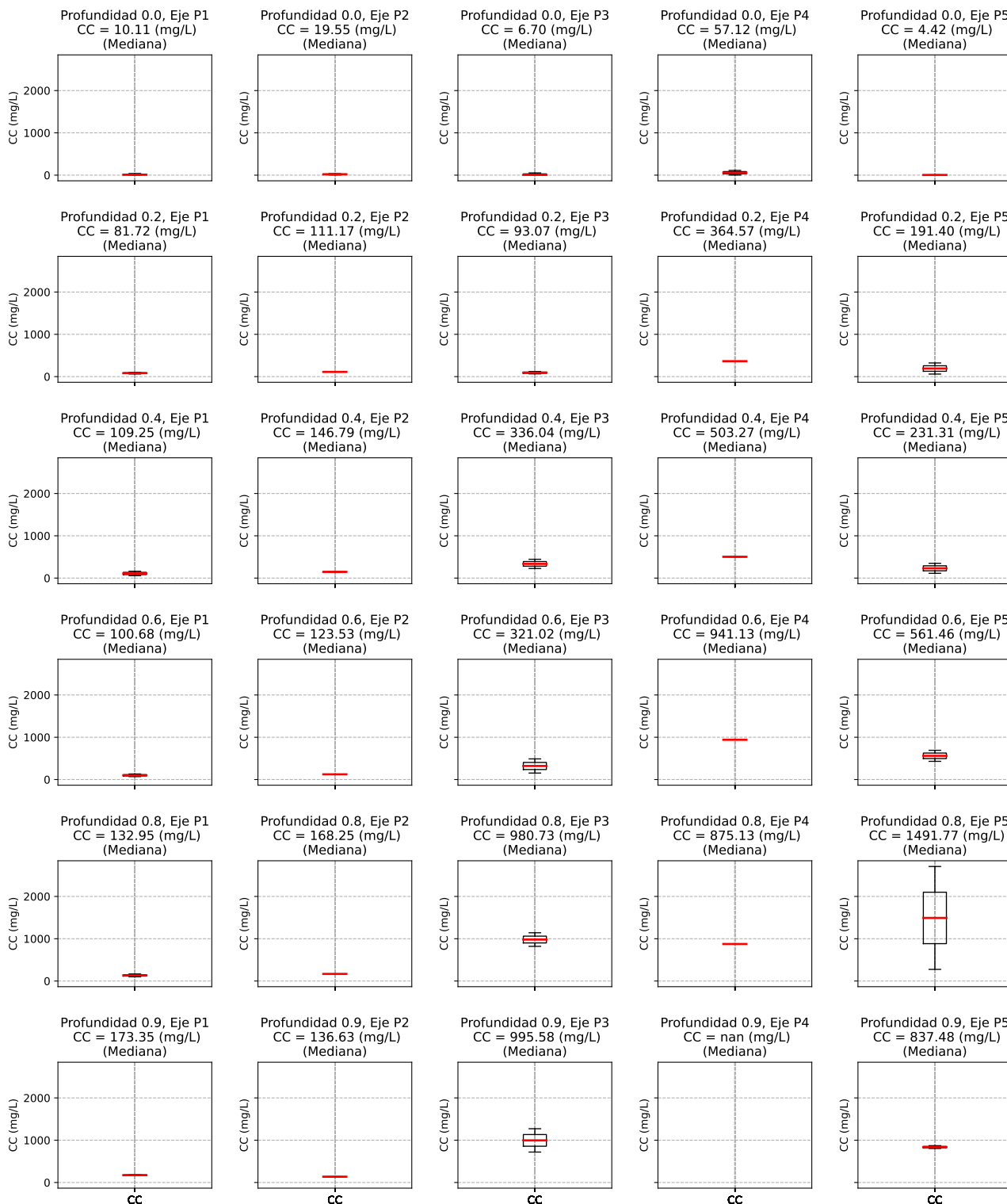
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
VACIANTE (Agosto - Octubre)**



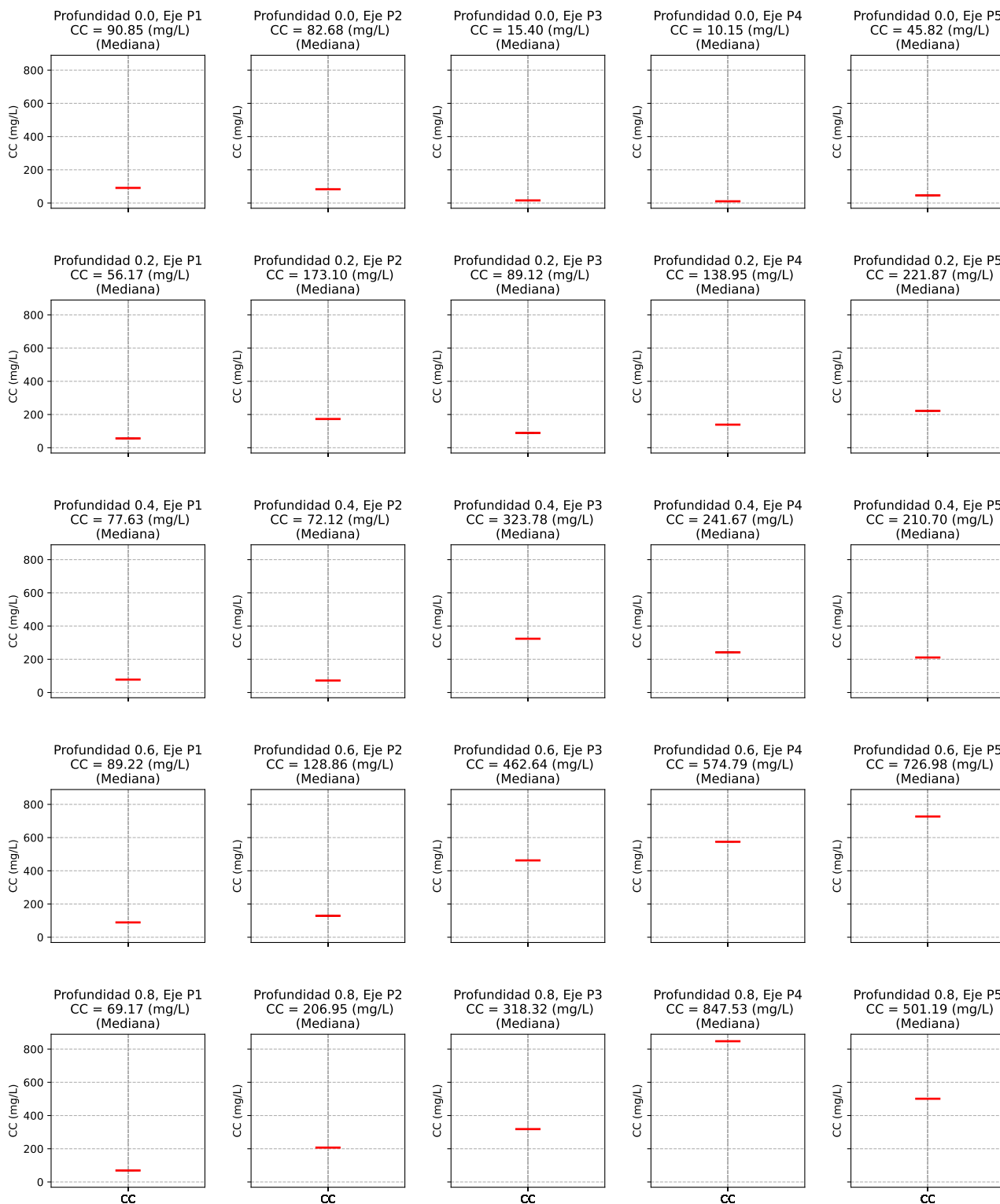
**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (MARAÑÓN)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (AMAZONAS)
CRECIENTE (Enero - Abril)**



**Distribución de SSC - No Cohesivos
para diferentes profundidades y ejes (AMAZONAS)
TRANSICIÓN CRECIENTE (Noviembre - Diciembre)**



ANEXO 09: DETALLE DE TÉCNICA DE RETROSPECCIÓN ACÚSTICA PARA CADA SECCIÓN DE ESTUDIO PRESENTADA EN ESTA INVESTIGACIÓN

En éste anexo se presenta la revisión de datos de las 6 secciones de retrodispersión, datos de concentración de sedimentos suspendidos medidos para cada sección y datos de sedimentos suspendidos promedio de todos los ríos de estudio.

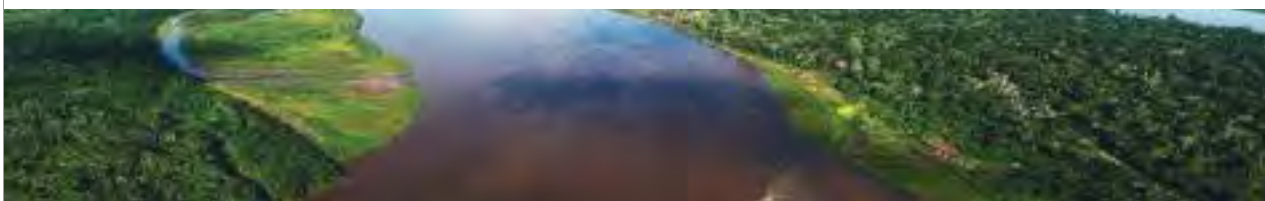
Se detallan las secciones de retrodispersión (backscatter) usadas para cada eje y profundidad medida. Dichas secciones son escogidas de acuerdo con su homogeneidad para cada eje, ya que los gráficos de retrodispersión corresponden a la columna correspondiente a cada eje, y se asume que debe existir homogeneidad y coherencia entre las secciones de retrodispersión estática correspondientes para cada eje, independientemente de que se usen para diferentes profundidades.

Se considera que una sección estática de retrodispersión es válida para ser usada siempre y cuando dicha sección no presente dispersión respecto a las demás secciones para dicho eje. Esto se puede apreciar fácilmente debido a que la retrodispersión debe presentar valores crecientes acorde a la profundidad. Se debe tener en cuenta que estos gráficos representan la retrodispersión, que es producida por el retorno de la señal acústica desde el sedimento hacia el equipo ADCP. Por eso, las señales de mayor valor corresponden a los sedimentos de mayor profundidad y, usualmente, estos datos de mayor valor están asociados a valores mayores de concentración de sedimentos.

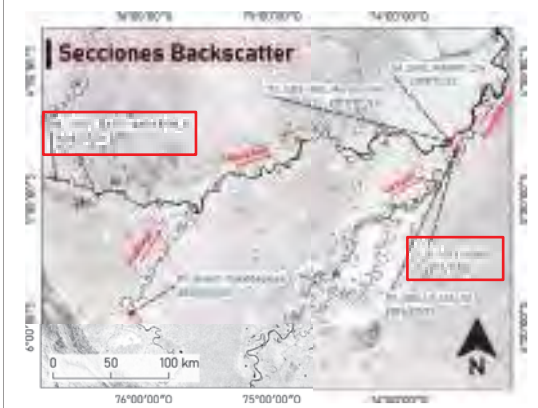
Se menciona explícitamente que no se debe confundir entre la retrodispersión de intensidad y la retrodispersión, ya que el primero corresponde a los datos emitidos por el ADCP y el segundo corresponde a los datos de respuesta de los sedimentos suspendidos el cual es recibido por el ADCP.



Revisión de datos de backscatter estáticos medidos

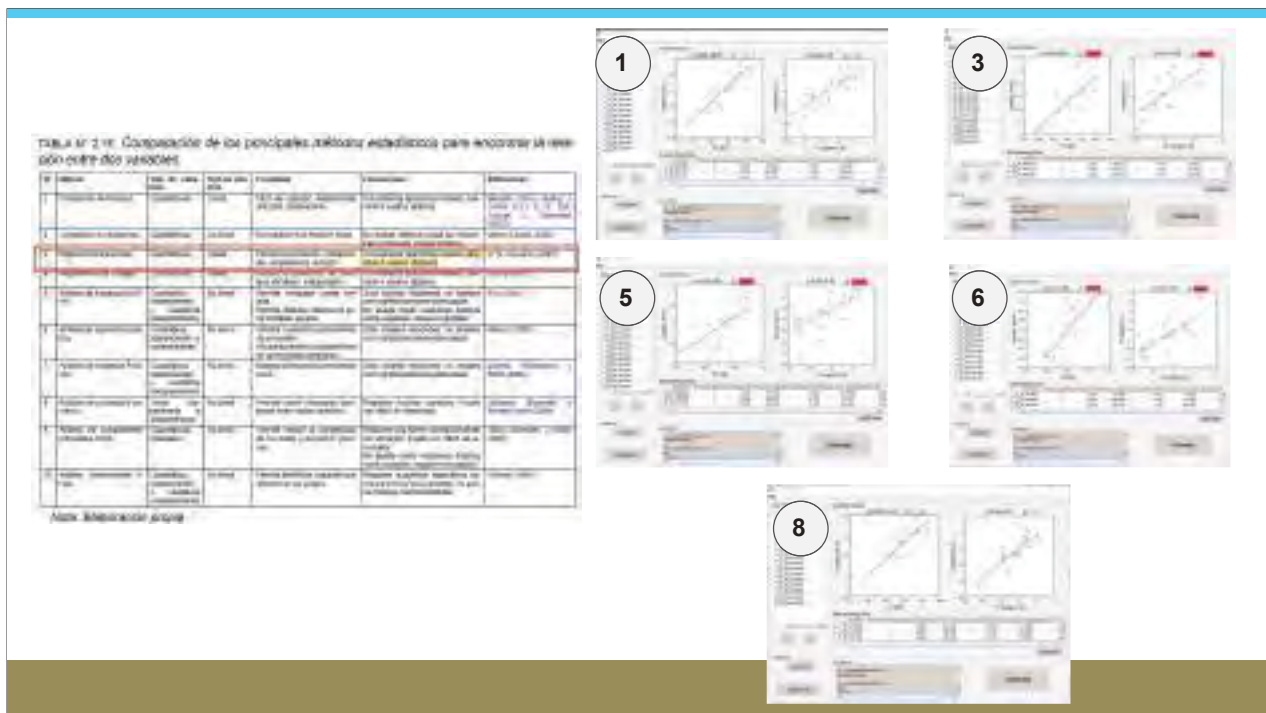
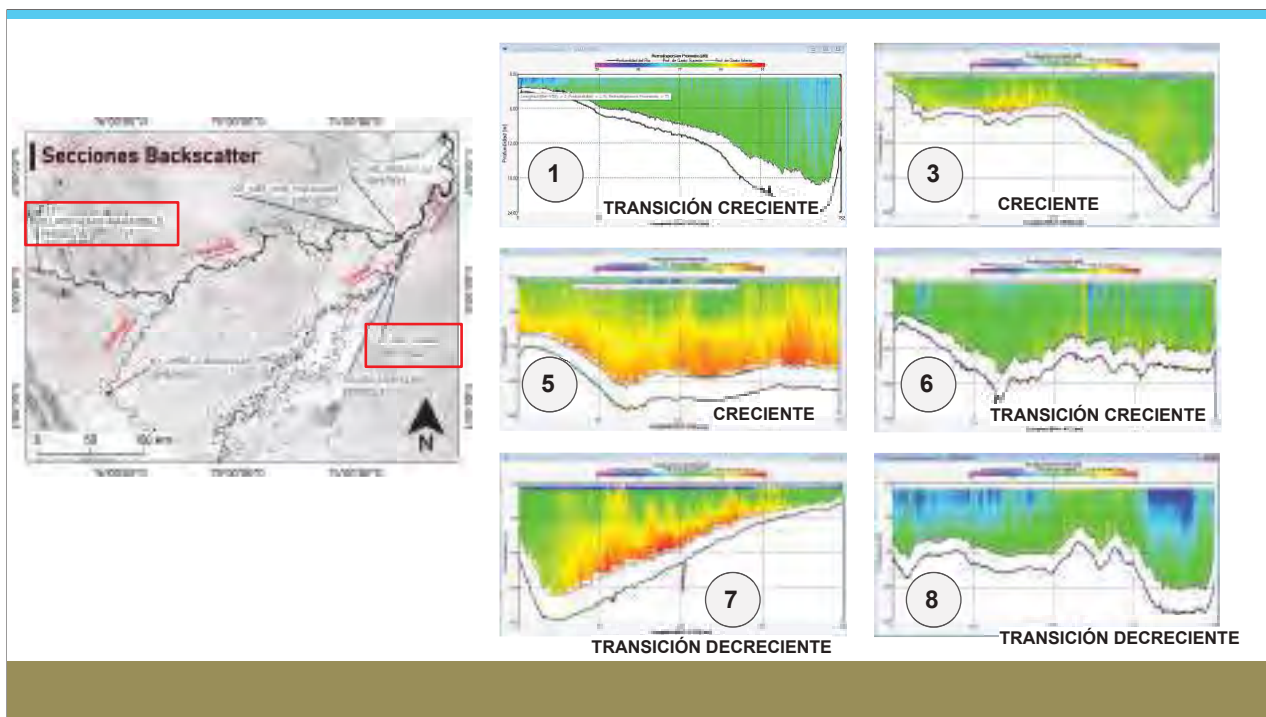


Resumen total de D50 y SSC (Backscatter secciones)



Sección	Latitud (Inicio)	Latitud (Fin)	Longitud (Inicio)	Longitud (Fin)
1	08°00'00" S	08°00'00" S	76°00'00" W	76°00'00" W
2	08°00'00" S	08°00'00" S	75°00'00" W	75°00'00" W
3	08°00'00" S	08°00'00" S	74°00'00" W	74°00'00" W
4	08°00'00" S	08°00'00" S	73°00'00" W	73°00'00" W
5	08°00'00" S	08°00'00" S	72°00'00" W	72°00'00" W
6	08°00'00" S	08°00'00" S	71°00'00" W	71°00'00" W

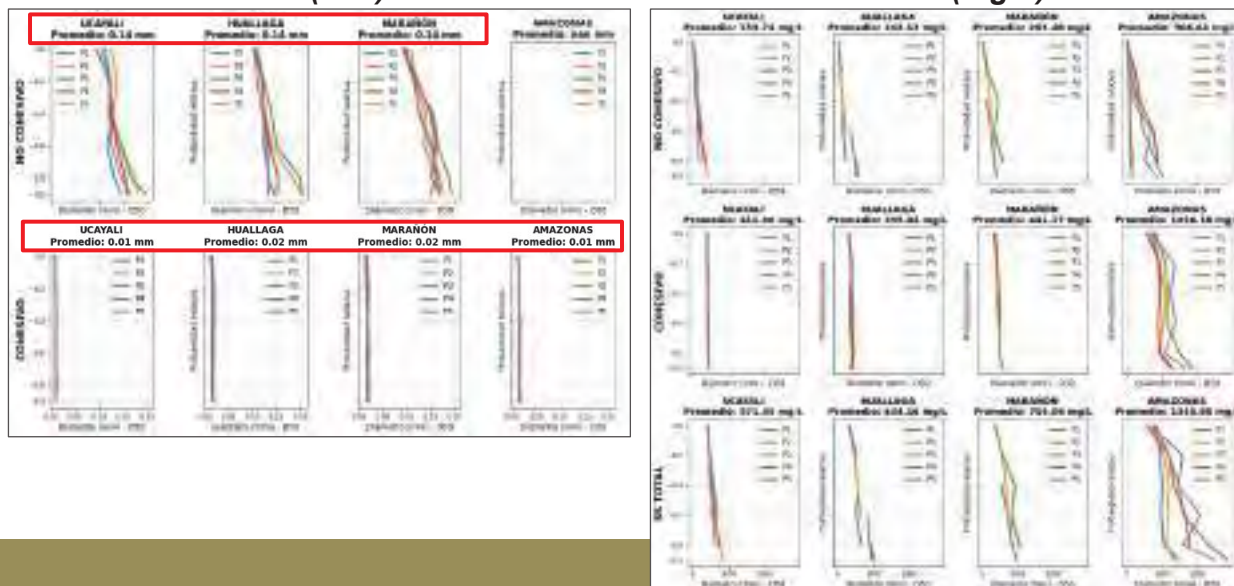




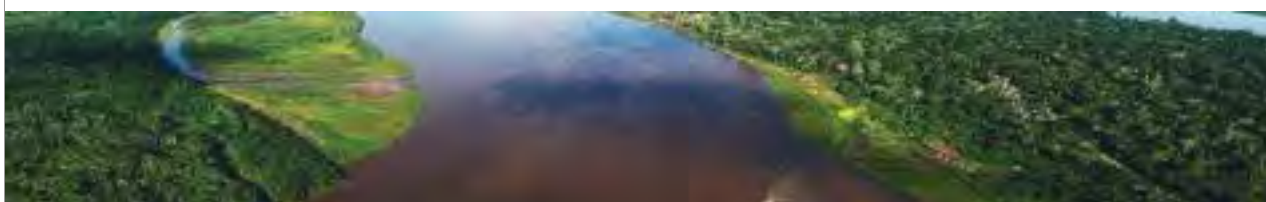
Resumen total de la D50 Y SSC de todos los datos de muestras de sedimentos suspendidos.

