

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**“Evaluación de los impactos del uso actual del suelo sobre la
calidad hidromorfológica de los ríos de la cuenca del Alto
Mayo, San Martín (Perú), 2018”**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Cynthia Mishel Julón Rodríguez
Kelly Maldonado Cienfuegos

Asesor:

Ing. Jhon Patrick Rios Bartha

Tarapoto, noviembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. Jhon Patrick Rios Bartha, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "**Evaluación de los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo, San Martín (Perú), 2018**" constituye la memoria que presenta la Bachiller Cynthia Mishel Julón Rodriguez y la Bachiller Kelly Maldonado Cienfuegos para aspirar al Título de Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo nuestra dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto a los 26 días del mes de noviembre del año 2020.



Ing. Jhon Patrick Rios Bartha

Asesor de tesis

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, por darme la
fortaleza, motivación y por poner a las
personas idóneas a lo largo de mi carrera
universitaria.

A mis padres, Wilder Manuel Julón
Acuña y Maria Santos Rodriguez Cruzado,
por su infinito amor, su confianza y su
apoyo incondicional en cada instante de mi
vida.

Cynthia Mishel Julón Rodriguez

A mi amada madre Águeda
Díaz Pérez, por darme siempre su
apoyo incondicional para cumplir este
sueño.

A mis tíos, Naún, Nerly,
Gilmer, Elder y tías, Luz Elena,
Miriam por siempre apoyarme y
confiar en mí, porque son mi
inspiración.

Kelly Maldonado Cienfuegos

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su inmenso amor, por todas sus bendiciones, quien como guía estuvo presente en nuestro caminar, dándonos fuerza y fortaleza para continuar firmes en nuestras metas, porque dice en su palabra en Isaías 40:31 *“Pero los que esperan a Jehová tendrán nuevas fuerzas; levantarán alas como las águilas; correrán, y no se cansarán; caminarán, y no se cansarán”*

A nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por su apoyo incondicional, por los valores y principios inculcados, los cuales nos permitieron lograr uno de nuestros objetivos terminar nuestra carrera universitaria.

A cada uno de nuestros familiares y amigos por sus oraciones, consejos y palabras de aliento que nos motivaron en el desarrollo de nuestra formación tanto profesional y personal.

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todos quienes de alguna manera hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

De manera especial expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Jhon Patrick Rios Bartha, asesor de tesis, por su apoyo constante y orientación en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Nilton Beltrán Rojas Briceño, quien contribuyo sustancialmente al desarrollo de esta investigación con su orientación, apoyo y sugerencias.

A los dictaminadores: Ing. Carmelino Almestar Villegas, Ing. Mg. Dayani Shirley Romero Vela, y Ing. Juana Elizabeth Vasquez Vasquez por sus oportunas sugerencias que permitieron reforzar la presente tesis.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1.	14
EL PROBLEMA	14
1.1. Identificación del Problema	14
1.2.Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo General	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. Justificación	16
1.4. Presuposición Filosófica.....	17
CAPÍTULO 2.	19
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. A Nivel Internacional	19
2.1.2. A Nivel Nacional	21
2.1.3. A nivel Regional	22
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Geomorfología fluvial o hidrogeomorfología	22
2.2.2. Sistemas fluviales.....	23
2.2.3. Procesos hidrogeomorfológicos.....	23
2.2.4. Caudales de los cauces fluviales	24
2.2.5. Geodiversidad fluvial	25
2.2.6. Presiones e impactos hidrogeomorfológicos	25
2.2.7. Índice hidrogeomorfológico (IHG)	26
2.2.7.1. Calidad funcional (CF).....	26
2.2.7.2. Calidad del cauce (CC).....	27
2.2.7.3. Calidad de ribera (CR).....	28
2.2.7.4. Cobertura y Uso del Suelo (CUS).....	28
2.2.8. La Teledetección	29
2.2.9. Imágenes satelitales.....	31
2.2.10. Clasificación de imágenes satelitales	32
2.2.11.Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	36
2.2.12.Análisis de correspondencia	37
2.3.Definición de términos	37
2.3.1.Estado ecológico	37

2.3.2. Cuenca hidrográfica	38
2.3.3. Régimen hidrológico.....	38
2.3.4. Sistema fluvial	38
2.3.5. Restauración fluvial	38
2.3.6. Radiancia y reflectancia	39
2.3.7. Firma Espectral	39
CAPÍTULO 3.	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1. Área de estudio	40
3.1.1. Escenario biofísico	40
3.1.2. Escenario socioeconómico.....	42
3.2. Población y muestra	42
3.2.1. Población.....	42
3.2.2. Muestra.....	42
3.3. Diseño de investigación	43
3.4. Tipo de investigación.....	43
3.5. Formulación de Hipótesis.....	43
3.5.1. Hipótesis alterna.....	43
3.5.2. Hipótesis nula	44
3.6. Identificación de variables	44
3.6.1. Variable independiente.....	44
3.6.2. Variable dependiente	44
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
3.7.1. Técnicas 44	
3.7.2. Instrumentos.....	45
3.8. Validación de instrumentos.....	45
3.9. Materiales, equipos y software	46
3.10. Diseño metodológico.....	47
3.11. Identificación de la cobertura y el uso actual del suelo en la cuenca del Alto Mayo.....	48
3.11.1. Preprocesamiento del material satelital	48
3.11.2. Clasificación de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS).....	49
3.11.2.1. Identificación de las clases de CUS.....	49
3.11.2.2. Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad.....	50
3.11.2.3. Interpretación visual.....	50
3.11.2.4. Limpieza, suavizado y corrección topológica	50
3.11.2.5. Exactitud temática	51
3.12. Clasificación de los ríos de la cuenca del Alto Mayo	52
3.12.1. Geomorfología del cauce	53
3.12.2. Pendiente del cauce.....	53
3.12.3. Geomorfología del valle	53

3.13. Evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo.....	55
3.13.1. Proceso de documentación e información.....	56
3.13.2. Proceso de recorrido en campo.....	56
3.14. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica, uso actual del suelo y tipología	57
3.15. Plan de procesamiento de datos.....	57
CAPÍTULO 4.	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. Cobertura y Uso del Suelo (CUS) de la cuenca del Alto Mayo.....	59
4.1.1. Evaluación espectral y exactitud temática de la clasificación	59
4.1.2. Cobertura y Uso del Suelo (CUS) de la cuenca del Alto Mayo	59
4.2. Clasificación fluvial e Índice Hidrogeomorfológico (IHG) de los ríos de la cuenca del Alto Mayo	64
4.2.1. Subcuenca del río Tochima.....	66
4.2.2. Subcuenca del río Negro.....	71
4.2.3. Subcuenca del río Naranjos	76
4.2.4. Subcuenca del río Naranjillo.....	81
4.2.5. Subcuenca del río Serranoyacu	86
4.2.6. Subcuenca del río Avisado.....	90
4.2.7. Subcuenca del río Yuracyacu.....	94
4.2.8. Subcuenca del río Yanayacu.....	98
4.2.9. Subcuenca del río Cachiyacu	102
4.2.10. Subcuenca del río Tioyacu	106
4.2.11. Subcuenca del río Huascayacu	109
4.2.12. Subcuenca del río Indoche	115
4.2.13. Subcuenca alta del Alto Mayo	120
4.2.14. Subcuenca media del Alto Mayo	124
4.2.15. Subcuenca baja del Alto Mayo	129
4.2.16. Cuenca del Alto Mayo	134
4.3. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo.....	135
4.4. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica (IHG) y tipología fluvial.....	139
4.4.1. Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce.....	139
4.4.2. Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle	142
4.5. Propuestas de acciones de restauración fluvial en la cuenca del Alto Mayo	144
CAPITULO 5.	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
5.1. Conclusiones.....	148
5.2. Recomendaciones	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	150
ANEXOS	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características espectrales de bandas del satélite Sentinel-2.....	31
Tabla 2. Operacionalización de variables.. ..	43
Tabla 3. Materiales, equipos y software.	45
Tabla 4. Clases de CUS identificadas para el área de estudio.	48
Tabla 5. Parámetros de tramificación y tipificación.....	51
Tabla 6. Síntesis de trabajos de campo que se realizaron para aplicar el IHG.	55
Tabla 7. Valoración y puntuación para cada apartado de evaluación del IHG.	56
Tabla 8. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Tochima.....	65
Tabla 9. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF de la subcuenca del río Tochima.	67
Tabla 10. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Negro.....	70
Tabla 11. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Negro.....	68
Tabla 12. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Naranjos.....	75
Tabla 13. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Naranjos.....	77
Tabla 14. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Naranjillo.....	80
Tabla 15. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Naranjillo.....	82
Tabla 16. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Serranoyacu.....	85
Tabla 17. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Serranoyacu.....	87
Tabla 18. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Avisado.....	87
Tabla 19. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Avisado.....	91
Tabla 20. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Yuracyacu.....	93
Tabla 21. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Yuracyacu.	96
Tabla 22. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Yanayacu.	97
Tabla 23. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Yanayacu.	98
Tabla 24. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Cachiyacu.	101
Tabla 25. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Cachiyacu.	103
Tabla 26. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Tioyacu.	105
Tabla 27. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Tioyacu.	108
Tabla 28. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Huascayacu.	109
Tabla 29. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Huascayacu.	111
Tabla 30. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Indoche.....	114
Tabla 31. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Indoche.....	116
Tabla 32. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca alta del Alto Mayo.	121
Tabla 33. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca alta del Alto Mayo.....	121
Tabla 34. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca media del Alto Mayo.....	124
Tabla 35. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca media del Alto Mayo.	126
Tabla 36. Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca baja del Alto Mayo.....	130
Tabla 37. Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca baja del Alto Mayo.....	130
Tabla 38. Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo .136	
Tabla 39. Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce	140
Tabla 40. Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle ..	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos hidrogeomorfológicos dentro de una cuenca hidrográfica.....	23
Figura 2. Principales componentes asociados con las actividades de teledetección.....	30
Figura 3. Imagen multiespectral procesada para producir una clasificación de la CUS.....	33
Figura 4. Agrupación de píxeles similares mediante el algoritmo de región incremental.....	34
Figura 5. Las principales firmas espectrales.....	38
Figura 6. Mapa de ubicación de la cuenca del Alto Mayo.....	40
Figura 7. Diseño de investigación.....	42
Figura 8. Diagrama de flujo para evaluar los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica.....	47
Figura 9. Parámetros básicos de la geometría del valle.....	53
Figura 10. Tipos de valle atendiendo a su encajamiento y anchura del fondo.....	54
Figura 11. Ocupación (km ² y %) de las CUS en la cuenca del Alto Mayo.....	61
Figura 12. Mapa de Cobertura y uso actual del suelo de la cuenca del Alto Mayo.....	62
Figura 13. Subcuenas en que se divide la cuenca del Alto Mayo.....	64
Figura 14. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Tochima.....	65
Figura 15. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Tochima.....	66
Figura 16. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Tochima.....	68
Figura 17. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Tochima.....	69
Figura 18. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Negro.....	70
Figura 19. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Negro.....	71
Figura 20. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Negro.....	73
Figura 21. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Negro.....	74
Figura 22. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Naranjos.....	75
Figura 23. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Naranjos.....	76
Figura 24. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Naranjos.....	78
Figura 25. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Naranjos.....	79
Figura 26. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Naranjillo.....	80
Figura 27. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Naranjillo.....	81
Figura 28. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Naranjillo.....	83
Figura 29. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Naranjillo.....	84
Figura 30. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Serranoyacu.....	85
Figura 31. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Serranoyacu.....	86
Figura 32. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Serranoyacu.....	88
Figura 33. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Avisado.....	89
Figura 34. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Avisado.....	90
Figura 35. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Avisado.....	92
Figura 36. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Avisado.....	92
Figura 37. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Yuracyacu.....	93
Figura 38. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Yuracyacu.....	94