D50 (mm)

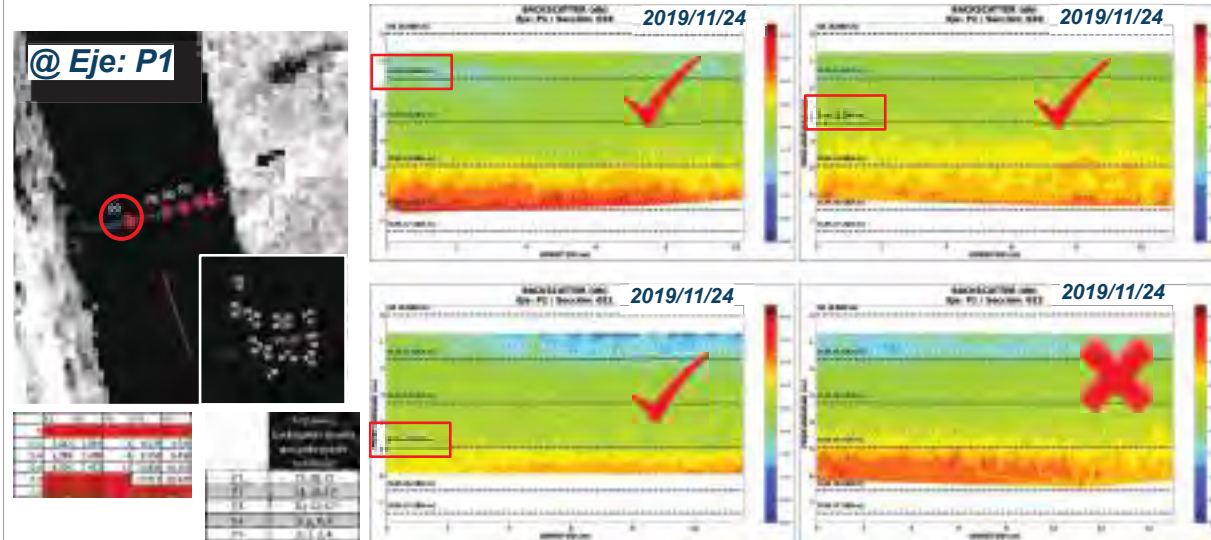
SSC (mg/L)



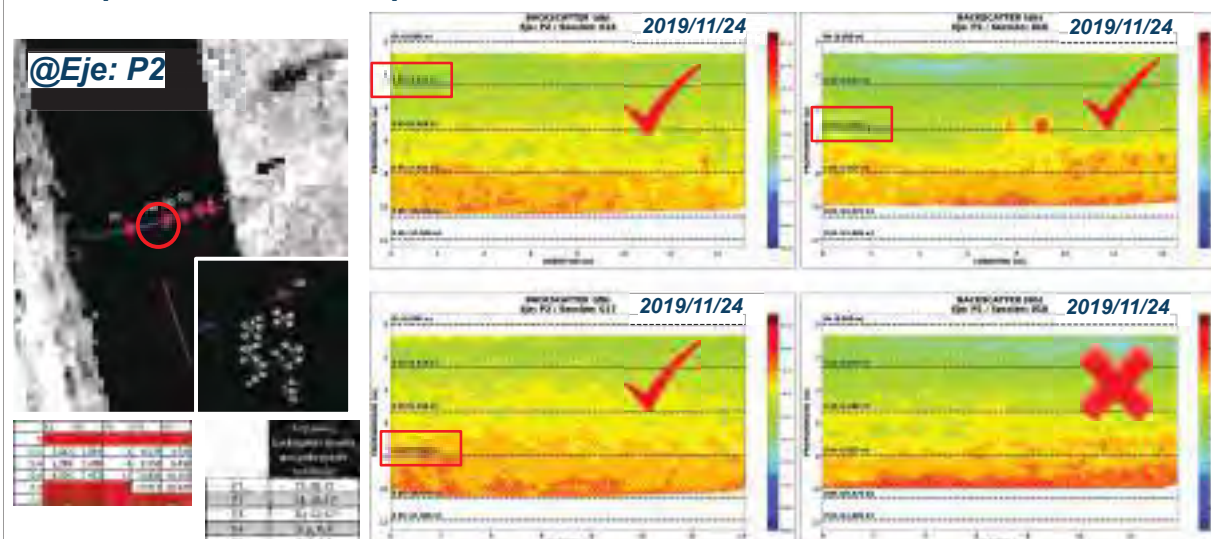
1.- UBS_UCA01



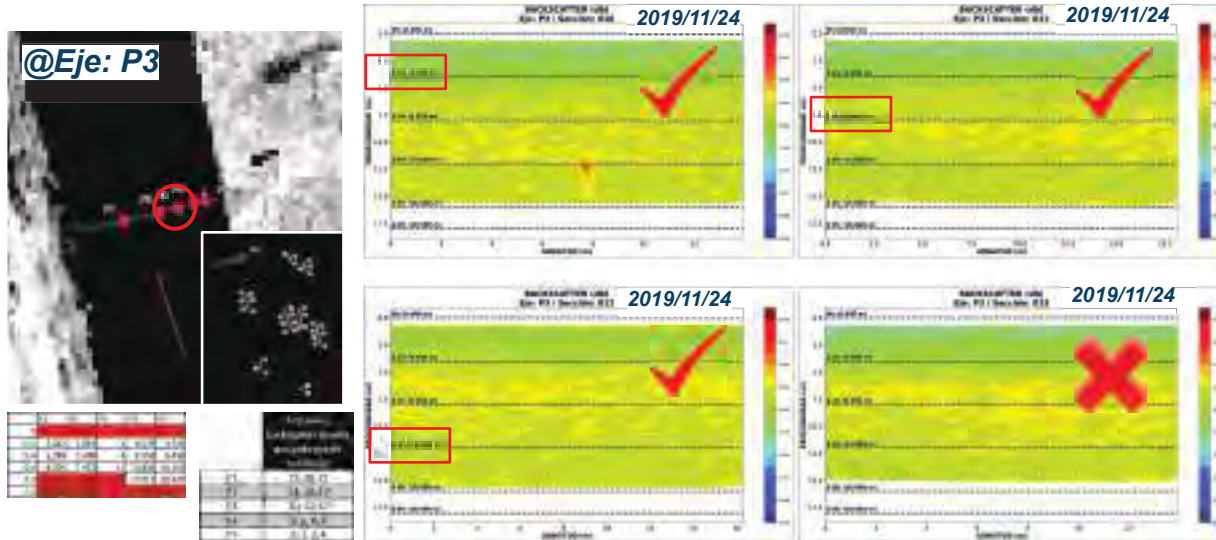
1.- @UBS_UCA01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



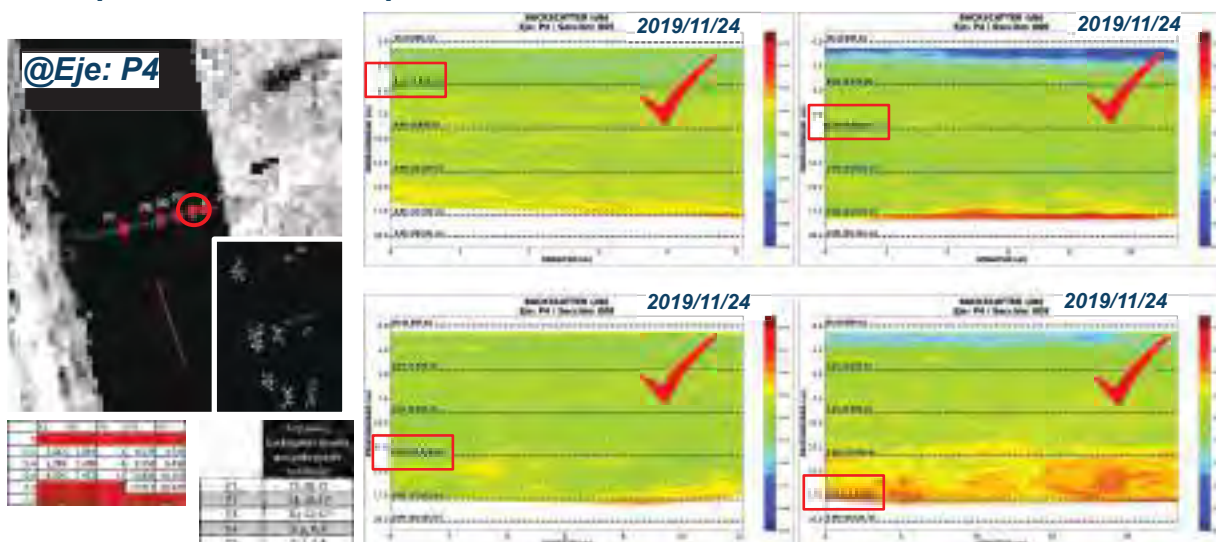
1.- @UBS_UCA01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



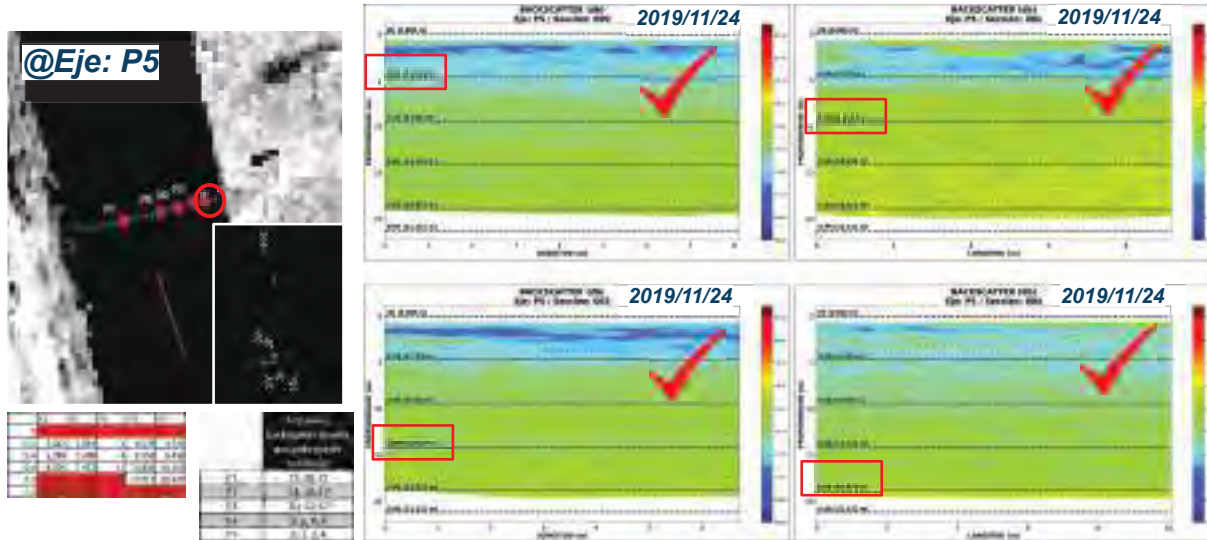
1.- @UBS_UCA01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



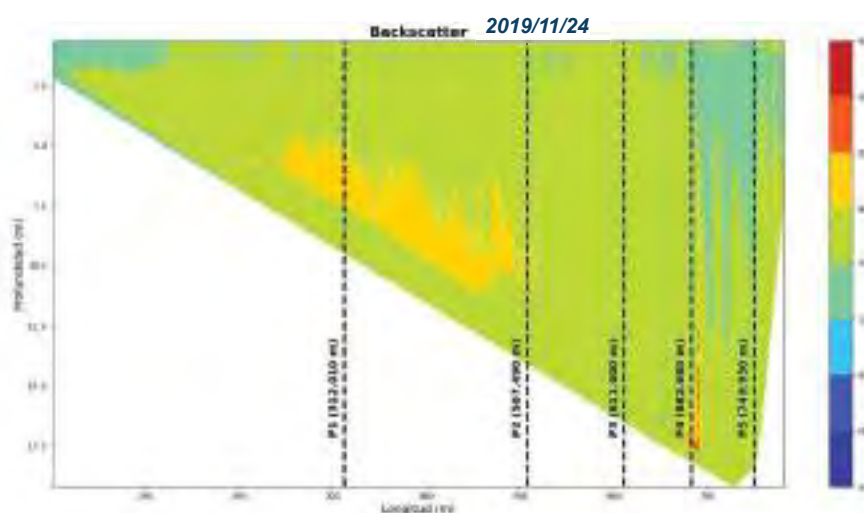
1.- @UBS_UCA01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



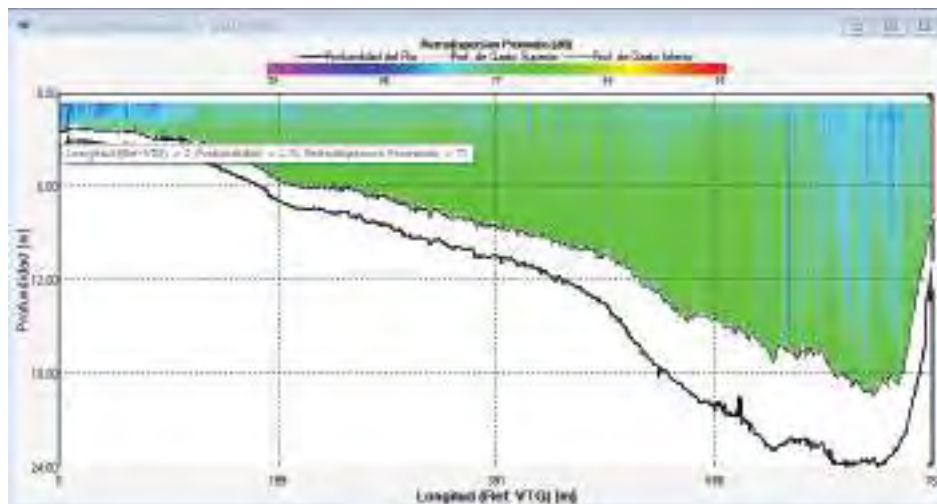
1.- @UBS_UCA01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

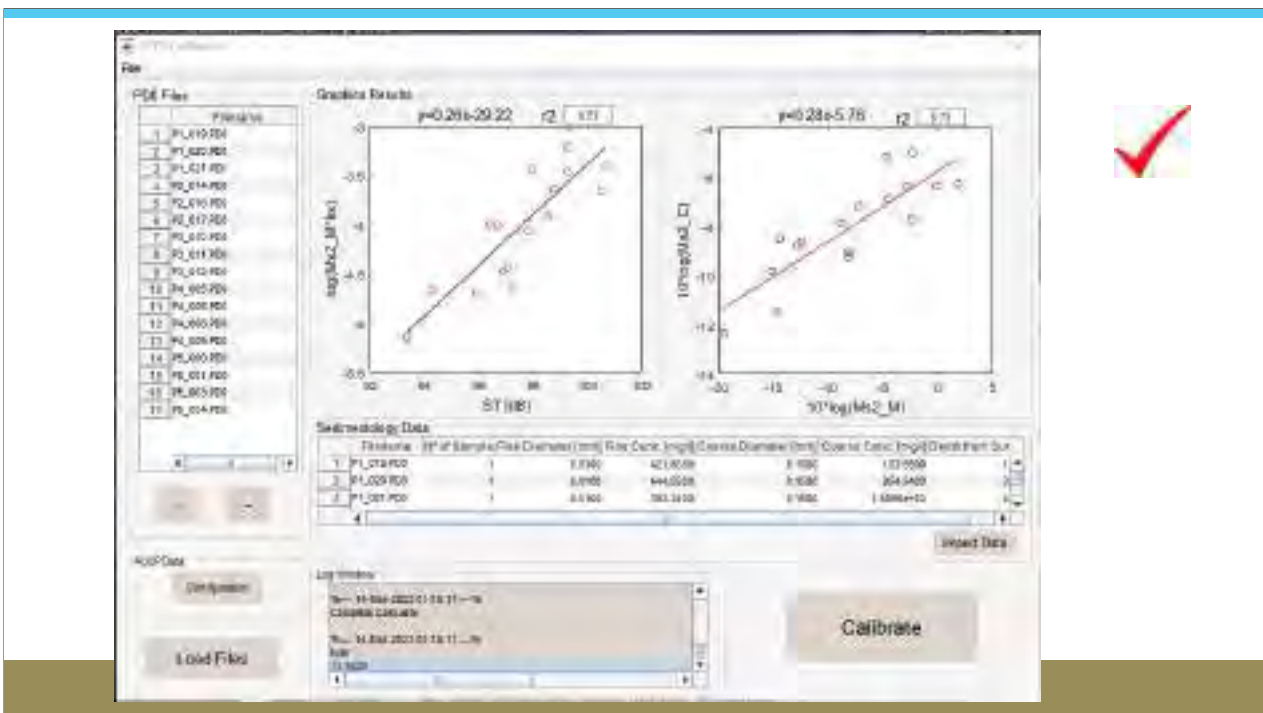
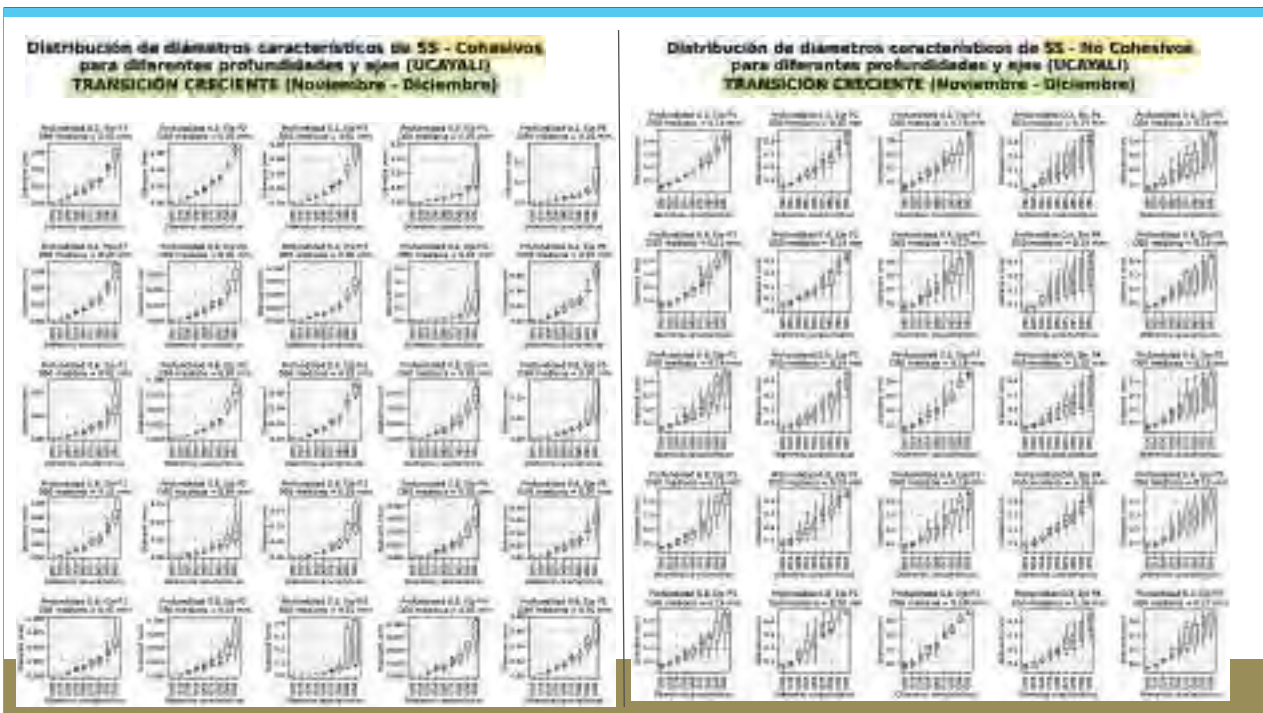


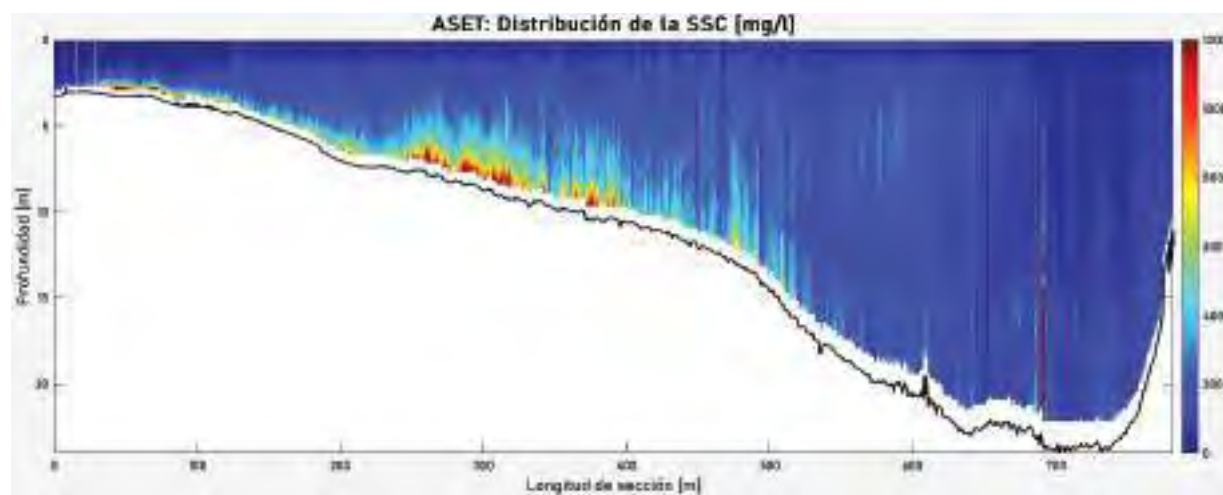
Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración



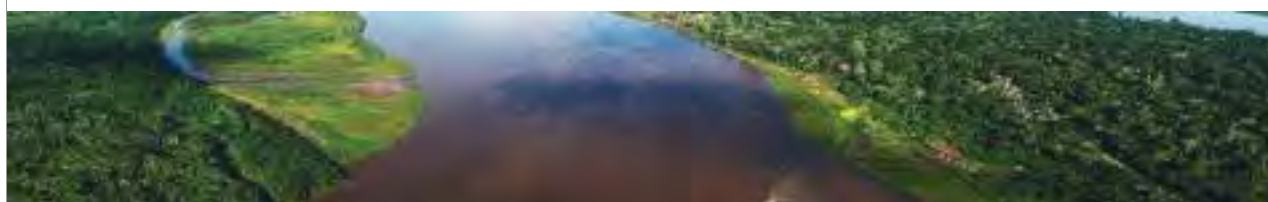
Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.