Figura 39. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Yuracyacu. ...	95
Figura 40. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Yuracyacu.	96
Figura 41. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Yanayacu.	97
Figura 42. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Yanayacu.	99
Figura 43. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Yanayacu. .	100
Figura 44. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Cachiyacu.	101
Figura 45. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Cachiyacu.	102
Figura 46. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Cachiyacu.	103
Figura 47. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Cachiyacu.	104
Figura 48. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Tioyacu.	105
Figura 49. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Tioyacu.	106
Figura 50. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Tioyacu.	107
Figura 51. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Tioyacu.	108
Figura 52. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Huascayacu.	109
Figura 53. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Huascayacu.	110
Figura 54. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Huascayacu.	112
Figura 55. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Huascayacu.	113
Figura 56. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Indoche.	114
Figura 57. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Indoche.	115
Figura 58. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Indoche.	117
Figura 59. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Indoche.	118
Figura 60. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca alta del Alto Mayo.	119
Figura 61. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca alta del Alto Mayo.	120
Figura 62. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca alta del Alto Mayo.	122
Figura 63. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca alta del Alto Mayo.	123
Figura 64. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca media del Alto Mayo.	124
Figura 65. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca media del Alto Mayo.	125
Figura 66. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca media del Alto Mayo.	126
Figura 67. Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca media del Alto Mayo.	127
Figura 68. Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca baja del Alto Mayo.	128
Figura 69. Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca baja del Alto Mayo.	129
Figura 70. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca baja del Alto Mayo.	131
Figura 71. Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca baja del Alto Mayo.	132
Figura 72. Valoración hidrogeomorfológica (%) de la Cuenca del Alto Mayo.	133
Figura 73. Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica y Cobertura y Uso del Suelo.	137
Figura 74. Matriz de diagrama de dispersión entre Calidad hidrogeomorfológica y Cobertura y Uso del Suelo.	138
Figura 75. Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica y geomorfología del cauce.	127
Figura 76. Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica y geomorfología del valle.	142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo B. Ficha IHG para la evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de sistemas fluviales.....	162
Anexo C. Ubicación y georreferenciación de Puntos de Control Terrestre (GCP).....	162
Anexo D. Ubicación y georreferenciación de Áreas de Entrenamiento.....	165
Anexo E. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Tochima	166
Anexo F. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Negro.....	168
Anexo G. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Naranjos	169
Anexo H. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Naranjillo	169
Anexo I. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Serranoyacu.....	171
Anexo J. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Avisado	171
Anexo K. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Yuracyacu.....	171
Anexo L. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Yanayacu	173
Anexo M. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Cachiyacu	174
Anexo N. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Tioyacu	174
Anexo O. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Huascayacu	174
Anexo P. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Indoché	175
Anexo Q. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca alta del Alto Mayo.....	176
Anexo R. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca media del Alto Mayo.....	177
Anexo S. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca media del Alto Mayo.....	177

RESUMEN

Los ríos son sistemas naturales dinámicos y complejos, que además representan un valor ecológico, paisajístico y ambiental. No obstante, la rápida urbanización, las actividades antropogénicas y socioeconómicas generan presiones e impactos que alteran la calidad natural del sistema fluvial. En esta investigación se evaluó los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo, mediante la clasificación supervisada e interpretación visual de las imágenes satelitales Sentinel 2A y en base a la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú se identificaron cinco clases de uso de suelo: Área artificializada (AA), Pastos y cultivos (PC), Bosques (BO), Herbazal/Pajonal (HP) y Cuerpos de agua (CA). Así mismo para determinar la valoración de la calidad del sistema fluvial se realizó a través de la aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en cada sector funcional de la cuenca del Alto Mayo. Los resultados muestran el uso del suelo principalmente el 54.1% ocupada por bosques, seguido por pastos cultivos 43.2%, y menor proporción por el 1.8 % por herbazales y arbustales, el % 0.7 área artificializada y 0.3% cuerpos de agua. A su vez, la calidad hidrogeomorfológica de las subcuencas que alimentan al cauce principal del Alto Mayo se encuentra en un rango de calidad de Muy Buena a Muy Mala, con mayor impacto antrópico generado por las vías de acceso, crecimiento de áreas productivas, la presencia de canalizaciones, defensas ribereñas, extracciones, puentes y la urbanización a lo largo de la cuenca. Se concluye que de acuerdo al valor $p < 0.0001$, el estudio demostró que existe relación entre la disminución en los niveles de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo por el uso actual de suelo. Por lo tanto, se requiere formular acciones concretas de restauración fluvial que facilitan recuperar su dinámica natural activa.

Palabras clave: Calidad Hidrogeomorfológica, uso de suelo, índice hidrogeomorfológico, impactos hidrogeomorfológicos, restauración fluvial

ABSTRACT

Rivers are dynamic and complex natural systems, which also represent an ecological, landscape and environmental value. However, rapid urbanization, anthropogenic and socio-economic activities generate pressures and impacts that alter the natural quality of the river system. This research evaluated the impacts of current land use on the hydrogeomorphological quality of the rivers of the Alto Mayo basin. Five types of land use were identified by the supervised classification and visual interpretation of Sentinel 2A satellite images and based on the CORINE Land Cover methodology adapted for Peru: Artificial Area (AA), Pastures and Crops (PC), Forests (BO), Herbaceous/Pastureland (HP) and Water Bodies (CA). Likewise, to determine the quality assessment of the fluvial system, the hydrogeomorphological index (HMI) was applied to each functional sector of the Alto Mayo basin. The results show that 54.1% of the land use is occupied by forests, followed by cultivated pastures 43.2%, and a lower proportion by 1.8% by herbaceous and shrubbery, 0.7 % by artificial area and 0.3% by water bodies. At the same time, the hydrogeomorphological quality of the sub-basins that feed the main channel of the Alto Mayo is in a range of quality from Very Good to Very Bad, with greater anthropic impact generated by the access roads, growth of productive areas, the presence of canalizations, riparian defenses, extractions, bridges and urbanization along the basin. It is concluded that according to the p value <0.0001 , the study showed that there is a relationship between the decrease in the levels of the hydrogeomorphological quality of the basin due to the current use of land. Therefore, it is necessary to formulate specific river restoration actions that facilitate the recovery of its active natural dynamics.

Key words: Hydrogeomorphic quality, land use, hydrogeomorphic index, hydrogeomorphic impacts, river restoration

CAPÍTULO 1.

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

En el mundo, sólo el 2.5% de los recursos hídricos existentes es agua dulce, América Latina posee el 31% y el Perú, si se analiza únicamente la cantidad total de recursos hídricos disponibles, forma parte de los países más privilegiados que disponen de los mismos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010). A pesar de ello, la población no está distribuida de acuerdo con la disponibilidad del recurso y existe un problema de potencial estrés hídrico en las próximas décadas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015). Existe un uso ineficiente del recurso hídrico debido a que, por un lado, la población desconoce su valor real y hace uso de un volumen mayor al necesario; y por el otro, en el tema agrícola, el uso de tecnologías ineficientes y el poco mantenimiento a la infraestructura pública de riego, generan desperdicios en el uso del recurso (Kámiche, 2011). Además, las cuencas hidrográficas son sistemas que procuran la necesidad de entender su comportamiento en el tiempo y espacio (ANA, 2015).

Los sistemas fluviales son sistemas complejos y fragmentados que están muy influenciados tanto por el entorno de la cuenca como por los procesos hidrológicos en los arroyos (Poole, 2002). En conjunto, dan como resultado un sistema jerárquico que abarca desde la escala espacial más grande de paisaje o cuenca hasta escalas sucesivamente más pequeñas, como el segmento del valle, el alcance del canal y los depósitos de sedimentos y rápidos (Allan, 2004; Townsend et al., 2003). Diferentes factores geomorfológicos, ecológicos y antropogénicos afectan la calidad del agua del río, con una influencia variable en las escalas temporales y espaciales (Baker, 2003; Poole, 2010). En condiciones naturales, los sistemas fluviales ya demuestran un alto nivel de complejidad, pero que ha aumentado debido al desarrollo de la tierra y la acción humana (Vrebos et al., 2017).

Las actividades humanas, como la extracción y regulación del flujo de agua (Allan, 2004), la conversión de la cobertura y uso de la tierra de las llanuras aluviales (Vrebos et al., 2017), la modificación y pérdida del bosque de ribera (Suárez et al., 2002), la retención o extracción de caudales sólidos (grava) (Takahashi & Nakamura, 2011) y las alteraciones morfológicas (Conesa y Pérez, 2014), modifican la dinámica fluvial tanto directa como indirectamente. Por ejemplo, el

estrechamiento del canal puede ser una consecuencia de una reducción en el suministro de carga de suelo después de la construcción de una presa o la forestación de las laderas (Rollet et al., 2014). A nivel local, las presiones humanas, como el terraplén, los azudes, badenes, puentes, canalizaciones o las prácticas agrícolas, ganaderas y forestales (Mora et al., 2012; Ballarín y Rodríguez, 2013) y la urbanización (Espinosa, 2012), también alteran y cambian los procesos hidrogeomorfológicos existentes y/o han incluido nuevas fuentes de agua y contaminación a través de diferentes vías (alcantarillas, escorrentías, infiltraciones, etc.).

La cuenca del Alto Mayo, por ser la principal puerta de entrada de la población migrante de la sierra en el departamento de San Martín, afronta graves problemas sociales, económicos y ambientales, que comprometen la sostenibilidad de sus recursos. A partir de la década del 70 del siglo pasado, con la construcción de la carretera Marginal de la Selva que permitió unir físicamente al departamento con el norte del país, el crecimiento de la población y por consiguiente la demanda de tierras para desarrollar la agricultura lícita e ilícita, ha registrado un incremento vertiginoso, habiéndose ocupado casi todas las tierras disponibles con vocación natural para actividades agropecuarias, inclusive se vienen ocupando tierras con vocación forestal o de protección ecológica para otros usos que no corresponden. La ola de migraciones y la densificación poblacional constante y persistente, ha traído el aumento de la demanda de servicios, infraestructura, urbanización y la sobreexplotación de los bosques y las fuentes de agua (Proyecto Especial Alto Mayo-Gobierno Regional de San Martín [PEAM-GRSM] e Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP], 2007; Gonzales y Llanos, 2015; Pérez, 2017).

Por lo tanto, considerando que la dinámica geomorfológica es la base fundamental del correcto funcionamiento de los cursos fluviales y ecosistemas asociados, y en efecto, los indicadores geomorfológicos son clave para determinar el estado ecológico de los ríos (Ollero et al., 2007), con la finalidad, tanto de planificar adecuadamente el futuro de la cuenca del Alto Mayo, como de proponer acciones para la restauración ambiental de este ecosistema fluvial, se requiere, entre otros aspectos, responder la interrogante de ¿Qué impacto tendrá el uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica en los ríos de la cuenca del Alto Mayo, San Martín (Perú), 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el impacto del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica en los ríos de la cuenca del Alto Mayo, San Martín (Perú), 2018.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar la cobertura y el uso actual del suelo en la cuenca del Alto Mayo mediante técnicas de teledetección.
- Clasificar los ríos de la cuenca del Alto Mayo con base en criterios geomorfológicos a partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Evaluar la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo mediante el índice Hidrogeomorfológico (IHG).

1.3. Justificación

Los ríos representan un elemento fundamental de nuestro patrimonio natural y cultural, sin embargo, han sufrido deterioro debido a una deficiente gestión y manejo de las cuencas hidrográficas. El hombre y las actividades productivas que realiza, sobre el cauce y la llanura de inundación, han contribuido al deterioro de la calidad del agua. Por lo anterior, y dada la importancia de la actividad agropecuaria en las provincias de Rioja y Moyobamba, el presente proyecto de investigación, permitirá evaluar el estado hidrogeomorfológico de los ríos de la cuenca del Alto Mayo, brindando resultados que servirán para proponer acciones de mejora, definir medidas de restauración y conservación de los corredores ribereños, con la finalidad de garantizar sistemas fluviales de buena calidad para las generaciones actuales y futuras.

Existen numerosos índices que permiten valorar el estado ecológico del espacio fluvial. Estos índices permiten planificar las actuaciones de restauración ecológica fluvial en los tramos de río más prioritarios, seleccionar los tramos de más interés de conservación y orientar la gestión de actividades que afectan las cuencas hidrográficas (Ordeiz et al., 2012). Además, permiten evaluar la efectividad o impactos de las actuaciones sobre ríos y sirven de base para la toma de decisiones en

una gestión adaptativa. El presente estudio constituirá un trabajo de geomorfología y de gestión de cuencas hidrográficas, en el que se llevará a cabo una metodología novedosa para la región.

La Agenda de Investigación Ambiental 2013 – 2021 (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2013) en el eje temático 1: Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, componente recursos hídricos y suelos, área temática recursos hídricos, establece en una de sus líneas de investigación la evaluación y monitoreo del uso de los recursos hídricos. En esta línea, el proyecto de investigación aportará, el desarrollo sostenible de las actividades agropecuarias, turísticas y otras relacionadas, mediante la formulación de proyectos de restauración fluvial y conservación del recurso hídrico en la región de San Martín.

Además, la presente investigación se realiza siguiendo la línea de acción 9. Desarrollar investigación destinada a mejorar la calidad del agua, mediante la aplicación de nuevas y/o mejores tecnologías, de la estrategia de intervención 2.2. Mantener y/o mejorar la calidad del agua en las fuentes naturales continentales y marítimas y en sus bienes asociados, del eje de política 2: Gestión de la calidad de la política y estrategia nacional de recursos hídricos (ANA, 2015).

1.4. Presuposición Filosófica

El mundo en el cual vivimos es una dádiva de amor de parte del Dios creador, que hizo el cielo y la tierra, el mar y las fuentes de las aguas. (Dzul, 1991) En medio de esta creación, Dios colocó a los seres humanos, creados intencionalmente para relacionarse con él, con otras personas y con el mundo que los rodeaba. Por consiguiente, la preservación y el mantenimiento de este planeta están íntimamente relacionados con nuestro servicio al Creador.