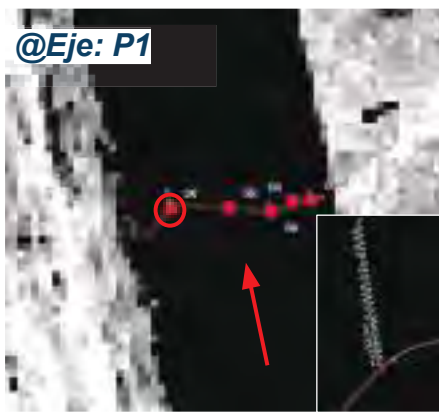


03.- UBS_UCAYALI01



3.- @UBS_UCAYALI01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P1



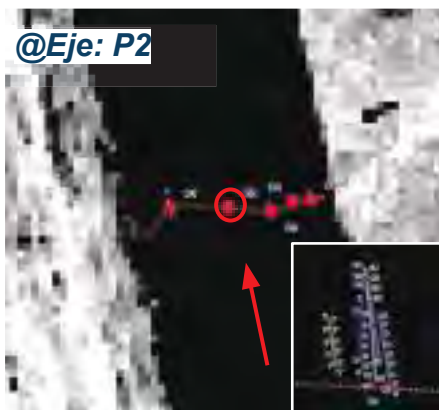
01	02	03	04	05
06	07	08	09	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

01	02
03	04
05	06
07	08
09	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26



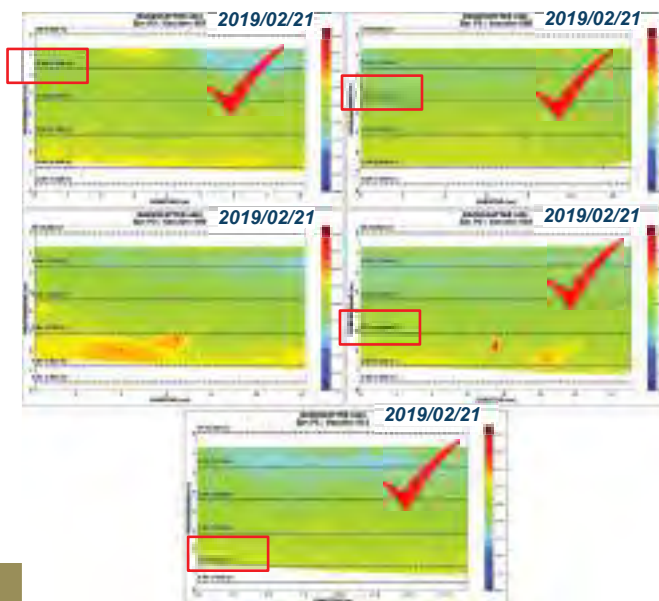
3.- @UBS_UCAYALI01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P2



01	02	03	04	05
06	07	08	09	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

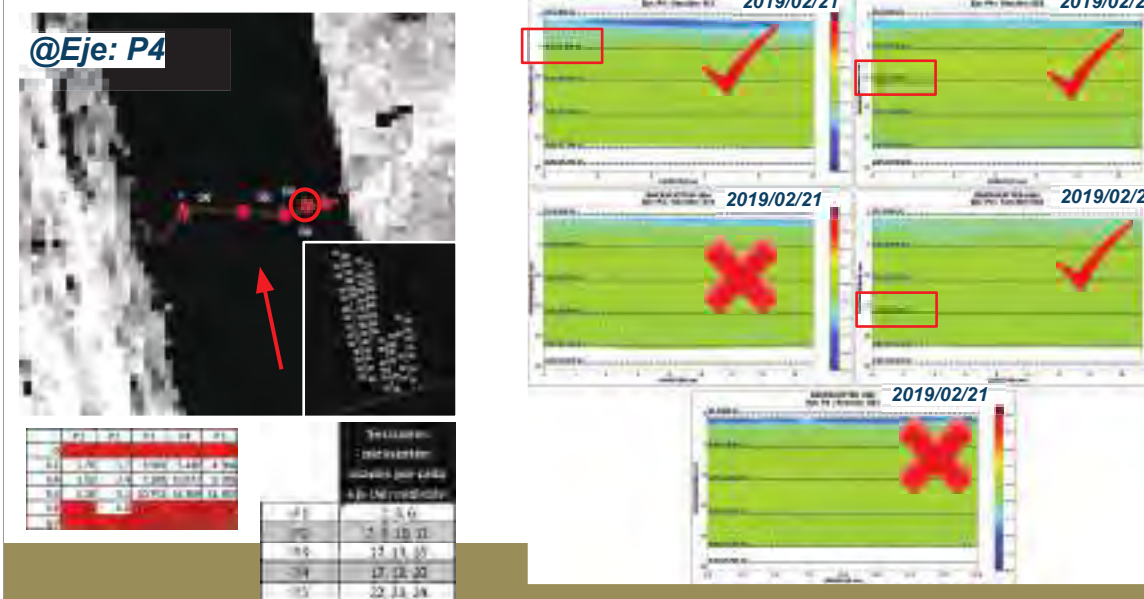
01	02
03	04
05	06
07	08
09	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26



3.- @UBS_UCAYALI01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

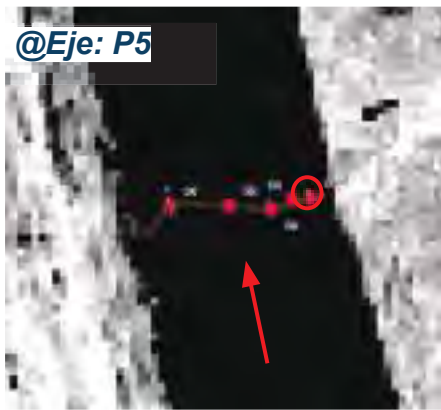


3.- @UBS_UCAYALI01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



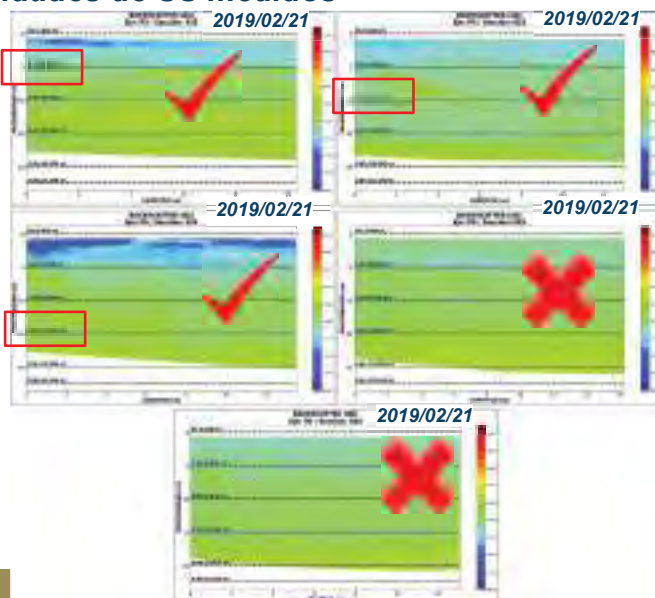
3.- @UBS_UCAYALI01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P5

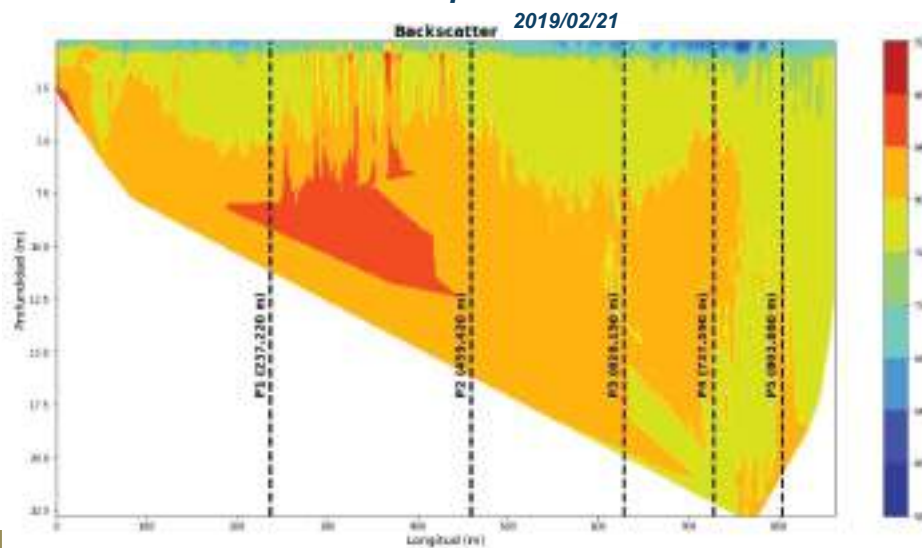


17	21	24	28	32
18	22	25	29	33
19	23	26	30	34
20	24	27	31	35
21	25	28	32	36
22	26	29	33	37
23	27	30	34	38
24	28	31	35	39
25	29	32	36	40
26	30	33	37	41
27	31	34	38	42
28	32	35	39	43
29	33	36	40	44
30	34	37	41	45
31	35	38	42	46
32	36	39	43	47
33	37	40	44	48
34	38	41	45	49
35	39	42	46	50
36	40	43	47	51
37	41	44	48	52
38	42	45	49	53
39	43	46	50	54
40	44	47	51	55
41	45	48	52	56
42	46	49	53	57
43	47	50	54	58
44	48	51	55	59
45	49	52	56	60
46	50	53	57	61
47	51	54	58	62
48	52	55	59	63
49	53	56	60	64
50	54	57	61	65
51	55	58	62	66
52	56	59	63	67
53	57	60	64	68
54	58	61	65	69
55	59	62	66	70
56	60	63	67	71
57	61	64	68	72
58	62	65	69	73
59	63	66	70	74
60	64	67	71	75
61	65	68	72	76
62	66	69	73	77
63	67	70	74	78
64	68	71	75	79
65	69	72	76	80
66	70	73	77	81
67	71	74	78	82
68	72	75	79	83
69	73	76	80	84
70	74	77	81	85
71	75	78	82	86
72	76	79	83	87
73	77	80	84	88
74	78	81	85	89
75	79	82	86	90
76	80	83	87	91
77	81	84	88	92
78	82	85	89	93
79	83	86	90	94
80	84	87	91	95
81	85	88	92	96
82	86	89	93	97
83	87	90	94	98
84	88	91	95	99
85	89	92	96	100

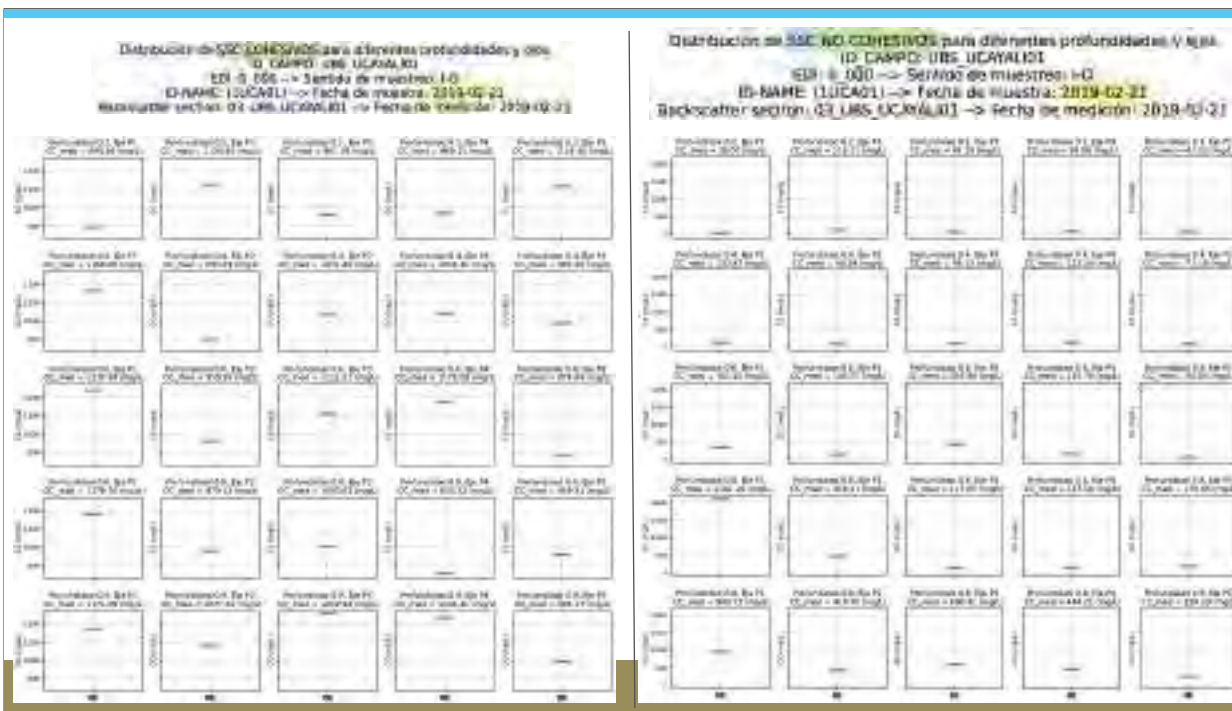
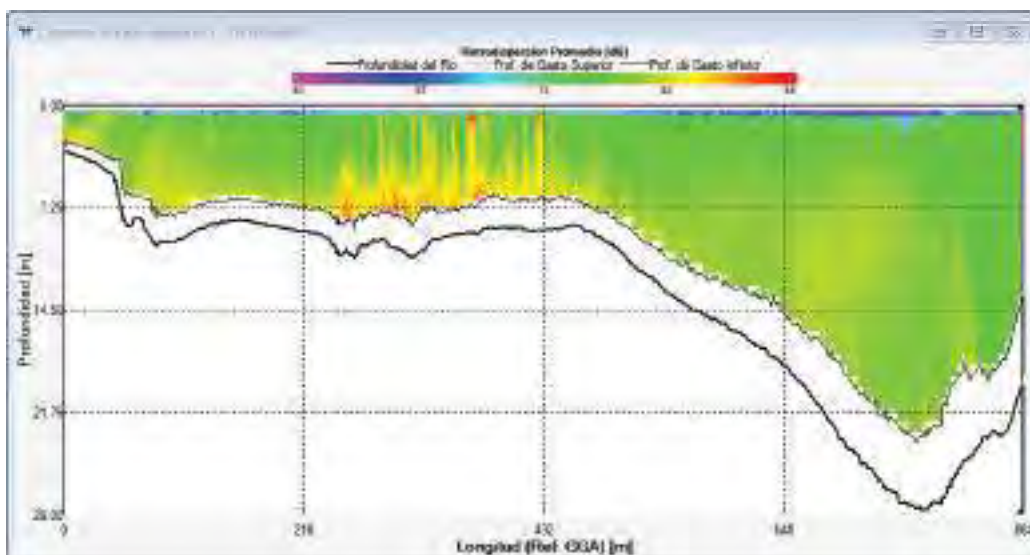
17	21	24	28	32
18	22	25	29	33
19	23	26	30	34
20	24	27	31	35
21	25	28	32	36
22	26	29	33	37
23	27	30	34	38
24	28	31	35	39
25	29	32	36	40
26	30	33	37	41
27	31	34	38	42
28	32	35	39	43
29	33	36	40	44
30	34	37	41	45
31	35	38	42	46
32	36	39	43	47
33	37	40	44	48
34	38	41	45	49
35	39	42	46	50
36	40	43	47	51
37	41	44	48	52
38	42	45	49	53
39	43	46	50	54
40	44	47	51	55
41	45	48	52	56
42	46	49	53	57
43	47	50	54	58
44	48	51	55	59
45	49	52	56	60
46	50	53	57	61
47	51	54	58	62
48	52	55	59	63
49	53	56	60	64
50	54	57	61	65
51	55	58	62	66
52	56	59	63	67
53	57	60	64	68
54	58	61	65	69
55	59	62	66	70
56	60	63	67	71
57	61	64	68	72
58	62	65	69	73
59	63	66	70	74
60	64	67	71	75
61	65	68	72	76
62	66	69	73	77
63	67	70	74	78
64	68	71	75	79
65	69	72	76	80
66	70	73	77	81
67	71	74	78	82
68	72	75	79	83
69	73	76	80	84
70	74	77	81	85
71	75	78	82	86
72	76	79	83	87
73	77	80	84	88
74	78	81	85	89
75	79	82	86	90
76	80	83	87	91
77	81	84	88	92
78	82	85	89	93
79	83	86	90	94
80	84	87	91	95
81	85	88	92	96
82	86	89	93	97
83	87	90	94	98
84	88	91	95	99
85	89	92	96	100

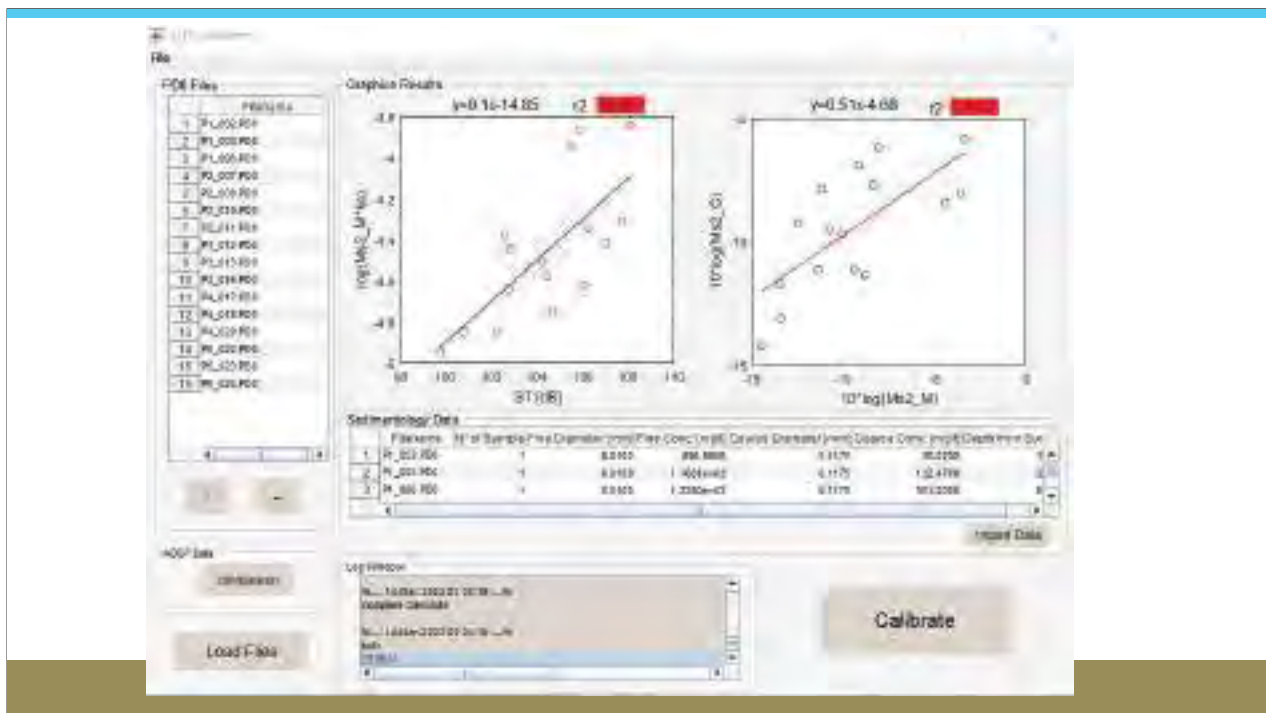


Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración



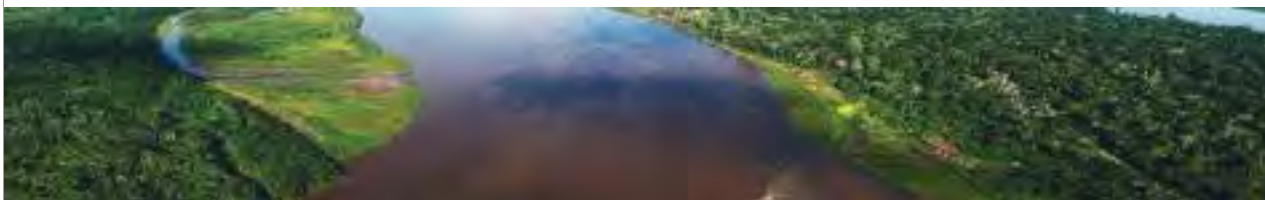
Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.





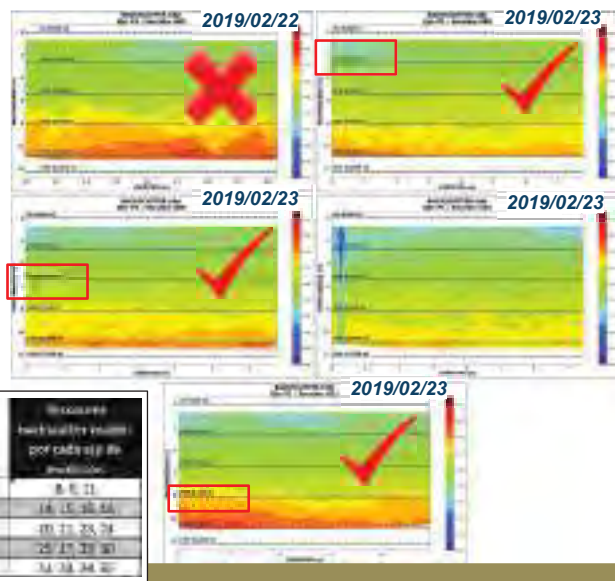
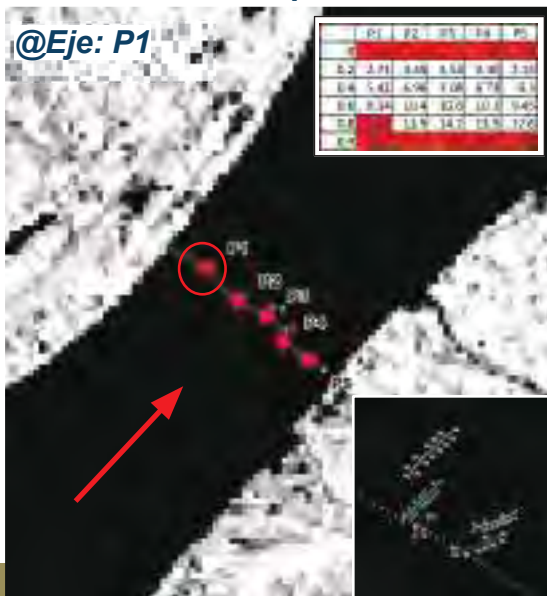