Vio Dios que todo cuanto había hecho era bueno en gran manera (Génesis 1:31). Tomó, pues, Jehová Dios al hombre, y lo puso en el huerto de Edén, para que lo labrara y lo guardase (Gn 2:15, Reina Valera 1960). Dios creó todo cuanto existe y lo entregó al ser humano para que lo administrara. El Señor quiere que el ser humano viva en un ambiente saludable y que sea mayordomo de todo lo que Dios mismo hizo, esto también incluye los recursos naturales como el agua de los ríos. Por tal motivo el ser humano debe cuidar el ambiente donde vive para asegurar el desarrollo sostenible de las generaciones futuras. Nosotros no podemos interferir en un área del ecosistema sin tomar la atención que merecen, tanto las consecuencias de dicha interferencia en

otras áreas, como el bienestar de las generaciones futuras. Los delicados balances ecológicos pueden ser perturbados por la destrucción sin medida de la vida animal y vegetal, o por la explotación irresponsable de los recursos naturales. Debemos puntualizar, que a pesar de que se diga que todo esto se hace en nombre del progreso y del bienestar humano, a la larga es una desventaja para la humanidad. Es urgente educarnos en responsabilidad ecológica: responsabilidad propia, por otros y por la tierra. Nuestras ideas sobre la creación influirán en nuestras ideas acerca de la forma en que debemos relacionarnos con ella. Para algunos, la creación está para ser explotada, usada e, incluso, saqueada para satisfacer nuestros deseos y necesidades. Otros, en contraste, casi la adoran (Romanos 1:25, Reina Valera 1960).

CAPÍTULO 2.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

El deterioro de los ríos sigue en continuo aumento, en una línea de degradación ambiental a causa de las acciones humanas en el cauce y en las cuencas que han alterado drásticamente muchas de sus funciones (Ibáñez et al., 2016; Ollero et al., 2010). Por lo que se han desarrollado protocolos rápidos e índices que permiten conocer el estado actual de un sistema fluvial, algunos de carácter biológico, otros relacionados con las condiciones físico-químicas del agua y un tercer grupo que son los llamados hidrogeomorfológicos. La geomorfología juega un papel fundamental en los estudios hidrológicos debido a su influencia en las características y dinámica de una cuenca hidrográfica (Gil, 2012). En la práctica, tanto la hidrología como la geomorfología fluvial ofrecen suficientes técnicas de análisis para evaluar la calidad hidrogeomorfológica con máximo detalle y fiabilidad; es decir, para valorar en qué estado de naturalidad se encuentran los ríos (Ollero et al., 2009). Por tanto y para efecto de la presente investigación se aplicará el Índice Hidrogeomorfológico (IHG), desarrollado en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza (España) (Ollero et al., 2007).

2.1.1. A Nivel Internacional

Ollero et al. (2010) indican que determinar el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) permite hacer una valoración de la calidad funcional, calidad del cauce y calidad de las riberas del sistema fluvial, es así que en la cuenca del río Ebro (España) aplicaron este índice permitiendo hacer una valoración hidrogeomorfológica de un 51% de toda la cuenca, con un total de 330 masas de agua valoradas, representando una longitud de 6 990 km. Concluyeron que el 7% es de calidad muy buena, 24% de buena calidad, 42% de calidad moderada, 23% de calidad deficiente y el 4% de mala calidad.

Mora et al. (2012), valoraron el estado ecológico mediante el IHG de 166 masas de agua, que suponen 3 130 km de los 6 035 km de cursos fluviales que tiene Aragón (España). Donde un total de 16 masas de agua han sido valoradas como en muy buen estado, las cuales se ubican en zonas de montaña, muy poco antropizadas; 37 masas de agua con un estado bueno; 63 en estado moderado; 45 en estado deficiente y por último, fueron cinco las masas de agua valoradas como un

estado malo, su longitud suma poco más de 25 km en ambos casos, y se trata de tramos con caudales muy alterados, ya sea por la presencia de grandes embalses o bien por derivaciones de caudales, tanto para usos hidroeléctricos como agrícolas.

Parra et al. (2015), caracterizaron y evaluaron los procesos y resultados de la acción geomorfológica en la cuenca del río Andalién (Chile) para obtener una valoración del área de acuerdo a su estado. Con ello generaron una visión integrada para su correcta planificación y manejo. Analizaron la acción antrópica (urbanización, actividades silvoagropecuarias y extractivas), que han causado un desequilibrio geomorfológico en las zonas aledañas al cauce principal y sus afluentes. Mediante la aplicación y validación de un protocolo de caracterización y evaluación hidrogeomorfológica, apoyado en el IHG, detectaron tramos fluviales con alteraciones, asociados a espacios urbanos, para los que se plantean alternativas de restauración fluvial.

Ibáñez et al. (2016), para identificar condiciones de referencia para la restauración de la geomorfología fluvial, tramificaron y tipificaron los ríos de las cuencas de Oiartzun y Oria (España) con base en criterios geomorfológicos. Luego, diagnosticaron el estado de todos los tramos de la red con respecto a la condición de referencia o estado "natural" de su tipología correspondiente, valorando su grado de alteración y su capacidad de recuperación. Propusieron las medidas de restauración geomorfológica posibles teniendo en cuenta la dinámica fluvial actual y la presión sociodemográfica que genera la mayor parte de los impactos y presiones. La aplicación del IHG concluyó que un 36% y 40% constituyen tramos recuperables y de condición de referencia.

Loana-Toroimac et al., (2017), con el fin de planificar sistemáticamente las acciones de restauración del río a escala regional, desarrollaron un análisis multicriterio que clasifica los ríos, en función de su prioridad para la restauración hidromorfológica. Con base en indicadores relevantes para tres grupos de características (presiones humanas, cambios de canales y funcionalidad del río), diseñaron el Índice de Prioridad de Restauración Hidromorfológica (HRPI). Los valores altos (>66%) de HRPI reflejan una necesidad urgente de restauración hidromorfológica mientras que valores bajos (<33%) revelan una necesidad menos inmediata para la restauración. La metodología se aplicó a los sectores trenzados de los ríos que cruzan los subcarpáticos sudorientales (Rumania). Los valores del HRPI oscilaron entre el 21% (río Zăbrăuț) y casi el 44% (río Prahova).

2.1.2. A Nivel Nacional

Barboza et al. (2017) evaluaron la calidad hidrogeomorfológica del río Utcubamba, en la cuenca del Amazonas, mediante la aplicación del IHG dividiéndolo en ocho sectores fluviales. Los resultados mostraron que el río Utcubamba está afectado por notables impactos antropogénicos que alteran las condiciones hidrogeomorfológicas, con un creciente deterioro de las mismas desde su nacimiento a su desembocadura. La calidad de las riberas es la más afectada en toda la cuenca, principalmente en el curso bajo debido a las explotaciones agropecuarias de carácter extensivo dominantes en este tramo. Por otra parte, el IHG presentó una adaptabilidad total a las condiciones del área de estudio, en un ámbito geográfico diferente y alejado de la Península Ibérica.

Barboza et al. (2018), evaluaron el uso actual del suelo y la calidad hidrogeomorfológica en el río San Antonio, en la región de Amazonas (Perú). Los usos del suelo fueron estimados utilizando el método de clasificación supervisada para las imágenes Sentinel 2A, mientras que la valoración de la calidad del sistema fluvial se realizó a través de la aplicación del IHG. Los resultados reportaron que la cobertura del suelo en la microcuenca San Antonio está manejada de la siguiente manera: el 44.50% ocupada por cultivos, el 36.09% por bosques, el 11.24% por pastos, el 7.56% por herbazales y arbustales, y el 0.61% es zona urbana y cuerpos de agua. A su vez, la calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio se encuentra en un rango de calidad de Muy Buena a Deficiente, con mayor impacto antrópico en el curso medio y bajo del río. Concluyen que el uso del suelo influye en la calidad hidrogeomorfológica debido a que las actividades agropecuarias, uso urbano y extracción de materiales de construcción en el cauce del río, contribuye a la degradación del sistema fluvial.

Rojas (2018), evaluó el estado hidrogeomorfológico de las microcuencas ganaderas de los ríos Atuén, Timbambo, Pomacochas y Cabildo en el distrito de Leymebamba y de los ríos Ventilla y San Antonio en el distrito de Molinopampa, en la región de Amazonas (Perú), mediante la aplicación del IHG. La valoración hidrogeomorfológica indica que en Leymebamba el 8.39%, 26.68%, 30.47% y 34.46% de los cauces es de calidad deficiente, moderada, buena y muy buena, respectivamente. En Molinopampa, el 7.18%, 8.45%, 26.52% y 57.85% de los cauces es de calidad deficiente, moderada, buena y muy buena, respectivamente. En perspectiva general, se observa un deterioro de la calidad hidrogeomorfológica conforme se desciende en altitud, desde los cursos altos a los

medios y bajos. Además, evaluó los Cambios de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) en las microcuencas durante los periodos 1987-2001 y 2001-2017. Encontró, que la presión antrópica causada por los cambios multitemporales en los usos del suelo y el aumento de usos artificiales en el cauce y la llanura de inundación está estrechamente vinculada a la pérdida de calidad hidrogeomorfológica. El análisis basado en presiones e impactos le permitió formular acciones de restauración concretas que facilitan la reducción y/o eliminación de los elementos que degradan la calidad hidrogeomorfológica.

2.1.3. A nivel Regional

En la región de San Martín no se registran evaluaciones de la calidad hidrogeomorfológica de los ríos, sin embargo, existen estudios previos con relación a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la microcuenca del río Shilcayo (Sánchez, 2008; Terleira, 2010), en la microcuenca Juningue para uso potable de la ciudad de Moyobamba (Bustamante y Neira, 2015), en la cuenca del río Tío Yacu (Chuquimbalqui, 2017) y en los cuerpos de agua superficiales de la margen derecha del río Mayo (Torres y Vásquez, 2017), que alertan del mal estado de los cuerpos de agua regional y la necesidad cada vez más urgente de su evaluación y monitoreo.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Geomorfología fluvial o hidrogeomorfología

La hidrogeomorfología es una ciencia de la tierra que se ocupa de estudiar e interpretar las formas de la superficie terrestre de origen fluvial y los procesos hidrogeomorfológicos que se determinan a partir de la acción del agua superficial (Gil et al., 2013). El objetivo fundamental de esta ciencia, es la explicación de las relaciones entre los procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos (Richards, 1987).

La geomorfología es el subcampo de la geología que se ocupa de la estructura, evolución de la superficie de la tierra y aborda el origen y la morfología dinámica de la superficie terrestre. Además, determina una gran variedad de hábitats muy variables en el tiempo, favoreciendo la biodiversidad y productividad de los ecosistemas acuáticos y ribereños (Del Tánago y De Jalón,

2007). Por su lado, la hidromorfología es una rama de la hidrología que trata de la estructura y evolución de los recursos hídricos de la tierra (evolución de los perfiles longitudinales, transversales y del trazado planimétrico), los orígenes y la morfología dinámica de los recursos hídricos (Vogel, 2011).

2.2.2. *Sistemas fluviales*

Son sistemas complejos integrados en los ciclos del agua, de la materia sólida y biogeoquímicos, resultado de un complejo mecanismo climático, hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de las aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan, sedimentos, nutrientes y seres vivos o partes de estos, en el sentido de la pendiente, hasta que llegan a los océanos o a los lagos o mares interiores. Cuenta con una enorme capacidad de transporte de masa y energía. Son sistemas abiertos, actúan como corredores de intercomunicación de ecosistemas, son enormemente dinámicos en el espacio y en el tiempo y considerablemente complejos, de manera que las interrelaciones entre elementos son innumerables (Ballarín y Rodríguez, 2013).

2.2.3. *Procesos hidrogeomorfológicos*

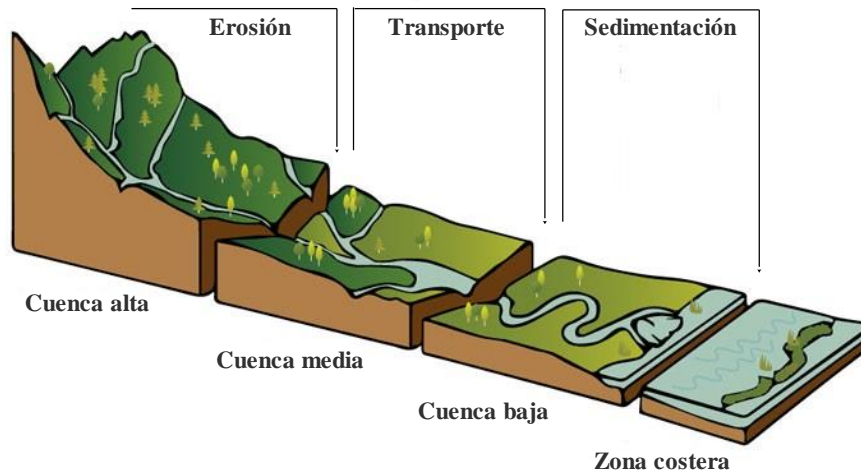
Los procesos hidrogeomorfológicos (Figura 1) son la base esencial del correcto funcionar de los cursos fluviales como ecosistemas. La dinámica fluvial es la clave tanto del funcionamiento como del valor ecológico, paisajístico y ambiental de los sistemas fluviales (Ollero et al., 2007). Los ríos cuentan con mecanismos de autorregulación de sus escorrentías extremas y con sistemas de autodepuración, llegando a regular también los procesos litorales. La erosión fluvial es el conjunto de procesos complejos de remoción física y química de los aluviones o del sustrato rocoso que conforman el cauce fluvial, se clasifican en lateral, lineal y remontante; también plantea la diferencia entre erosión rápida durante una crecida y erosión permanente a largo plazo, originada por procesos naturales o provocada por alguna acción humana (Gutiérrez, 2008).