05_UBS-UHS_Maranon01

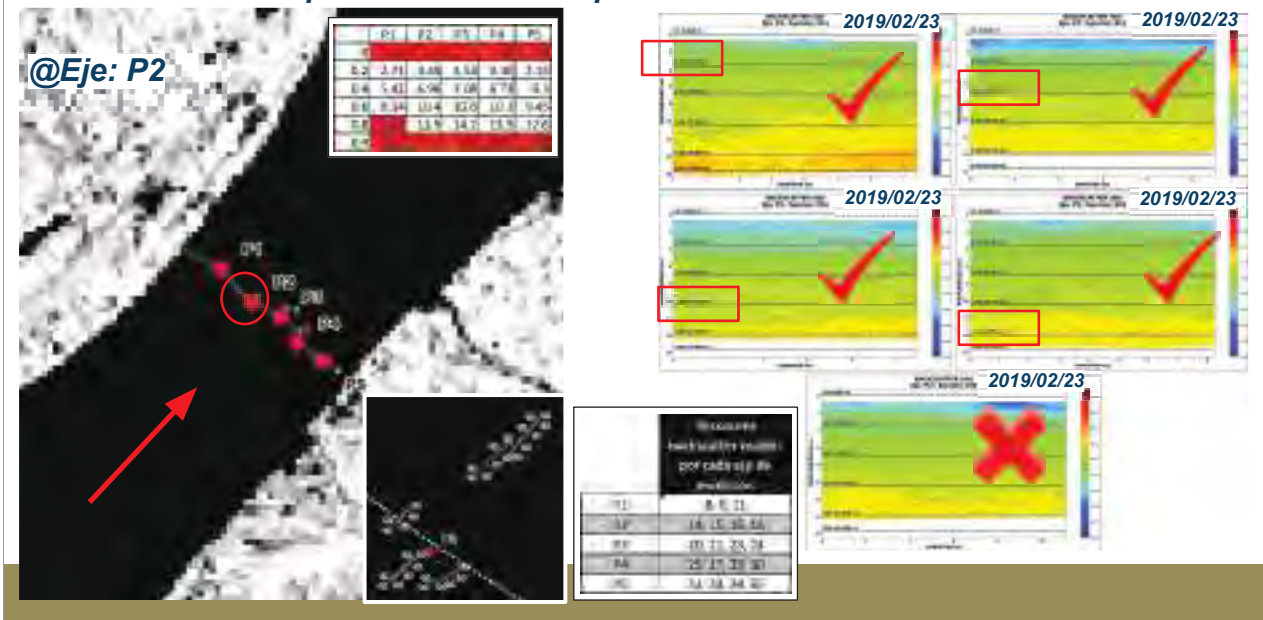


5.- @UBS-UHS_Maranon01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

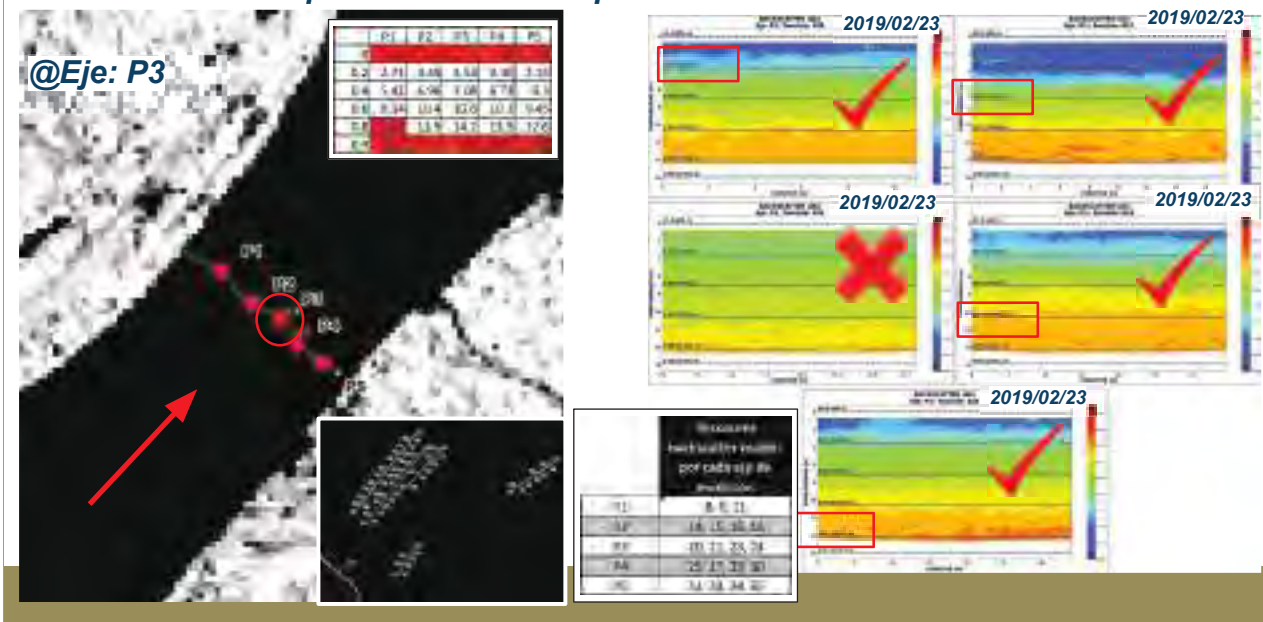
@Eje: P1



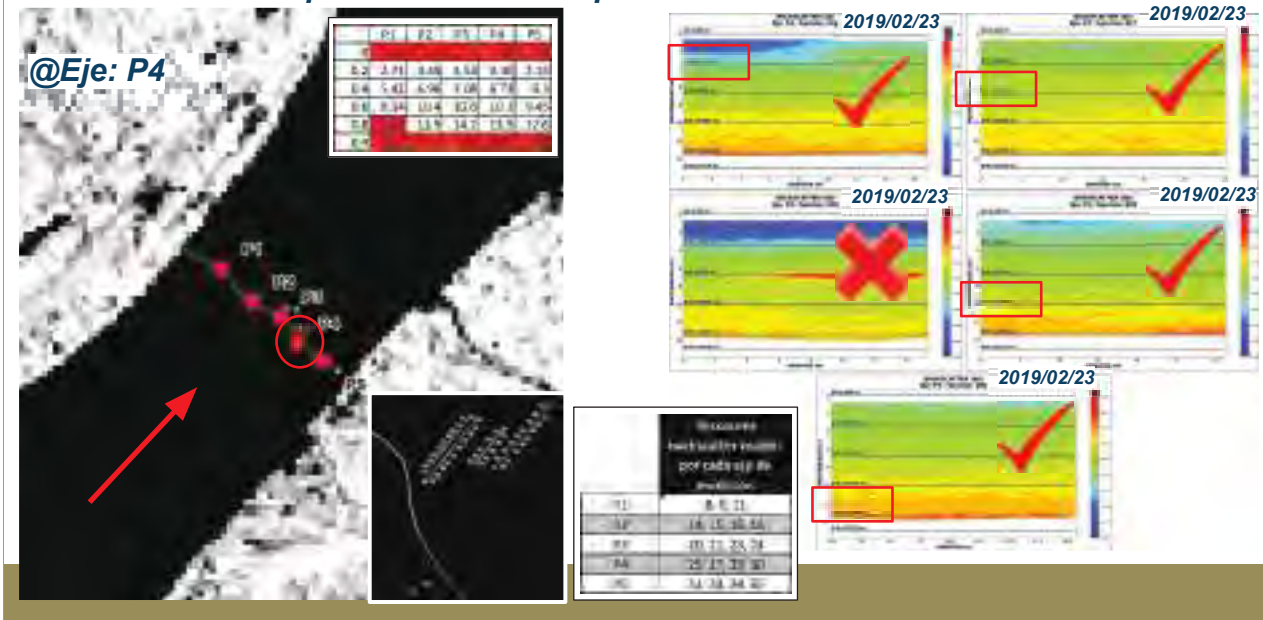
5.- @UBS-UHS_Maranon01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



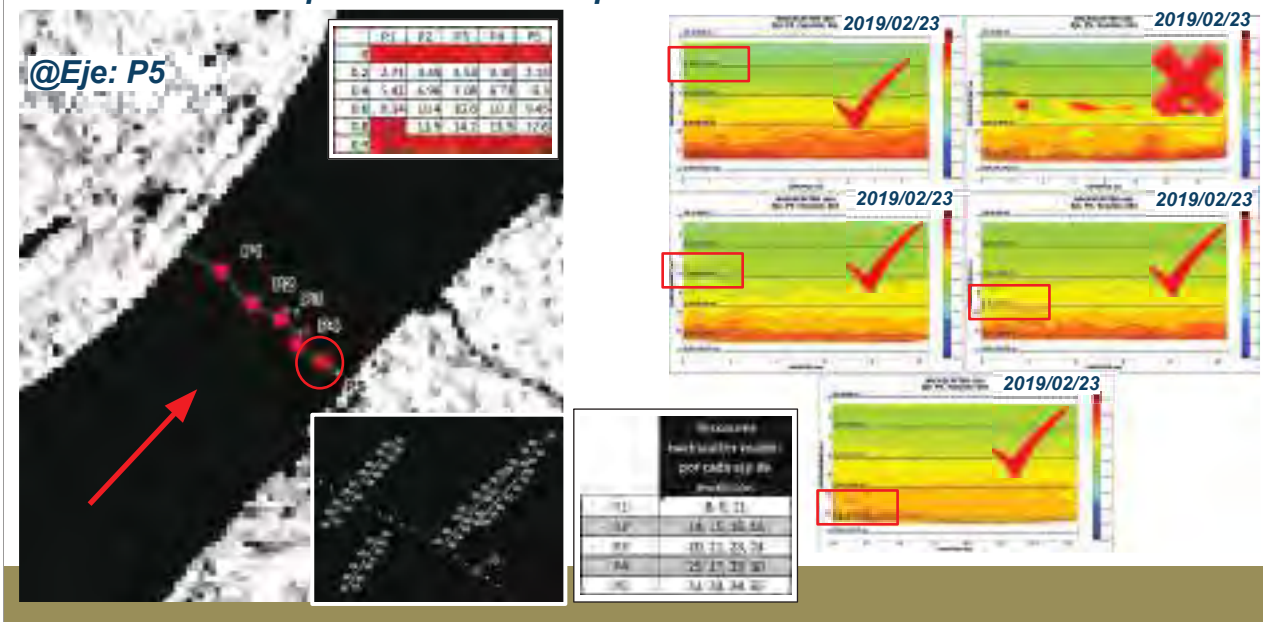
5.- @UBS-UHS_Maranon01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



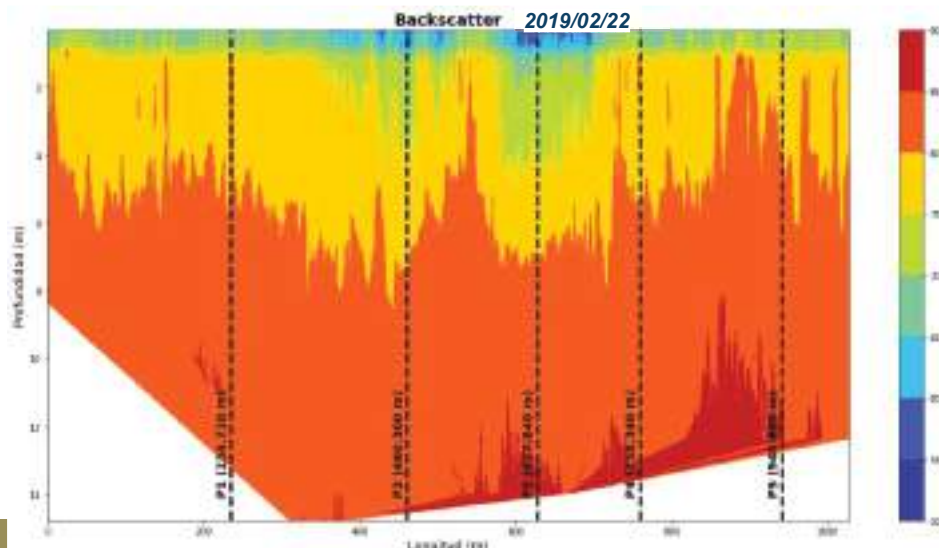
5.- @UBS-UHS_Maranon01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



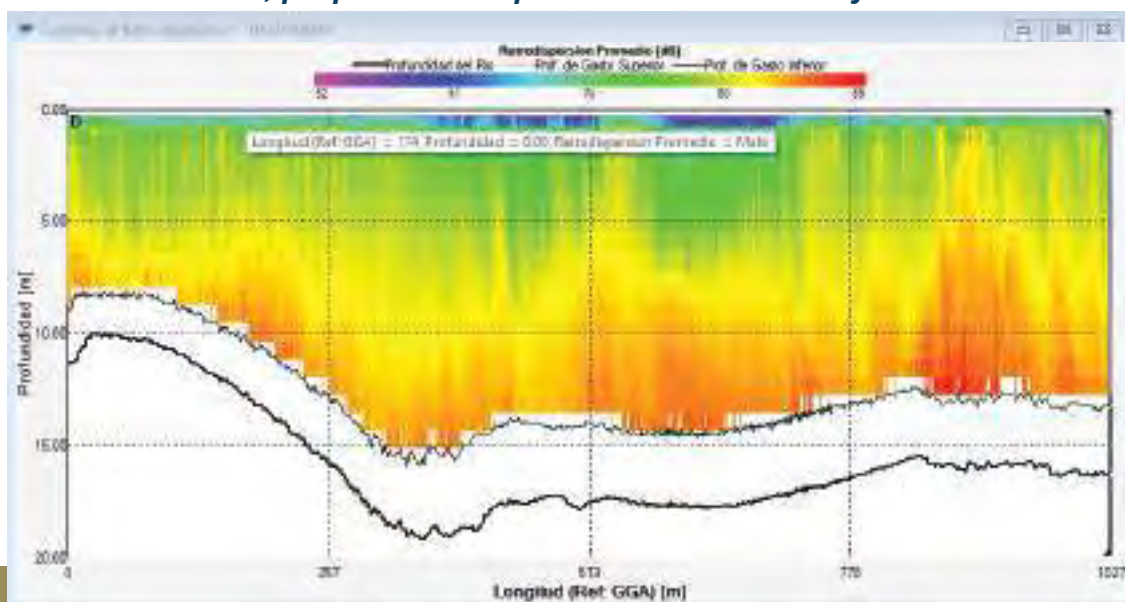
5.- @UBS-UHS_Maranon01 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

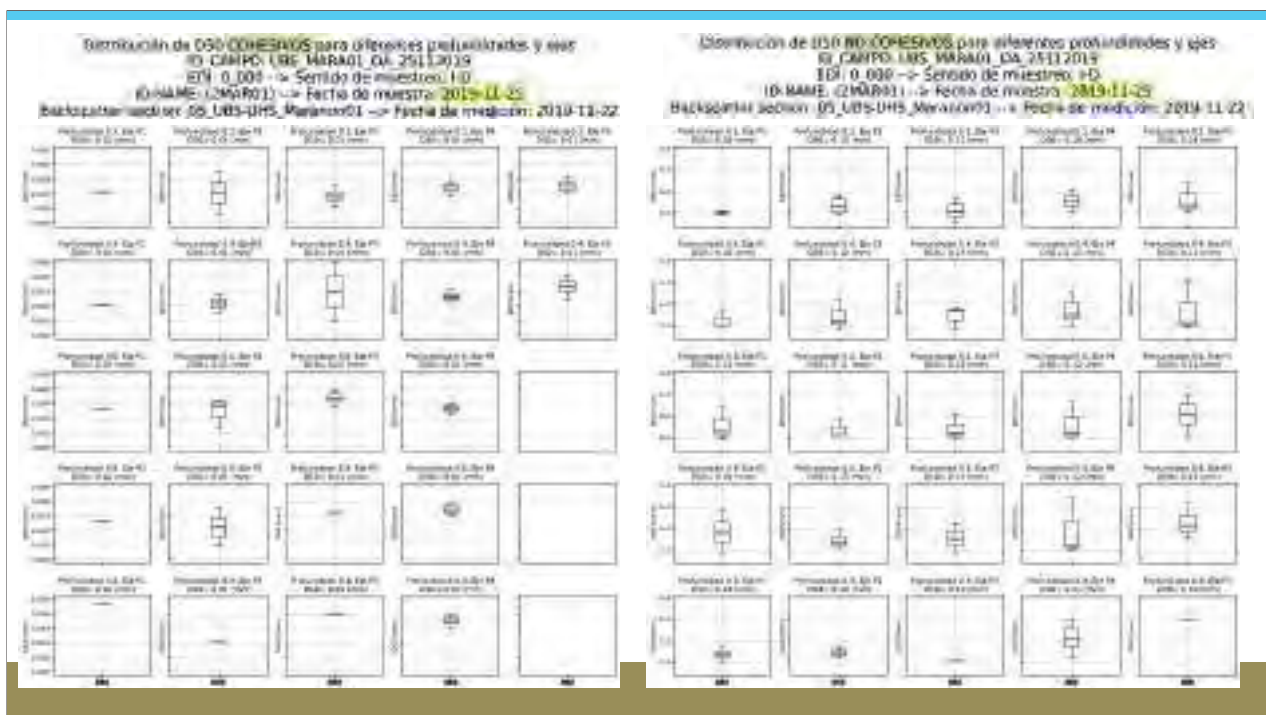
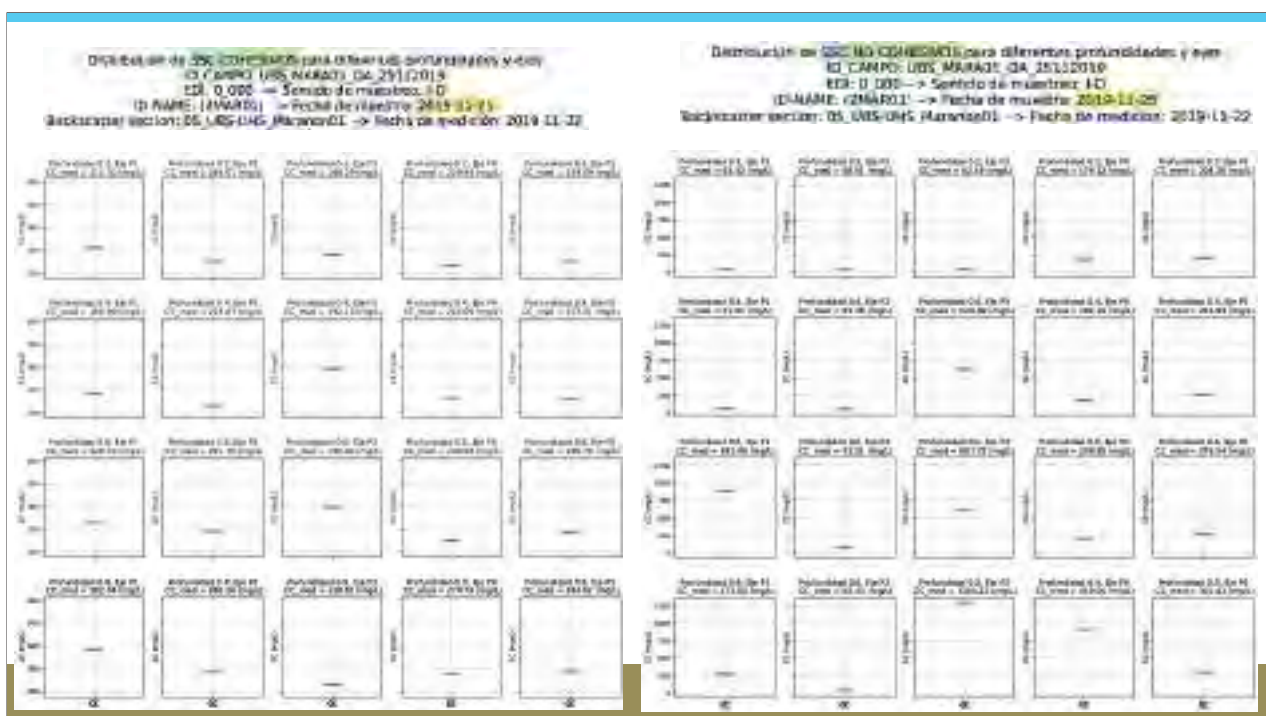


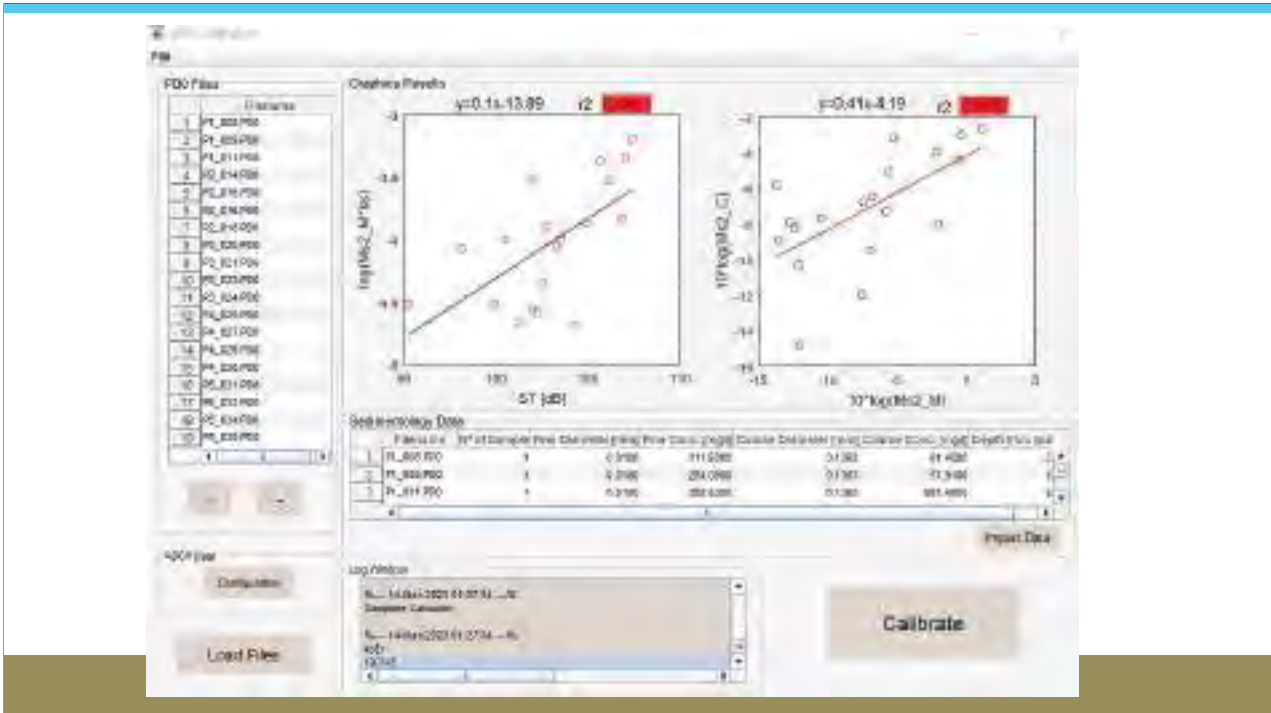
Distribución de la retrodispección acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración



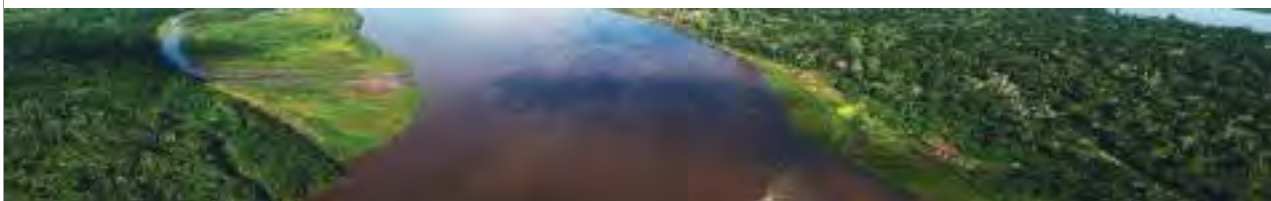
Distribución de la retrodispección acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.