Seguido, el transporte fluvial, viene a ser el proceso de movilización del caudal sólido a lo largo del sistema fluvial. El sedimento puede ser transportado en suspensión (sostenido por la turbulencia del flujo) o bien por el fondo (rodando o deslizándose) (Gutiérrez, 2008).

En último lugar, la sedimentación fluvial, es el proceso de detención y acumulación de los materiales transportados por el sistema fluvial. La sedimentación se produce dentro del propio curso fluvial, en sectores donde la energía del flujo es inferior al umbral de competencia, imposibilitando que los materiales puedan seguir siendo movilizados (Ollero et al., 2009).

Figura 1.

Procesos hidrogeomorfológicos dentro de una cuenca hidrográfica.



Fuente: Rojas (2018).

2.2.4. Caudales de los cauces fluviales

Es necesario aclarar que no solo existe un caudal líquido en los ríos, de acuerdo a Ballarín y Rodríguez (2013) se pueden diferenciar tres tipos de caudales. La cantidad o volumen de agua que pasa en un tiempo dado por una sección concreta de un cauce (m^3/s) es el caudal hídrico. Además de los caudales hídricos medios, los extremos son muy importantes, tanto en periodos de crecida como de sequía, pues constituyen el motor de los procesos de cambio del cauce y son limitantes para el desarrollo de determinadas especies.

El flujo de sedimentos o conjunto de materiales sólidos transportados (que incluye partes de seres vivos, como ramas, troncos, hojas, semillas, etc.) constituye el caudal sólido que puede medirse con diferentes técnicas y puede expresarse del mismo modo que el caudal líquido, en m^3/s o en unidades de masa/s. El caudal sólido juega un papel fundamental en los procesos fluviales de transporte y sedimentación. Si no fuera porque los ríos transportan ingentes cantidades de caudal sólido que depositan en las zonas aluviales, éstas no tendrían unas características tan propicias para la agricultura y la ganadería.

El caudal geomórfico, dominante o formativo, se compone de una parte líquida (caudal hídrico) y otra sólida (caudal sólido). Es el caudal responsable de la forma y las dimensiones del cauce, necesario para que se produzcan cambios en los cursos fluviales, es decir, para que sea un sistema funcional. Suele corresponderse con el caudal que se produce en momentos de crecida, el que circula a máxima velocidad ocupando todo el cauce, a partir del cual se produce el desbordamiento por la llanura de inundación (Gutiérrez, 2008).

2.2.5. Geodiversidad fluvial

El complejo funcionamiento hidrogeomorfológico fluvial genera una gran diversidad, de manera que no hay dos metros de río iguales. Esta diversidad geomorfológica o geodiversidad es, por tanto, infinita, y deberá ser tomada en cuenta en la tramitación, en la caracterización, en el diagnóstico y en la restauración. La infinita geodiversidad fluvial es uno de los patrimonios naturales más ricos de nuestro planeta. Como ya se ha visto, un río es mucho más que el cauce. Pero es la geomorfología del cauce menor lo que mejor nos sirve para clasificar ríos. Por tanto, tipificar cauces es una tarea fundamental en la base de cualquier estudio fluvial (Ollero, 2007).

2.2.6. Presiones e impactos hidrogeomorfológicos

Las presiones son todas aquellas acciones y usos humanos que pueden afectar negativamente a los ríos y sistemas fluviales alterando y modificando su comportamiento natural. Y estas afecciones o impactos negativos no se producen solo sobre el cauce, sino también sobre los ecosistemas asociados (Ballarín y Rodríguez, 2013).

La deforestación, vertido de aguas servidas y urbanizaciones incrementan el volumen del caudal, pero en su mayoría estos casos de modificaciones antrópicas generan reducción del mismo y con ello el decrecimiento de su dinámica, reducción en la erosión natural de los márgenes, reducción de la movilidad de sedimentos y transporte del caudal sólido. Este último debería llegar a cada sector funcional del sistema fluvial sin retención alguna de origen antrópico, ejerciendo sin problemas la movilización y transporte de sedimentos. Sin embargo, en muchos ríos hay marcados déficits sedimentarios derivados de la presencia de represas, derivaciones, obstáculos laterales y locales en el propio cauce (Ollero et al., 2009).

El papel hidrogeomorfológico de la vegetación de la ribera es de filtro de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación y estabilizando las orillas (Ollero et al., 2010). Un corredor ribereño natural, continuo, ancho y bien interconectado con el cauce, ejerce una función de control en el sistema fluvial y en todos los procesos geomorfológicos; si se deteriora la vegetación las aguas penetran con mayor facilidad, generando depósitos de material grueso. Además, la inexistencia de vegetación propicia que los materiales finos sedimenten con mayor dificultad, incrementándose la turbidez de la corriente, erosión de las orillas, favoreciendo que troncos y ramas se incorporen a la corriente e intervengan en los procesos de sedimentación.

En consecuencia, de las presiones e impactos, los índices y/o indicadores hidrogeomorfológicos son clave para determinar el estado ecológico de los ríos.

2.2.7. Índice hidrogeomorfológico (IHG)

El Índice Hidrogeomorfológico (IHG) se desarrolló en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza. Se basa en el hecho de que todas las presiones e impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas y vertientes o diferidos en el tiempo, cuentan con una respuesta en el funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y en sus propias morfologías de cauce y riberas (Ollero *et al.*, 2007). El IHG se estructura en tres apartados: Calidad Funcional (CF), Calidad del Cauce (CC) y Calidad de las Riberas (CR) del sistema fluvial. A su vez, cada apartado analiza tres aspectos relevantes del funcionamiento hidrogeomorfológico de un río.