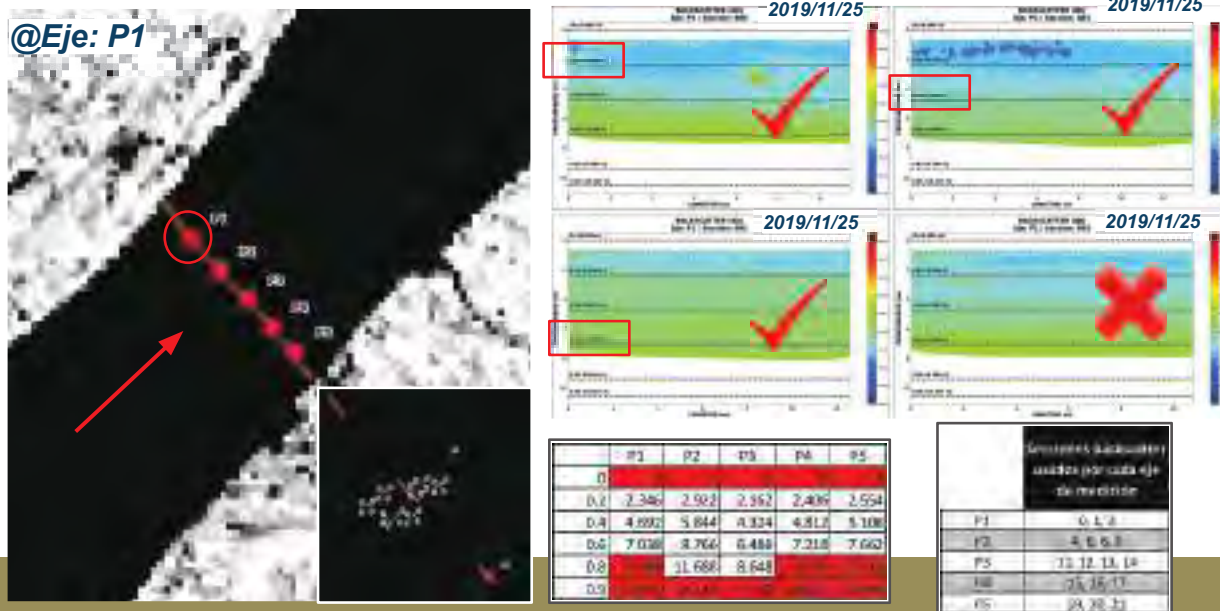


06_UHD_MARA01_OA



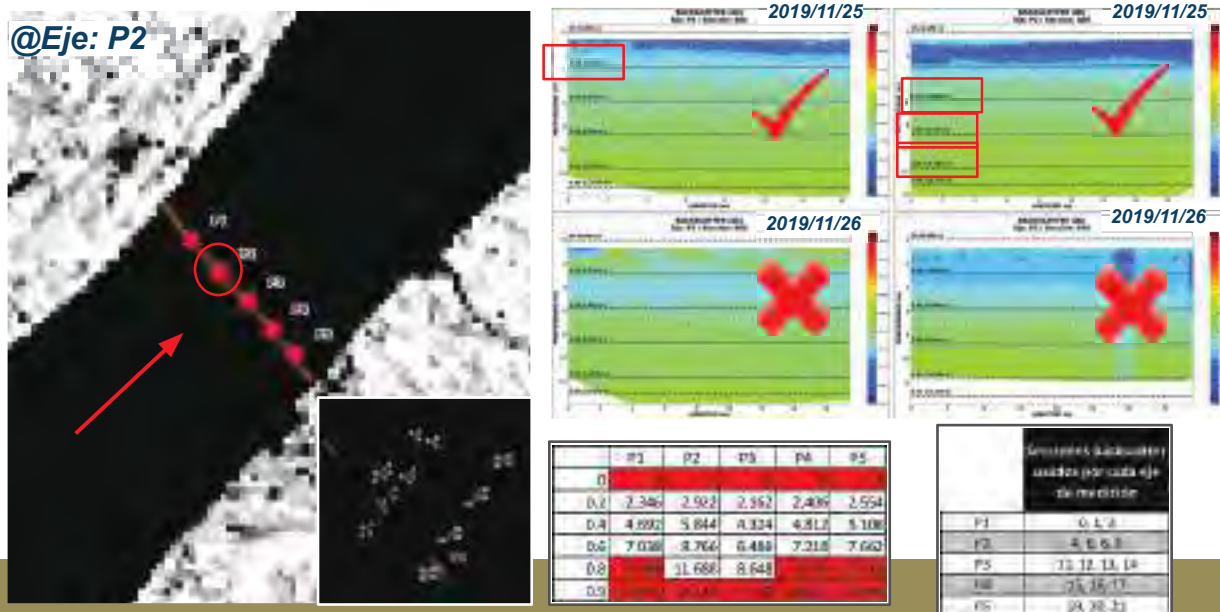
6.- @UHD_MARA01_OA - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P1



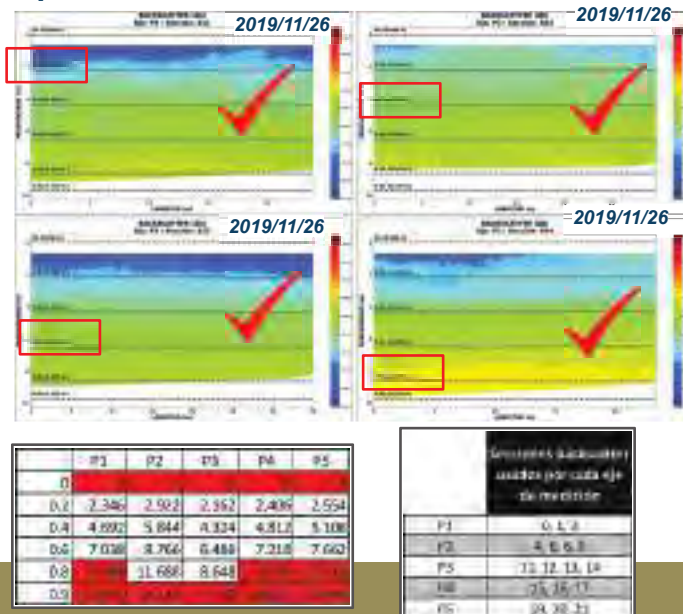
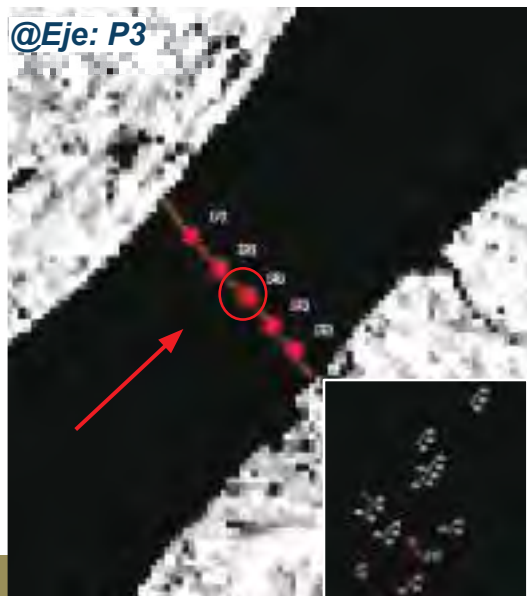
6.- @UHD_MARA01_OA - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P2



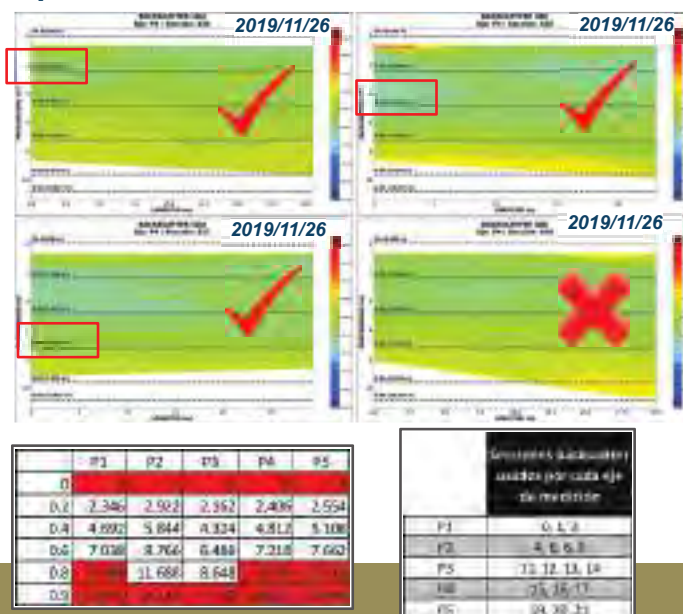
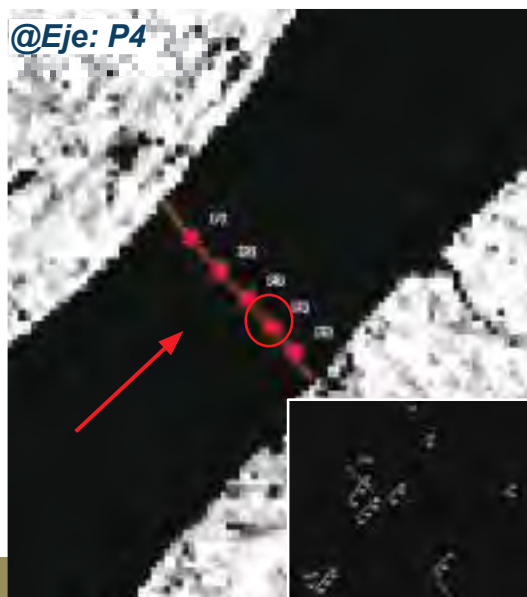
6.- @UHD_MARA01_OA - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P3



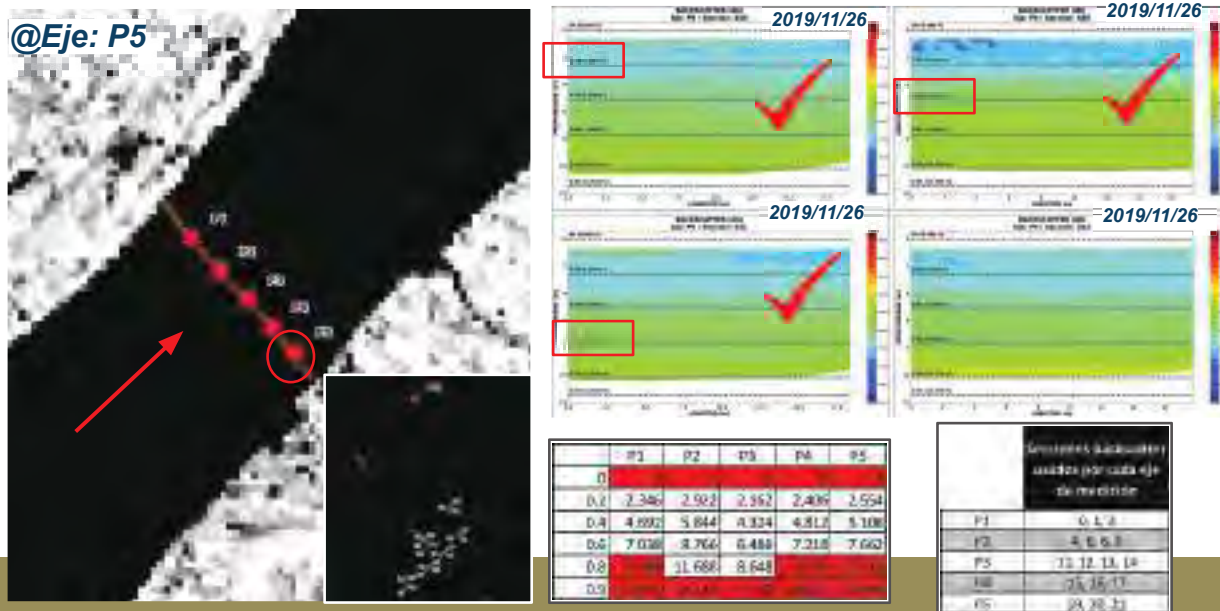
6.- @UHD_MARA01_OA - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P4

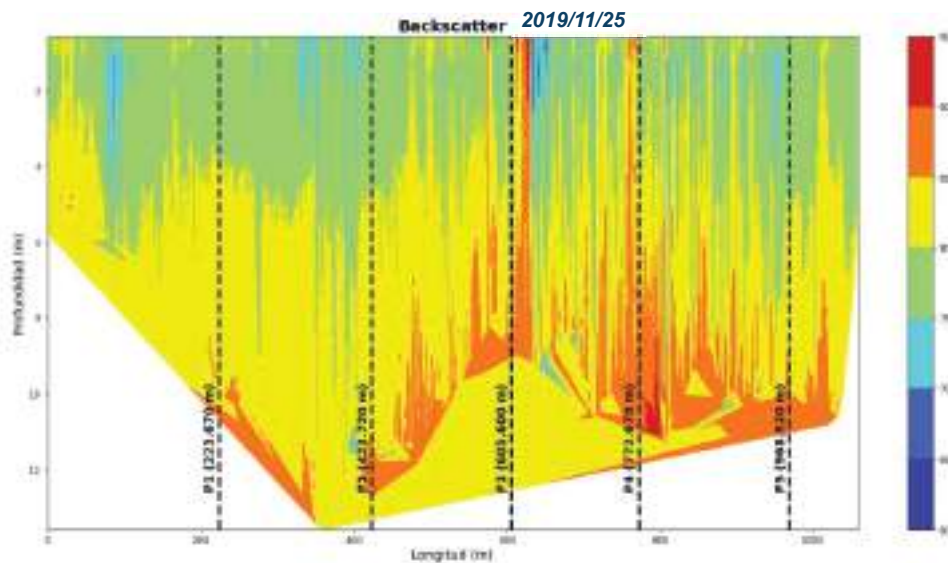


6.- @UHD_MARA01_OA - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

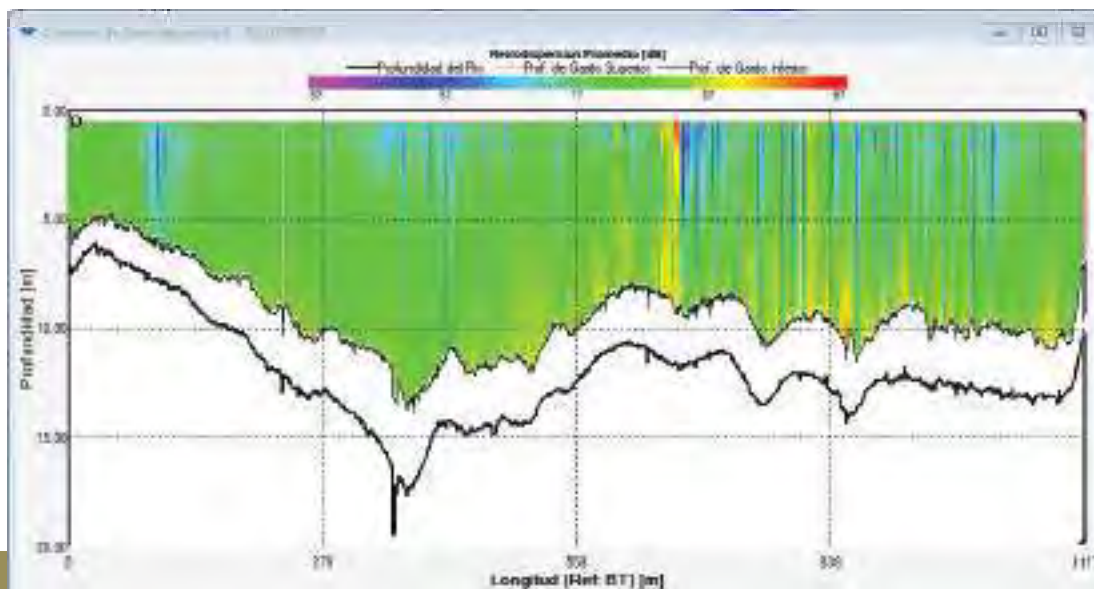
@Eje: P5



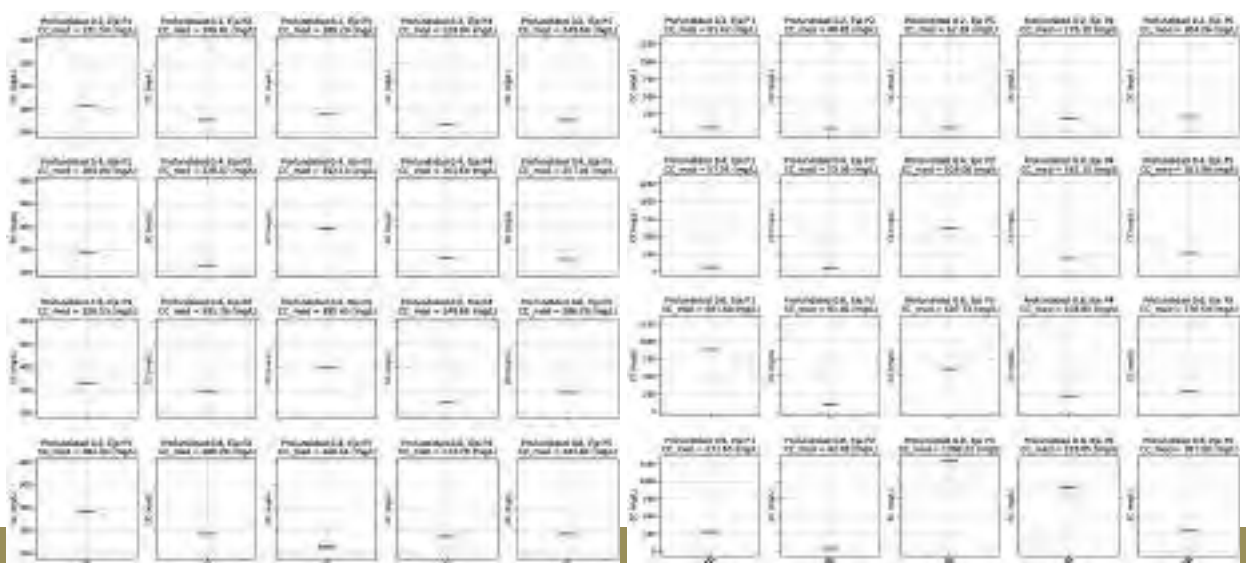
Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración

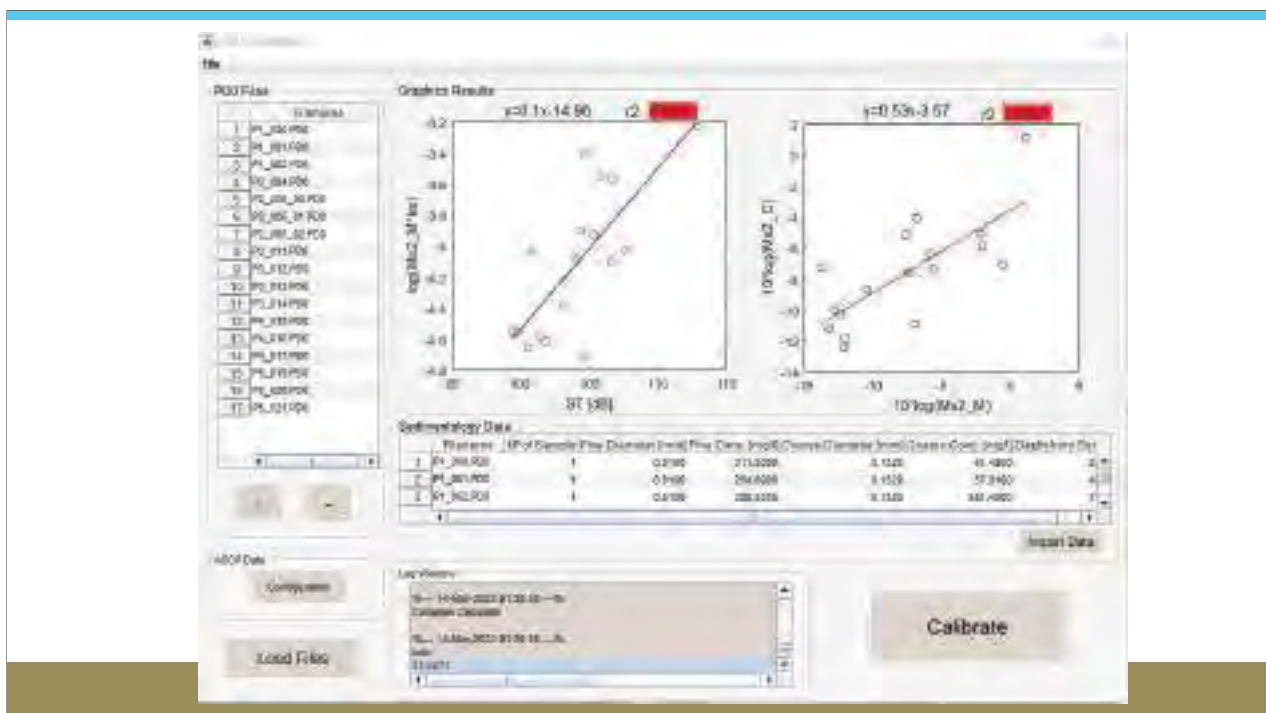
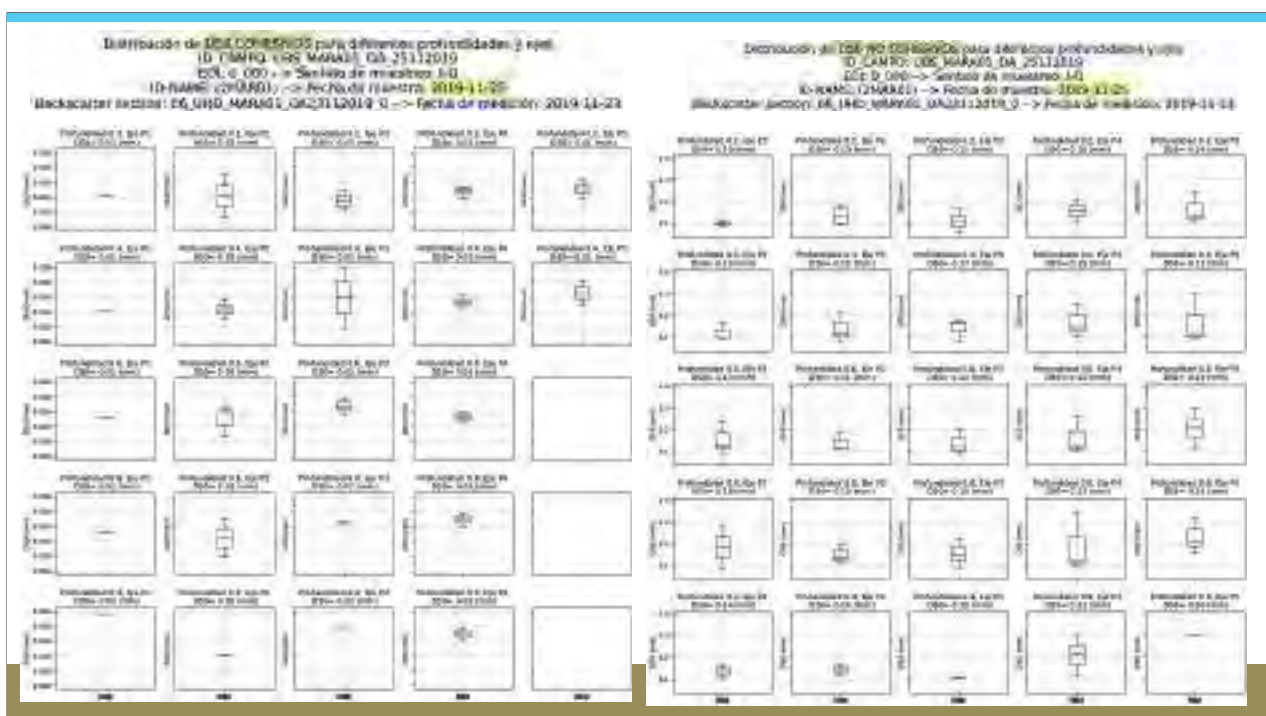


Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.



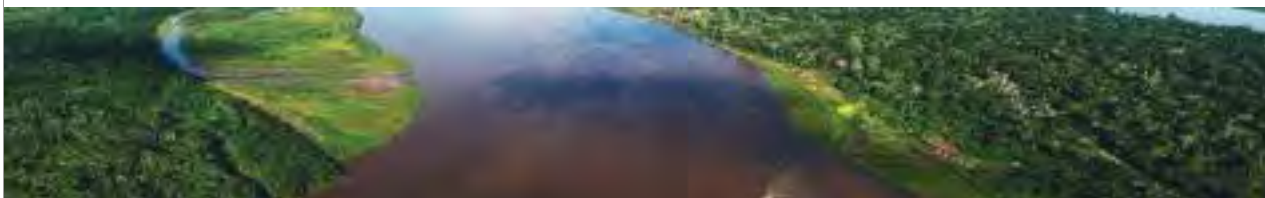
Distribución de SSC (mg/l) para diferentes profundidades y en el ID CAMPO LBS MARA01_CA_25112019
 ESI: 0.060 -> Servicio de muestreo: ID
 @MARE (25MAY01) -> Fecha de muestreo: 2019-11-29
 Backscatter en el ID CAMPO LBS MARA01_CA25112019_0 -> Fecha de medición: 2019-11-29







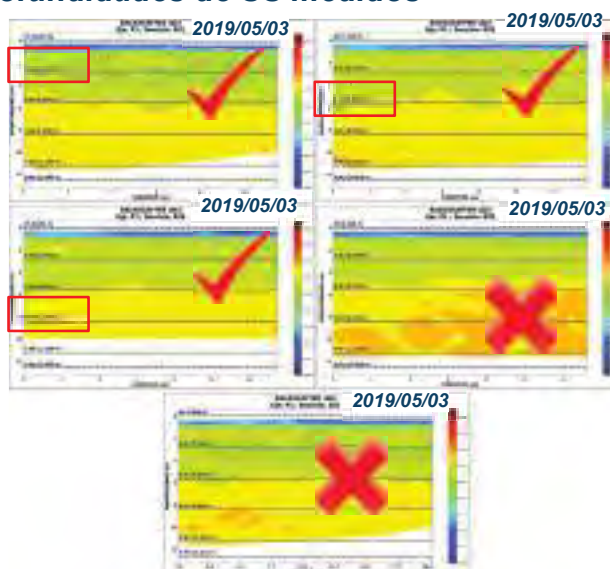
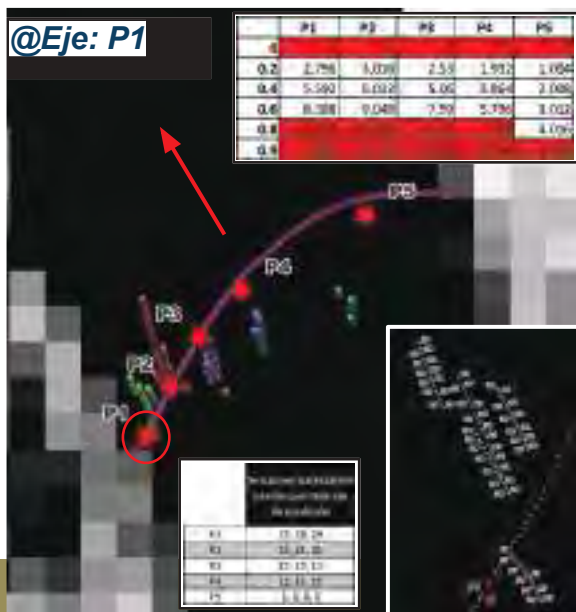
07_UHS01-YURIMAGUAS



7.- @UHS01-YURIMAGUAS - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P1

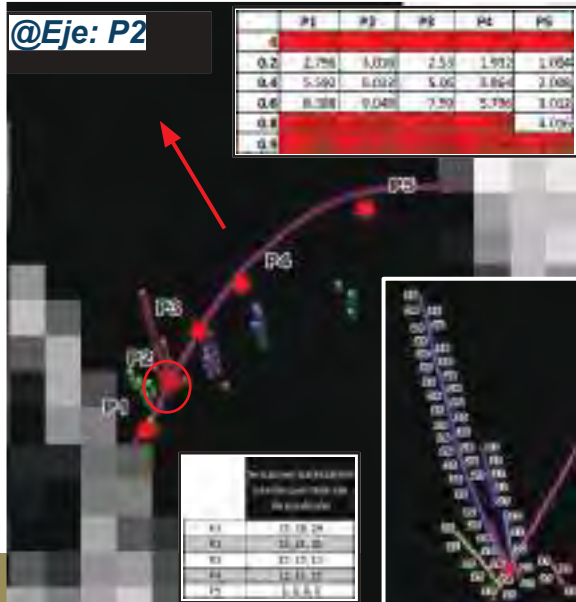
	P1	P2	P3	P4	P5
0.2	2.758	3.038	2.53	1.932	1.094
0.4	5.590	6.092	5.06	3.864	2.086
0.6	8.381	9.041	7.59	5.796	3.032
0.8					4.090
0.9					



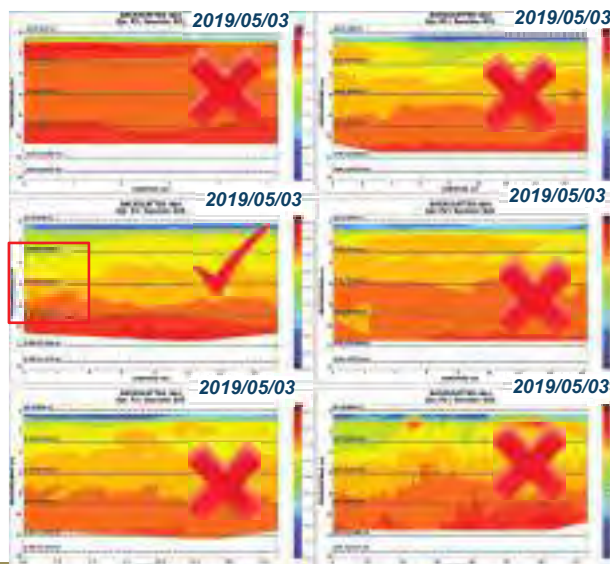
7.- @UHS01-YURIMAGUAS - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P2

	P1	P2	P3	P4	P5
0.2	2.758	3.028	2.53	1.932	1.094
0.4	5.592	6.052	5.06	3.864	2.088
0.6	8.388	9.048	7.59	5.796	3.032
0.8					4.096



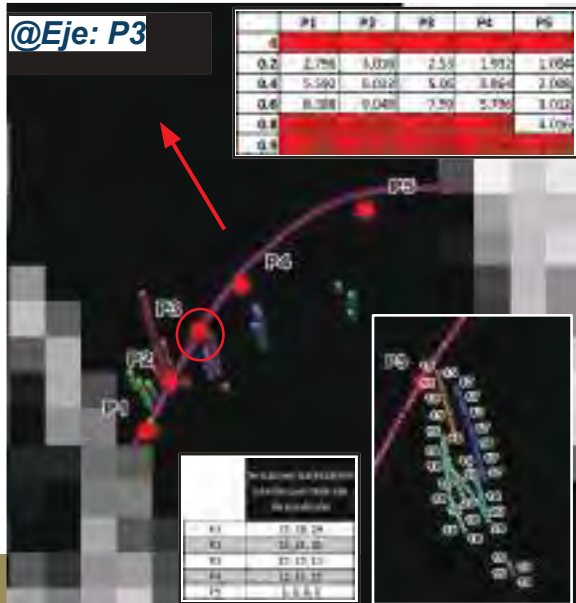
	P1	P2	P3	P4	P5
0.2	2.758	3.028	2.53	1.932	1.094
0.4	5.592	6.052	5.06	3.864	2.088
0.6	8.388	9.048	7.59	5.796	3.032
0.8					4.096



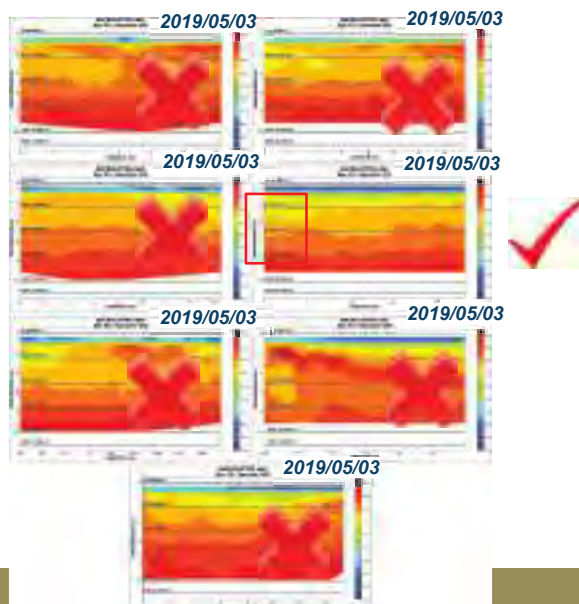
7.- @UHS01-YURIMAGUAS - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

@Eje: P3

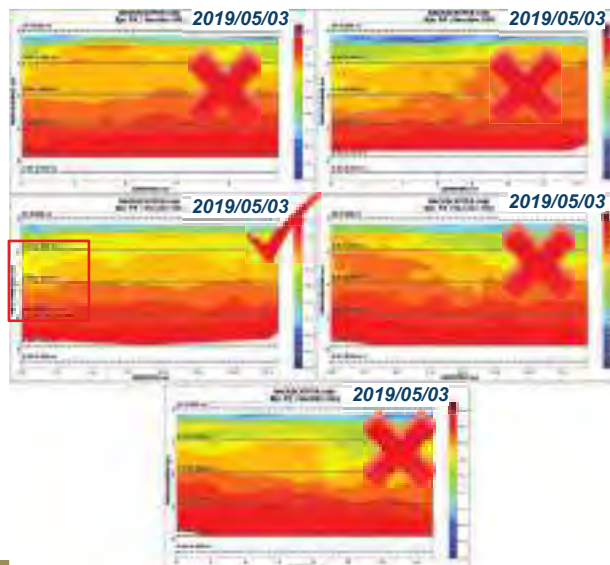
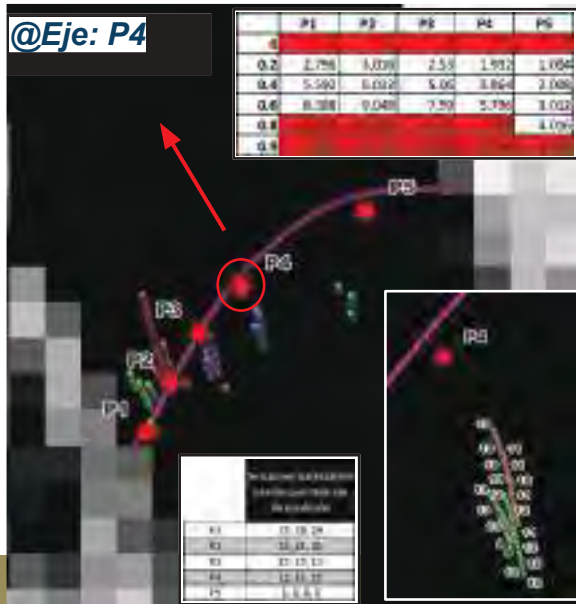
	P1	P2	P3	P4	P5
0.2	2.758	3.028	2.53	1.932	1.094
0.4	5.592	6.052	5.06	3.864	2.088
0.6	8.388	9.048	7.59	5.796	3.032
0.8					4.096



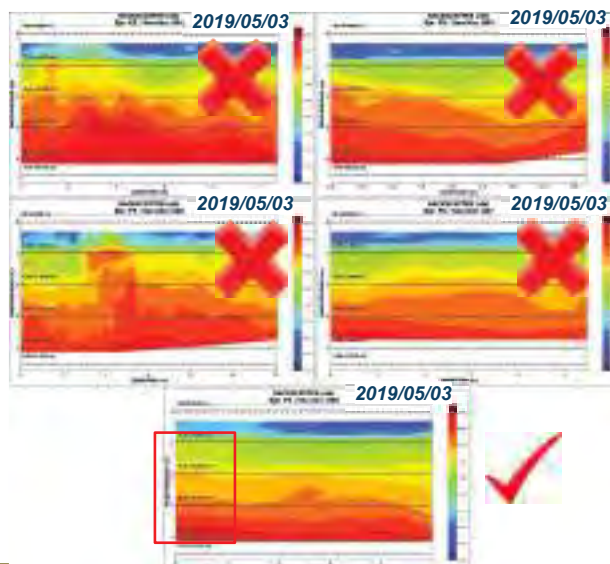
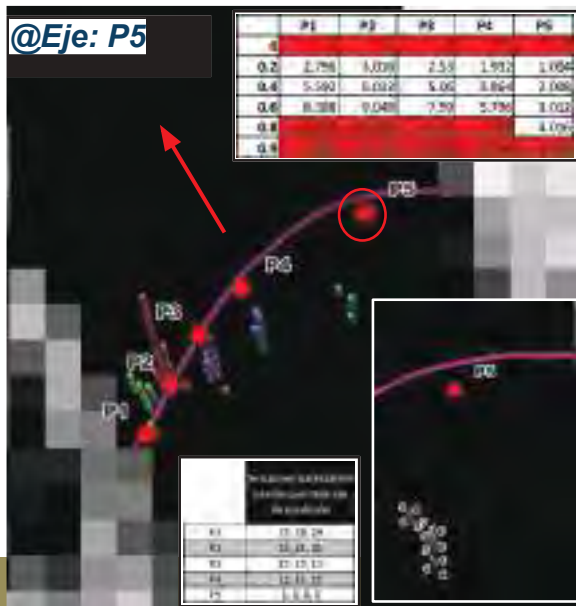
	P1	P2	P3	P4	P5
0.2	2.758	3.028	2.53	1.932	1.094
0.4	5.592	6.052	5.06	3.864	2.088
0.6	8.388	9.048	7.59	5.796	3.032
0.8					4.096



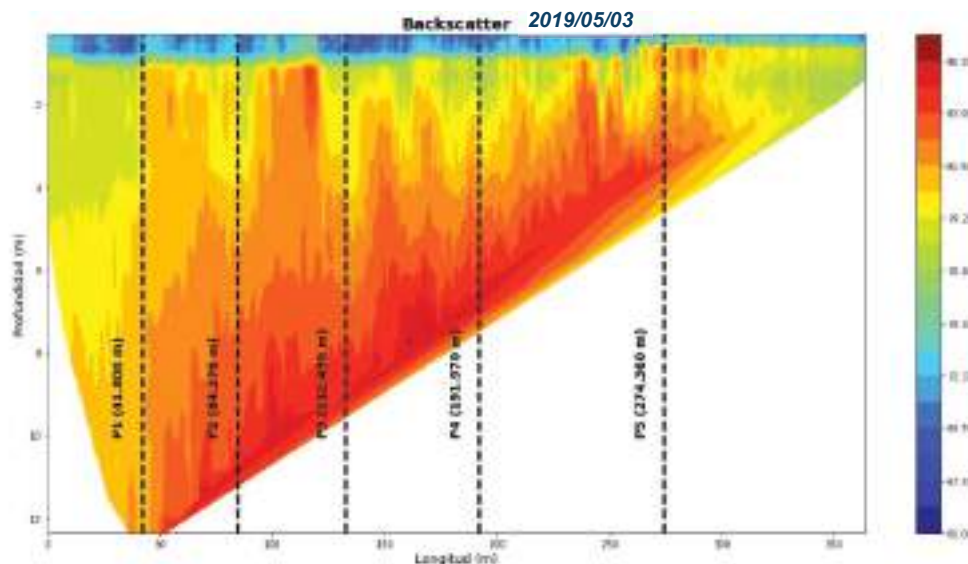
7.- @UHS01-YURIMAGUAS - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



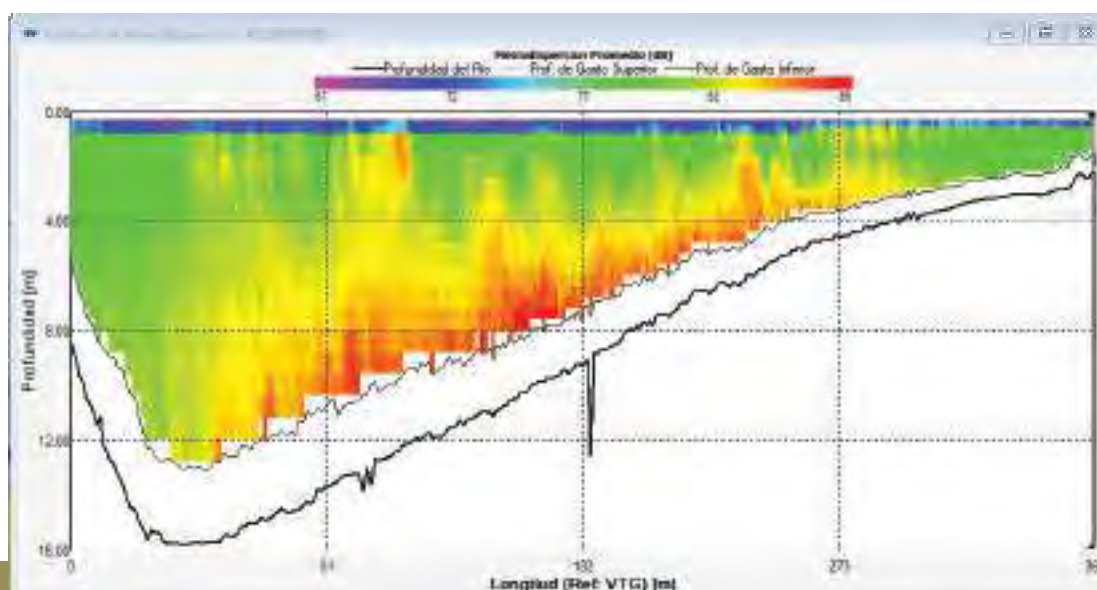
7.- @UHS01-YURIMAGUAS - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

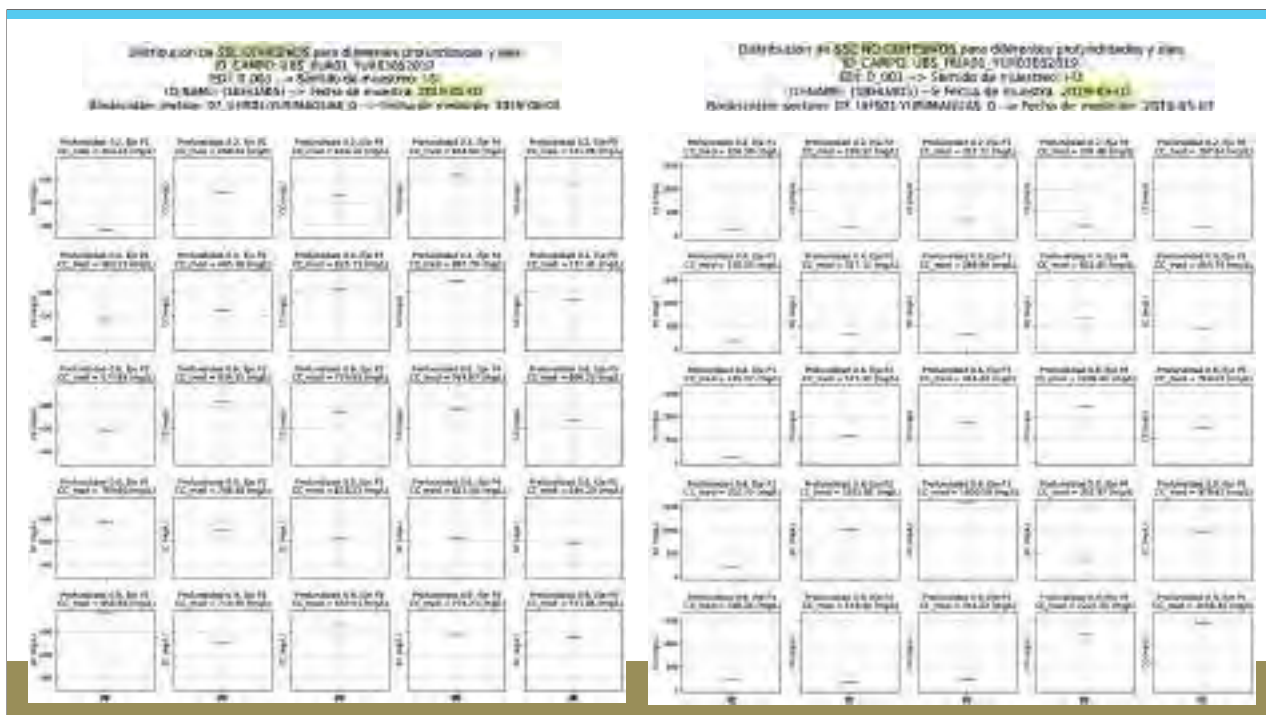


Distribución de la retrodispección acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración



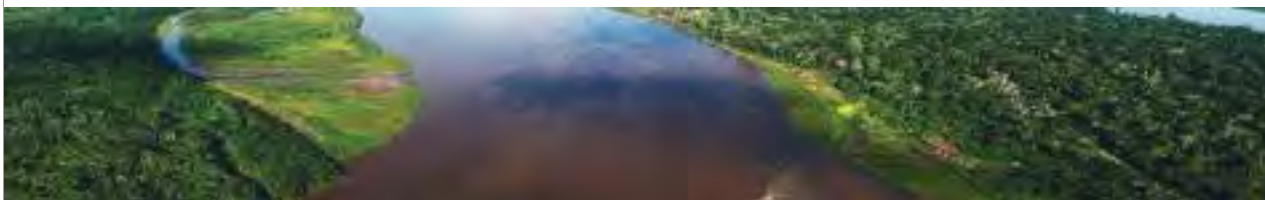
Distribución de la retrodispección acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.



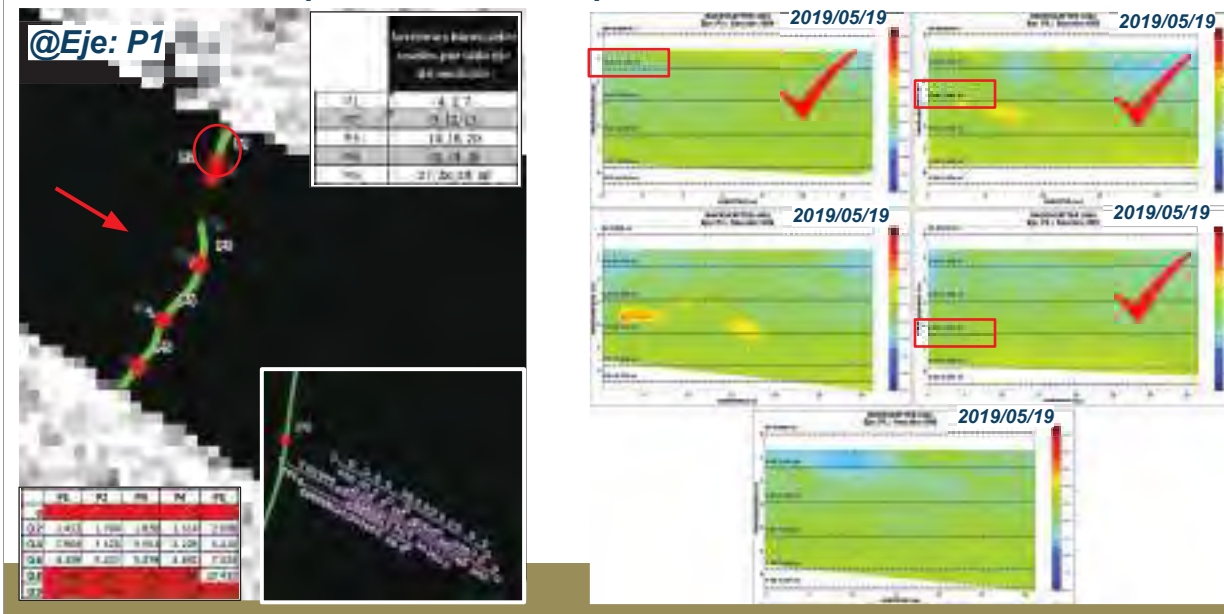




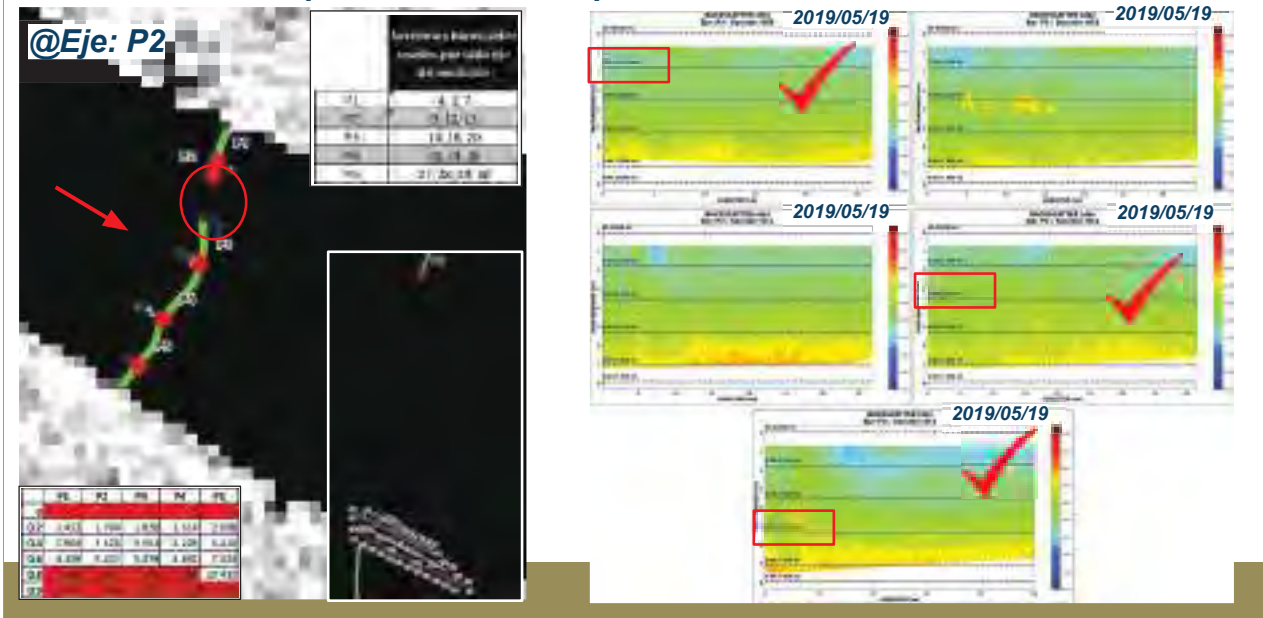
08_UHS11-BAR11-MARAÑÓN_0



8.- @UHS11-BAR11-MARAÑÓN_0 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



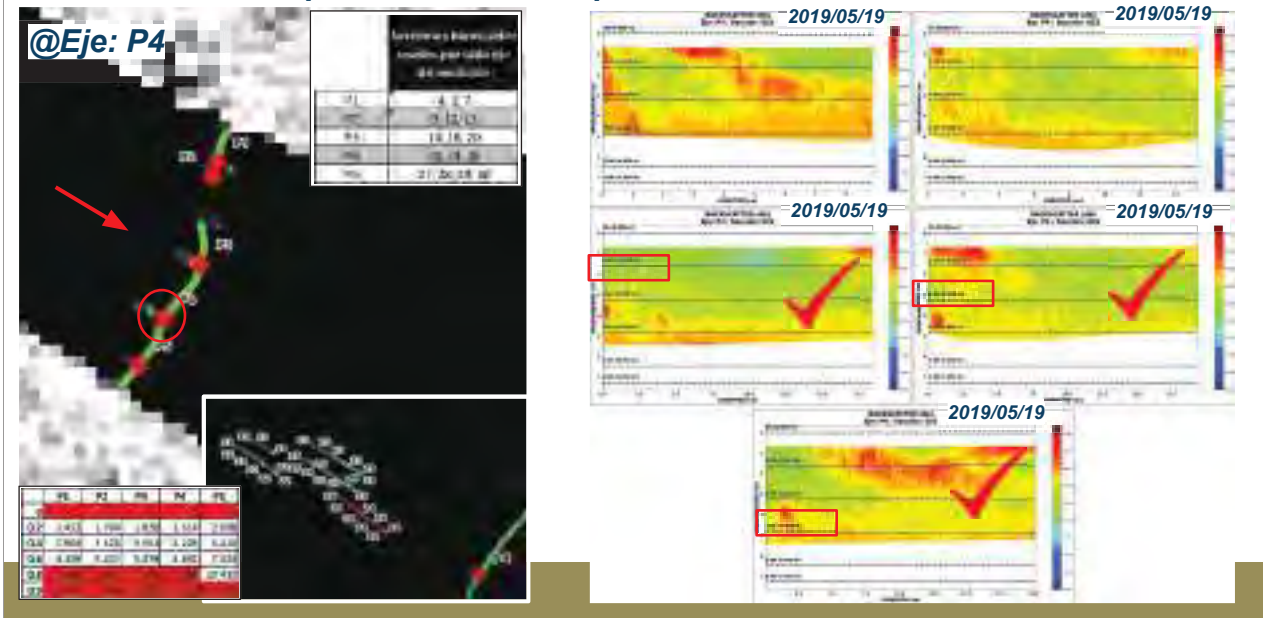
8.- @UHS11-BAR11-MARAÑON_0 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



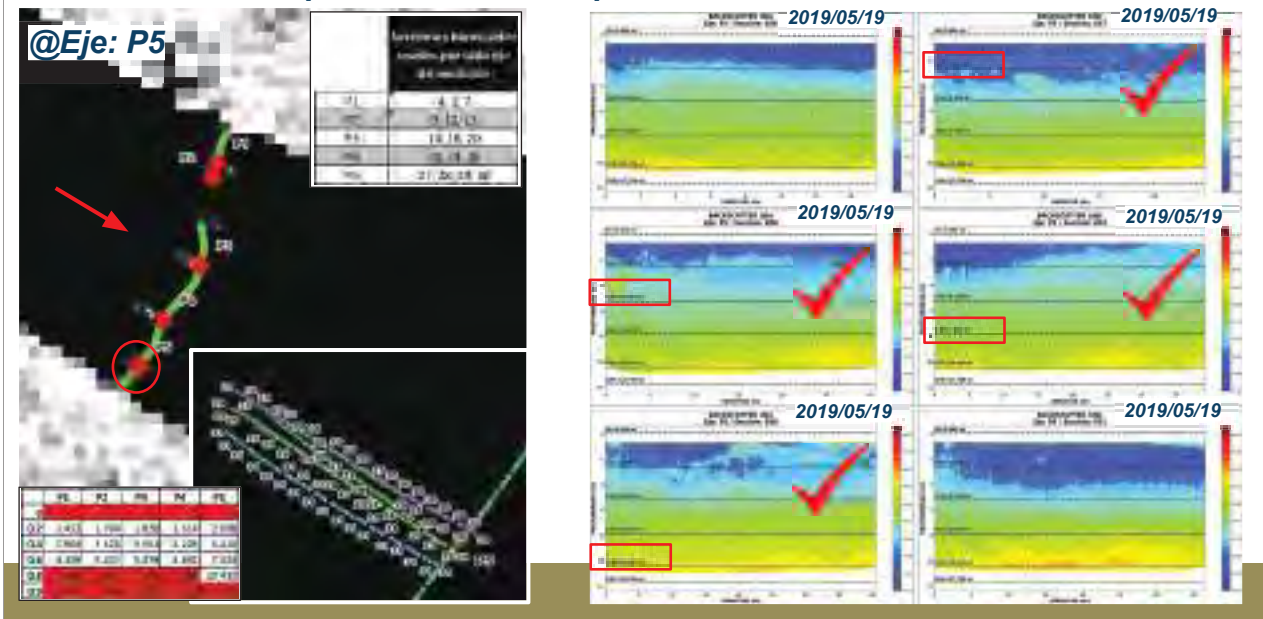
8.- @UHS11-BAR11-MARAÑON_0 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



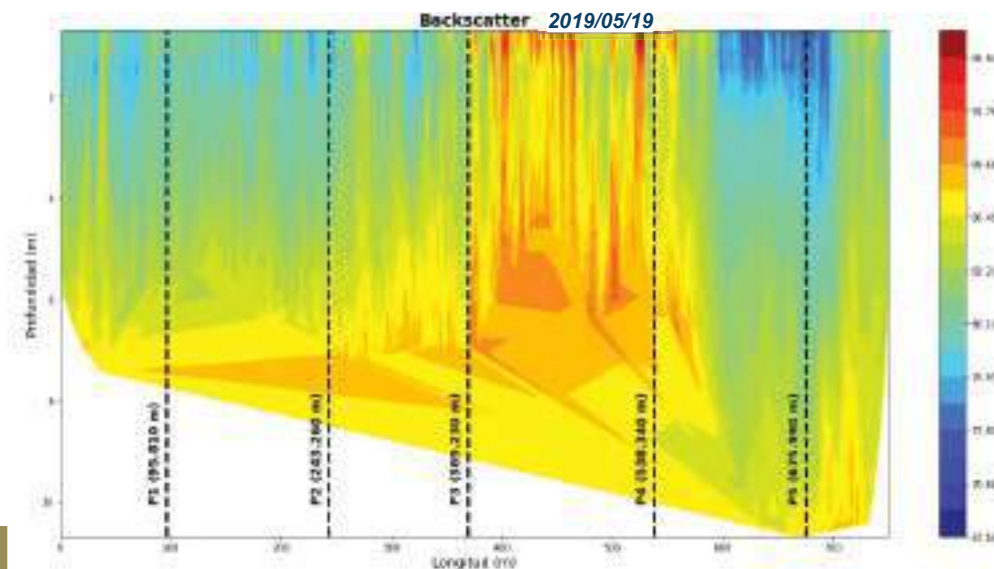
8.- @UHS11-BAR11-MARAÑON_0 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos



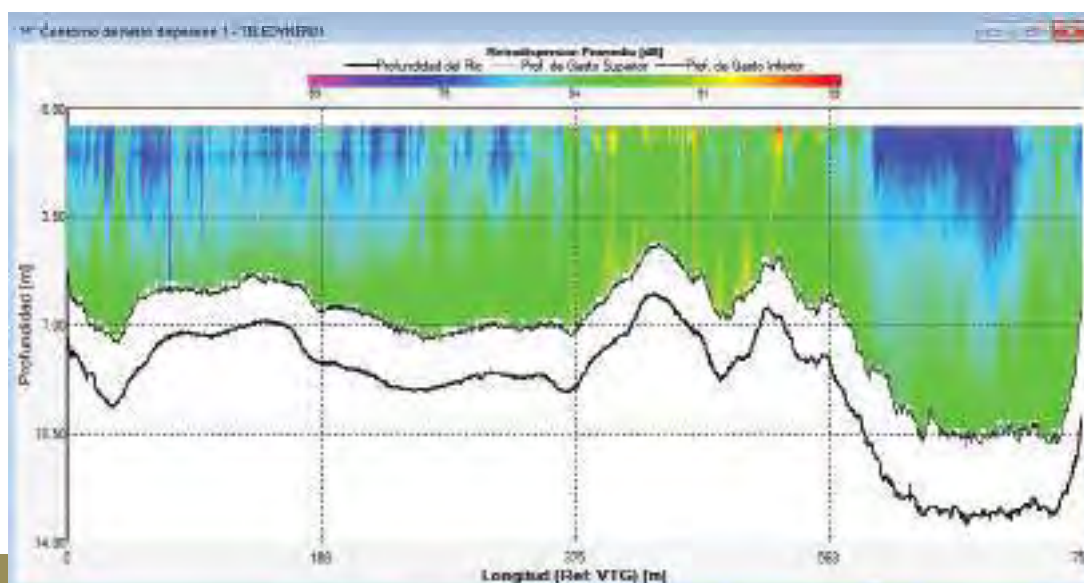
8.- @UHS11-BAR11-MARAÑON_0 - revisión de SECCIONES BACKSCATTER de calibración a usar para las diferentes profundidades de SS medidos

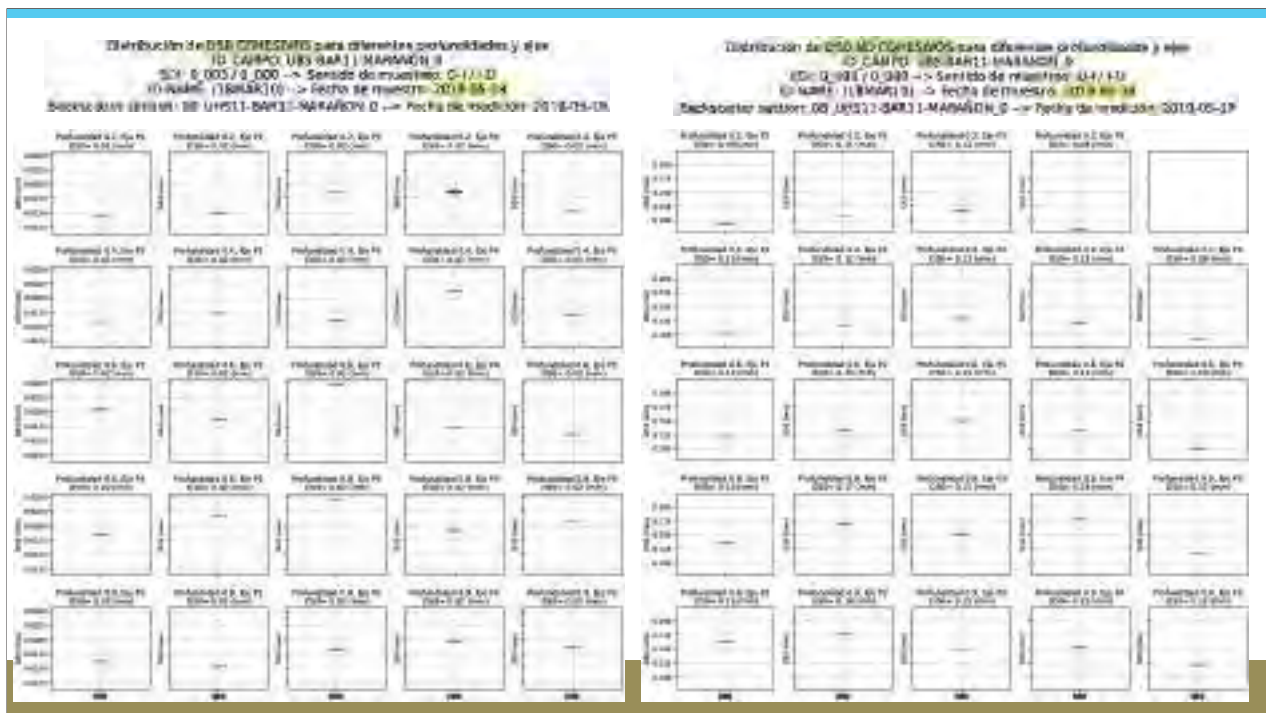
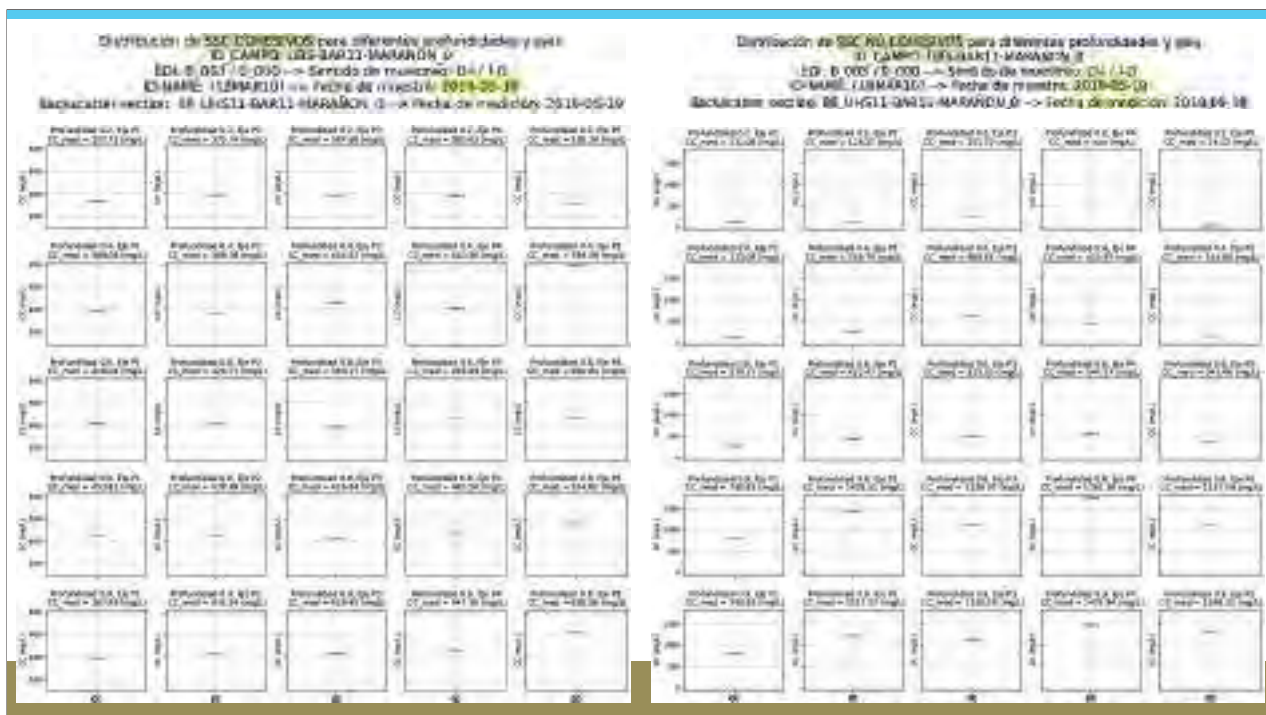


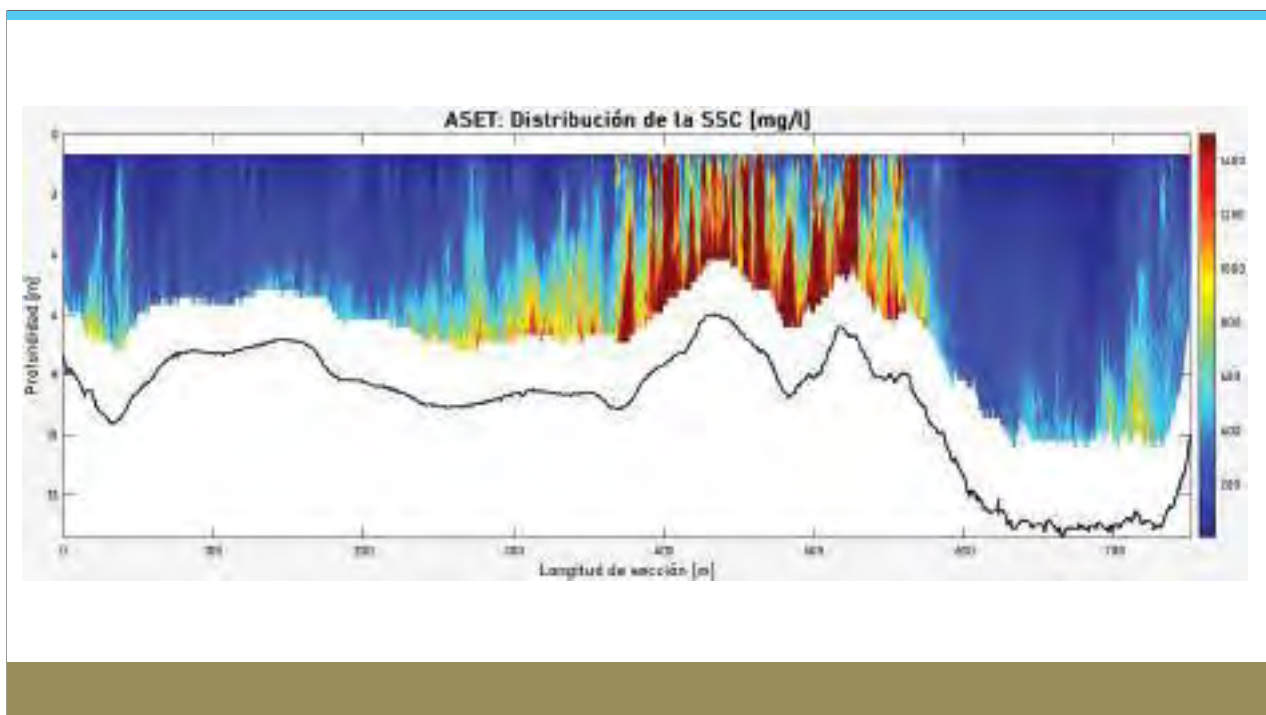
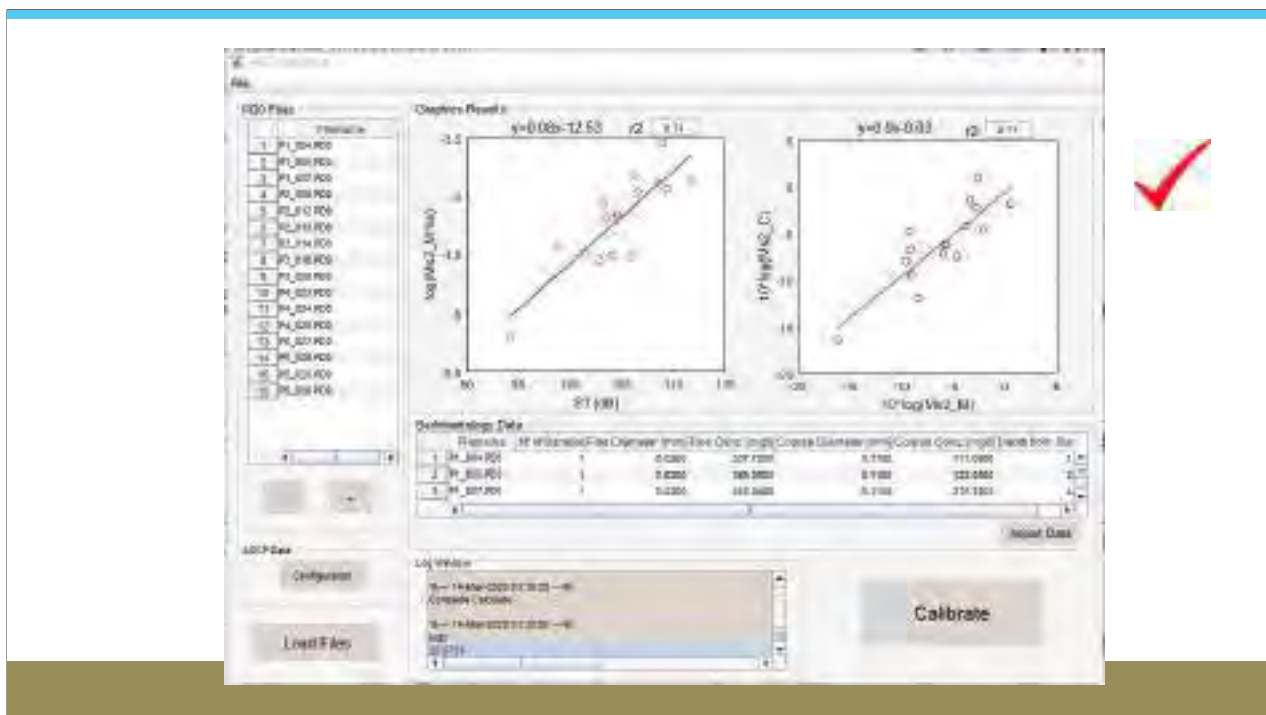
Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) de la sección donde se muestreo los sedimentos suspendidos, en la misma escala que las mediciones de backscatter estático para calibración



Distribución de la retrodispersión acústica (backscatter) obtenido a partir del software WinRiver II, proporcionado por el fabricante Teledyne.







ANEXO 10: CODIGO R, OBTENCIÓN DE PRECIPITACIÓN DIARIA AREAL

```
1 #Limpiar la consola
2 cat("\014")
3
4 #Limpiar las variables
5 rm(list = ls())
6
7 #Limpiar las gráficas anteriores
8 dev.off()
9
10 #Cargar librerías
11 library(easypackages)
12 library(sp)
13 library(rgdal)
14 library(raster)
15 library(lattice)
16 library(latticeExtra)
17 library(ncdf4)
18
19 #Definir el directorio de trabajo donde se encuentran los archivos de entrada
20 setwd("D:/Thesis_UNHEVAL")
21
22 #Leer shapefile desde el directorio definido
23 name <- "_02_Ucayali"
24
25 cuenca.shape <- readOGR(dsn="Basins_Amazonas", layer=name)
26
27 #Comprobar el tipo de objeto después de la importación
28 class(cuenca.shape)
29
30 #Visualizar la cuenca con color cian, en coordenadas geográficas
31 #plot(cuenca.shape, axes=T, col=c("cyan"))
32
33 #Verificar el contenido del polígono importado
34 head(cuenca.shape@data)
35
36 #Transformar a UTM zona 18, WGS84 y visualizar la conversión
37 cuenca.utm <- spTransform(cuenca.shape, CRS("+proj=utm +zone=18 +ellps=WGS84 +
    south
38 +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0"))
39 #plot(cuenca.utm, axes=T, asp=1)
40
41 #Reproyectar a WGS84 Geográficas y visualizar la reconversión
42 cuenca.wgs <- spTransform(cuenca.utm, CRS("+proj=longlat +ellps=WGS84"))
43 #plot(cuenca.wgs, axes=T, asp=1)
44
```

```
45 #Extraer datos y visualizar el producto raster PISCO
46 r <- stack("PISCO_Precv2p1_stable_daily.nc") # El archivo *.nc debe estar en la
    ruta directa setwd
47
48 #Visualizar la precipitación espacial del primer día del archivo netcdf
49 #plot(r[[1]])
50
51 #Graficar el shapefile de la cuenca dentro del mapa de precipitación
52 #plot(cuenca.wgs, add=T)
53
54 #Delimitar el área de estudio con respecto al shapefile de la cuenca
55 r.basin <- crop(r, cuenca.wgs, snap="out")
56
57 #Graficar el primer valor del área de estudio
58 #plot(r.basin[[1]])
59
60 #Delimitar el área de estudio al shapefile de la cuenca
61 r.basin <- mask(r.basin, cuenca.wgs)
62
63 #Extraer datos y promediar todas las cuadrículas de la cuenca
64 pp.cuenca.daily <- extract(r.basin, cuenca.wgs, fun=mean)
65 pp.cuenca.daily <- t(pp.cuenca.daily)
66 rownames(pp.cuenca.daily) <- 1:nrow(pp.cuenca.daily)
67
68 #Graficar la serie de valores de precipitación diaria media areal
69 plot(pp.cuenca.daily, type="l")
70
71 #Guardar los valores obtenidos
72 write.csv(pp.cuenca.daily, paste(name, ".csv", sep=""), quote = F)
```

ANEXO 11: CODIGO PYTHON, VISUALIZACIÓN DE RETRODISPERSIÓN ESTÁTICA PARA CALIBRACIÓN

```

1 # Código elaborado por: Hernan Arturo Chicchon Justiniano , el archivo de entrada
  es el archivo ASCII de retrodispersión de cada sección medida, obtenida
  mediante el software WinRiver II .
2
3 # Vincular google drive
4 from google.colab import drive
5 drive.mount('/content/gdrive')
6
7 # Cargar librerias
8 import numpy as np
9 import pandas as pd
10 import matplotlib.pyplot as plt
11 import re
12 from scipy.interpolate import griddata
13
14 Section = '000'
15
16 # Leer archivo de texto plano
17 with open('/content/gdrive/MyDrive/Thesis-UNHEVAL/00_Data/5_Hidroacustica/
  _3_Revision_datos_ADCP/UBS_UCA01_T_OA24112019_0_000_ASC.TXT', 'r') as f:
18     datos = f.readlines()
19
20 # Lista para almacenar cada grupo de datos
21 grupos = []
22
23 # Iterar sobre cada línea del archivo
24 for i, linea in enumerate(datos):
25     # Buscar encabezado de grupo
26     if linea.startswith('19 11 24'): # FECHA DE MEDICION
27         # buscar línea que contiene el número positivo
28         num_positivo = float(re.findall(r'\d+\.\d+', datos[i+2])[0])
29
30         # Buscar línea que contiene los datos de interés
31         for j in range(i+1, len(datos)):
32             if 'cm VTG dB' in datos[j]:
33                 # buscar la última fila del grupo
34                 k = j+1
35                 while k < len(datos) and datos[k].startswith(' '):
36                     k += 1
37                 # extraer datos de interés y almacenar en un dataframe
38                 grupo = datos[j+1:k-1]
39                 grupo = [x.split() for x in grupo]
40                 grupo = [[float(y) for y in x] for x in grupo]
41                 grupo = pd.DataFrame(grupo, columns=['col1', 'col2', 'col3', '

```



```

col4', 'col5', 'col6', 'col7', 'col8', 'col9', 'col10', 'col11', 'col12', '
col13'])
42         # filtrar por valor de la segunda columna para cada grupo
43         grupo = grupo[(grupo['col2'] > 0) | (grupo['col2'].isna())]
44         grupo = grupo[['col1', 'col8', 'col9', 'col10', 'col11']]
45         grupo['num_positivo'] = num_positivo
46         grupos.append(grupo)
47         break
48
49 # Concatenar todos los grupos de datos en un solo dataframe
50 df = pd.concat(grupos, axis=0)
51
52 df['Bd'] = df[['col8', 'col9', 'col10', 'col11']].mean(axis=1)
53 df = df.drop(['col8', 'col9', 'col10', 'col11'], axis=1)
54 df = df.rename(columns={'col1': 'Y', 'Bd': 'Bd', 'num_positivo': 'X'})
55
56 #####
57 # Definir las variables para plotear el contorno
58 x = df['X']
59 y = df['Y']
60 z = df['Bd']
61
62 # Crear una malla de coordenadas
63 xi, yi = np.linspace(x.min(), x.max(), 3000), np.linspace(y.min(), y.max(),
64                 3000) # Resolucion de malla
65 xi, yi = np.linspace(x.min(), x.max(), 8000), np.linspace(y.min(), y.max(),
66                 8000)
67 xi, yi = np.meshgrid(xi, yi)
68
69 # Interpolar los datos en la malla
70 zi = griddata((x, y), z, (xi, yi), method='linear')
71
72 # Plotear el contorno
73 plt.figure(figsize=(20,10))
74 # plt.contourf(xi, yi, zi, cmap=plt.cm.viridis)
75 plt.contourf(xi, yi, zi, cmap='jet')
76
77 # Configurar los ejes
78 plt.xlabel('LONGITUD (m)', fontsize=16, fontweight='bold')
79 plt.ylabel('PROFUNDIDAD (m)', fontsize=16, fontweight='bold')
80 plt.title('BACKSCATTER (db)+'\nSection: '+ Section, fontsize=20, fontweight='
81         bold')
82 plt.colorbar()
83 plt.gca().invert_yaxis() # invert y-axis to start from top
84
85 #####
86 valores_y = [0, 4.718, 9.436, 14.154, 18.872, 21.231]

```

```
84 nombres_lineas = ['0h', '0.2h', '0.4h', '0.6h', '0.8h', '0.9h']
85 # colores_lineas = ['blue', 'green', 'red', 'white', 'black', 'gray']
86 colores_lineas = ['black', 'black', 'black', 'black', 'black', 'black']
87
88 for valor, nombre, color in zip(valores_y, nombres_lineas, colores_lineas):
89     etiqueta = f"{nombre} ({valor:.3f}) m"
90     plt.axhline(y=valor, color=color, linestyle='--', linewidth=3, label=
91     etiqueta)
92     plt.text(0.05, valor-0.2, f"{nombre} ({valor:.3f} m)", color=color, fontsize
93     =14, fontweight='bold')
94 #####
95 # Mostrar el gráfico
96 plt.show()
```

ANEXO 12: CODIGO PYTHON, OBTENCIÓN DE COORDENADAS GEOGRAFICAS DE MEDICIÓN ADCP

```
1 # Código elaborado por: Hernan Arturo Chicchon Justiniano , el archivo de entrada
    es el archivo ASCII de retrodispersión de cada sección medida, obtenida
    mediante el software WinRiver II .
2
3 # Vincular google drive
4 from google.colab import drive
5 drive.mount('/content/gdrive')
6
7 # Cargar librerias
8 import pandas as pd
9 import re
10 import glob
11
12 name = 'COLASTINE_RIVER_cordinates_section_measurement'
13
14 def read_data_file(filename):
15     pattern = r"-?\d+\.\d{8}\s+-?\d+\.\d{8}"
16     with open(filename, "r") as f:
17         content = f.read()
18         matches = re.findall(pattern, content)
19
20     data = []
21     for match in matches:
22         data.append({'y': float(match.split()[0]), 'x': float(match.split()[1])
23     })
24     df = pd.DataFrame(data)
25     df['Archivo'] = filename
26     return df
27
28 directorio = "/content/gdrive/MyDrive/Thesis-UNHEVAL/00_Data/5_Hidroacustica/
    Aset_Trial/1_CALIBRATION/PD0Calibration/ASCII_Section"
29
30 path = directorio + "/*.TXT"
31
32 all_files = glob.glob(path)
33
34 dfs = []
35 for file in all_files:
36     df = read_data_file(file)
37     dfs.append(df)
38
39 result_df = pd.concat(dfs, ignore_index=True)
40 result_df.to_csv('/content/gdrive/MyDrive/Thesis-UNHEVAL/00_Data/5_Hidroacustica
    /Aset_Trial/1_CALIBRATION/PD0Calibration/COORDINATES_Section/' + name + '.csv',
```

```
        index=False)  
40 result_df
```

ANEXO 13: CODIGO PYTHON, OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA DE MEDICIÓN ADCP

```
1 # Código elaborado por: Hernan Arturo Chicchon Justiniano , el archivo de entrada
   es el archivo ASCII de retrodispersión de cada sección medida, obtenida
   mediante el software WinRiver II.
2
3 # Vincular google drive
4 from google.colab import drive
5 drive.mount('/content/gdrive')
6
7 # Cargar librerias
8 import numpy as np
9 import pandas as pd
10 import matplotlib.pyplot as plt
11 import re
12 from scipy.interpolate import griddata
13
14 # Especificamos el archivo de texto plano y la línea de inicio de los grupos
15 filename = "/content/gdrive/MyDrive/Thesis-UNHEVAL/00_Data/5_Hidroacustica/
   _3_Revision_datos_ADCP/UBS_UCA01_OA24112019_0_000_ASC.TXT"
16 start_line = "19 11 24"
17
18 # Leemos el archivo
19 with open(filename, "r") as file:
20     lines = file.readlines()
21
22 # Buscamos el índice de la línea de inicio de cada grupo
23 start_indexes = [i for i, line in enumerate(lines) if start_line in line]
24
25 # Inicializamos las listas para guardar los datos de X y Y
26 X_values = []
27 Y_values = []
28
29 # Iteramos sobre los grupos de datos
30 for i in range(len(start_indexes)):
31     start_index = start_indexes[i]
32     end_index = start_indexes[i+1] if i+1 < len(start_indexes) else len(lines)
33
34     # Buscamos la línea donde empiezan las columnas de datos
35     data_line_index = None
36     for j in range(start_index, end_index):
37         if "cm VTG dB" in lines[j]:
38             data_line_index = j+1
39             break
40
41     if data_line_index is None:
42         continue
```

```
43
44 # Guardamos el valor de X
45 X_values.append(float(lines[start_index+2].split()[0]))
46
47 # Guardamos el último valor de la columna 1 de los datos
48 data_lines = lines[data_line_index:end_index]
49 last_value = float(data_lines[-1].split()[0])
50 Y_values.append(last_value)
51
52 # Creamos el dataframe
53 df = pd.DataFrame({"X": X_values, "Y": Y_values})
54 print(df.describe())
55
56 # Plotear figura
57 plt.figure(figsize=(15,5)) # se define el tamaño de la figura en pulgadas (ancho
    , alto)
58 plt.plot(df['X'], df['Y'], linewidth=3)
59 plt.xlabel('Longitud (m)', fontsize=14)
60 plt.ylabel('Profundidad (m)', fontsize=14)
61 plt.title('Batimetria', fontsize=18, fontweight='bold') # se agrega el título
62 plt.tick_params(axis='both', which='major', labelsize=12)
63 plt.xlim(0, max(df['X'])) # se ajusta el rango de los ejes x
64 plt.gca().invert_yaxis() # invert y-axis to start from top
65 plt.show()
```



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 06 días del mes de julio de 2023, siendo las 10.00 am, se dará cumplimiento a la Resolución de Decano N°366-2023-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°473-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 21.JUN.2023 (Fijando fecha y hora de sustentación de tesis), en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación de Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto público **presencial** de tesis titulada: **TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020**, para optar el Título de Ingeniero Civil del Bachiller **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO**, reuniéndose en el Auditorio de la FICyA, el jurado examinador integrado por los Docentes: Dra. Ing. Ana María Matos Ramírez PRESIDENTE – Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza, SECRETARIO – Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, VOCAL y el bachiller mencionado, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de tesis y obtener el **TÍTULO de INGENIERO CIVIL** de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

Concluido el acto de defensa los miembros de jurado, procedió a la evaluación de los aspirantes al título profesional de Ingeniero Civil, obteniendo luego el resultado siguiente:

APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
CHICCHON JUSTINIANO HERNAN ARTURO	Aprobado	19	Excluyente

Calificación que se realizó de acuerdo a la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL - Título VII - Capítulo VI Art.78 Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán

Dándose por finalizado dicho acto a las: 11:49 del mismo día 06/07/2023 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.


ANA MARÍA MATOS RAMÍREZ
PRESIDENTE


REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA
SECRETARIO


ELISA RAQUEL QUINTANILLA HERRERA
VOCAL



RESOLUCIÓN VIRTUAL N°473-2023-UNHEVAL-FICA-D

Cayhuayna, 21 junio 2023

VISTO: La solicitud virtual enviada por correo, de fecha 21.JUN.2023, del Bachiller en Ingeniería civil **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis

CONSIDERANDO:

Que, con solicitud virtual enviada por correo, de fecha 21.JUN.2023 del Bachiller en Ingeniería civil **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis titulada: **TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020;**

Que, con Resolución Virtual N°366-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 24.MAY.2023, se designo la comisión de Revisar y Evaluar la Tesis a los docentes: PRESIDENTE. Dra. Ing. Ana María Matos Ramírez, SECRETARIO: Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza, VOCAL: Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera y ACCESITARIO Mg. Ing. Mauro Antonio Domínguez Magino, como jurados revisores de Tesis del Bachiller de Ingeniería Civil **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO;**

Que, con OFICIO N°027-2023-UNHEVAL/FICA/AMMR del Dra. Ing. Ana María Matos Ramírez, INFORME N° 010-2023-UNHEVAL-FICA/ING.RALE, del Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza, Carta N° 52-2023-JD-ERQH del Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, 004-2023-CPYM.DOCENTE.FICA.UNHEVAL, del asesor Ing. Clifton Paucar y Montenegro CARTA N° 004-2023-LRGA.CO-ASESOR, Dr. Ing. Leo Raymundo Guerrero Asmad dan la conformidad a la tesis Titulado: **TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020,** del Bachilleres en Ingeniería Civil **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO;**

Que, mediante Resolución Consejo Universitario N° 3412 – 2022 – UNHEVAL, de fecha 24 de octubre del 2022 en el Capítulo IV – Título III – Tesis – Art. 44° Una vez que los miembros de Jurado de Tesis informen al Decano acerca de la suficiencia del trabajo de tesis para su sustentación, el interesado presentará una solicitud dirigida al Decano pidiendo se fije lugar, fecha y hora para el acto de sustentación...;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano por Ley Universitaria N° 30220 y por el Estatuto de la UNHEVAL;

SE RESUELVE:

- 1° **SEÑALAR** Fecha y hora para la sustentación Presencial de la tesis titulada: **TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020,** de la Bachiller de Ingeniería civil **HERNAN ARTURO CHICCHON JUSTINIANO**, para el **jueves 06 julio 2023 a horas 10.00 am**, en modalidad Presencial, en el Auditorio de la FICyA por los considerandos anotados.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Víctor Manuel Goicochea Vargas
DECANO



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

N°030-2023- DI/FICyA

El director de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis **TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020** del Bachiller **CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del **20 %** verificable en el Reporte de Originalidad del software anti-plagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 18 de julio del 2023



Dr. José Luis VILLAVICENCIO GUARDIA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE
INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL Y ARQUITECTURA

DI.JLVG 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

**TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN
ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA
PARA EL MONITOREO CONTINUO
DE LA CONCENTRACIÓN DE
SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN
LOS RÍOS DE LA AMAZONÍA
PERUANA, ESTUDIO 2017-2020.pdf**

AUTOR

CHICCHON JUSTINIANO, Hernan Arturo

RECUENTO DE PALABRAS

149186 Words

RECUENTO DE CARACTERES

766869 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

390 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

44.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 8, 2023 11:31 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 8, 2023 11:39 AM GMT-5

● **20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 12% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Dr. José Luís VILLAVICENCIO GUARDIA
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE
INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL Y ARQUITECTURA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado
-----------------	-------------------------------------	-----------------------------	--	------------------	----------	--	-----------

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	
Grado que otorga	

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO	ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0001-8513-1955
Tipo de Documento:	DNI <input checked="" type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de Celular:	916 749 179
Nro. de Documento:	71197020	Correo Electrónico:	hachicchon@gmail.com

Apellidos y Nombres:		Nro. de Celular:	
Tipo de Documento:	DNI <input type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Correo Electrónico:	
Nro. de Documento:			

Apellidos y Nombres:		Nro. de Celular:	
Tipo de Documento:	DNI <input type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Correo Electrónico:	
Nro. de Documento:			

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
Apellidos y Nombres:	PAUCAR Y MONTENEGRO, CLIFTON	ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0002-4423-8083
Tipo de Documento:	DNI <input checked="" type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de documento:	22461007

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	MATOS RAMIREZ, ANA MARÍA
Secretario:	LAMBRUSCHINI ESPINOZA, REYDER ALEXANDER
Vocal:	QUINTANILLA HERRERA, ELISA RAQUEL
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	DOMINGUEZ MAGINO, MAURO ANTONIO

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación) TÉCNICA DE RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA COMO ALTERNATIVA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS EN LOS RIOS DE LA AMAZONIA PERUANA, ESTUDIO 2017-2020
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU) TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)				2023
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de Investigación	<input type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>
	Trabajo Académico	<input type="checkbox"/>	Otros (especifique modalidad)	<input type="checkbox"/>

Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	RETRODISPERSIÓN ACÚSTICA	SEDIMENTOLOGÍA	HIDRÁULICA FLUVIAL
----------------------------------------------------------	---------------------------------	-----------------------	---------------------------

Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)	<input type="checkbox"/>
	Con Periodo de Embargo (*)	<input type="checkbox"/>	Fecha de Fin de Embargo:	<input type="text"/>



¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	--------------------------	-----------	-------------------------------------

Información de la Agencia Patrocinadora:	<input type="text"/>
-------------------------------------------------	----------------------

El trabajo de Investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios:

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	CHICCHON JUSTINIANO, HERNAN ARTURO	Huella Digital
DNI:	71197020	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 06/07/2023		

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una **X** en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.