2.2.7.1. Calidad funcional (CF).

Este apartado evalúa el funcionamiento del sistema fluvial como tal con una valoración mínima de 0 puntos y una máxima de 30 puntos. Los elementos clave del apartado y del funcionamiento fluvial son el caudal, tanto hidrológico como sedimentario, y el espacio inundable. Por tanto, es un apartado en el que se valoran la materia y energía del sistema, es decir, el motor del mismo, además de la capacidad de autorregulación energética que supone la inundación. La calidad funcional del sistema fluvial se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres subparámetros: La naturalidad del régimen del caudal que tiene en cuenta tanto el régimen como

el volumen de caudales en relación a un estado natural y sin alteraciones. Las afecciones más graves en esta componente son los embalses y derivación a canales de riego, centrales hidroeléctricas, etc. La disponibilidad y movilidad de sedimentos es similar a la componente anterior, en este caso afecta a los sedimentos arrastrados por los cursos fluviales. Las afecciones más graves para esta componente son los embalses y azudes, no tanto por su capacidad de derivación si no por el embalsamiento y remansamiento que se produzca en su vaso. Y la funcionalidad de la llanura de inundación hace referencia a las restricciones y modificaciones del espacio destinado a ser dinámico durante los procesos de crecidas en los ríos. Las canalizaciones, defensas e impermeabilizaciones son los impactos más graves que se pueden detectar en estos casos (Ollero *et al.*, 2009).

2.2.7.2. Calidad del cauce (CC).

El segundo apartado del IHG evalúa el cauce como elemento clave del sistema fluvial natural con valoración de 0 a 30 puntos. El cauce es una geomorfología construida por el río, por lo que constituye un indicador fundamental de la salud del mismo. Un cauce natural con su dinámica geomorfológica propia garantiza un sistema fluvial sano con unos ecosistemas en buen estado. La evaluación del cauce y su dinámica se desarrolla desde una perspectiva tridimensional: longitudinal, transversal y vertical así, la calidad del cauce se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres subparámetros: la Naturalidad del trazado y la morfología en planta, donde el cauce puede haber sido modificado en su trazado y la presencia de canalizaciones, tramos rectilíneos, rectificaciones o cortas son las afecciones que se detectan en esta componente. La Continuidad y naturalidad de los procesos longitudinales y verticales, en este caso es el perfil del río el que se evalúa con este parámetro. La presencia de barreras en el cauce, como azudes o represas menores que suponen rupturas en la dinámica local del río. También se tienen en cuenta impactos más puntuales, como vados o puentes, que suponen cambios de pendiente artificiales. Los dragados, y extracciones de áridos también suponen un impacto a tener en cuenta. Y la Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral, la desnaturalización de las márgenes de los ríos también supone un importante impacto que limita la dinámica natural del sistema. Se observa

si el cauce se encuentra defendido, ya sea mediante alteraciones menores de márgenes, o actuaciones más significativas, como la presencia gaviones de hormigón (Ollero et al., 2009).

2.2.7.3. Calidad de ribera (CR).

El corredor ribereño es el espacio en el que se ha movido el cauce menor en las últimas décadas, quedando conformado en muchas ocasiones por masas de vegetación sobre depósitos sedimentarios de granulometría variada y por “anexos fluviales” (canales de crecida, cauces abandonados, etc.). Así pues, el corredor es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleocauces más recientes. Otros caracteres son un nivel freático alto y su topografía llana pero irregular, labrada por las aguas de desbordamiento (Ollero *et al.*, 2009).

En este índice se valora esta función hidrogeomorfológica del corredor ribereño con valoración mínima de 0 puntos lo cual indica calidad muy mala y valoración de 30 puntos, lo cual indica calidad muy buena, siendo caracteres clave para definir la misma la continuidad, anchura, estructura, naturalidad y conectividad transversal. Así, la calidad de las riberas se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres subparámetros: la Continuidad longitudinal, que tiene en cuenta los impactos que hacen que ésta sea menor de lo que cabe esperar por las características del cauce y el valle en el que discurra la masa de agua. Se ve alterada por canalizaciones, escolleras, cultivos, urbanizaciones, etc. La Anchura del corredor ribereño, que se analiza teniendo como valor máximo una referencia, en general inexistente, en el que no hubiese impactos en los usos del suelo adyacentes. En muchos casos, para evaluar estas componentes es necesario recurrir a fotografías aéreas antiguas o documentos que atestigüen las características del corredor ribereño antes del estado actual. Y la Estructura, naturalidad y conectividad lateral, donde se analiza la presencia o ausencia de un buen desarrollo de las riberas, tanto interno como lateral o transversalmente, así como la presencia de plantaciones o vegetación alóctona que no debiera aparecer (Ollero et al., 2009).

2.2.7.4. Cobertura y Uso del Suelo (CUS).

Cobertura y uso del suelo son dos terminologías separadas que a menudo se usan indistintamente (Dimiyati et al., 1996). La cobertura terrestre se refiere a las características físicas

de la superficie de la tierra, capturadas en la distribución de la vegetación, el agua, el suelo y otras características físicas de la tierra, incluidas las creadas únicamente por actividades humanas, por ejemplo, asentamientos. Mientras que el uso de la tierra se refiere a la forma en que la tierra ha sido utilizada por los humanos y su hábitat, por lo general con énfasis en el papel funcional de la tierra para las actividades económicas. El patrón de CUS de una región es el resultado de factores naturales y socioeconómicos y su utilización por el hombre en el tiempo y el espacio. La información sobre la CUS y las posibilidades para su uso óptimo es esencial para la selección, planificación e implementación de esquemas de uso de la tierra para satisfacer las crecientes demandas de bienestar y necesidades humanas básicas. Esta información también ayuda a monitorear la dinámica del uso del suelo como resultado de las demandas cambiantes de una población en aumento (Rawat y Kumar, 2015).

El uso del suelo afecta la cobertura del suelo y los cambios en la cobertura del suelo afectan el uso del suelo. Los cambios en la cobertura del suelo por uso del suelo no implican necesariamente la degradación del suelo. Sin embargo, muchos patrones cambiantes de uso del suelo impulsados por una variedad de causas sociales resultan en cambios en la cobertura del suelo que afectan la biodiversidad, el agua y los presupuestos de radiación, las emisiones de gases y otros procesos que afectan el clima y la biosfera (Riebsame et al., 1994). En ese sentido, el estudio y la aplicación de datos de Teledetección ha permitido estudiar los cambios en la CUS en menos tiempo, a bajo costo y con mayor precisión (Kachhwala, 1985) en asociación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que proporcionan una plataforma adecuada para el análisis, actualización y recuperación de datos geoespaciales (Cihlar, 2000).

2.2.8. La Teledetección

La teledetección es una técnica que permite obtener información digital de las cubiertas u objetos situados sobre la superficie terrestre, sin necesidad de tener contacto directo con ellos. Para esto, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción, tal como, el flujo energético proveniente de la energía emitida por el propio sensor (teledetección activa); o bien, la reflexión de la luz solar en la superficie terrestre (teledetección pasiva). Así, es posible adquirir información de las cubiertas u objetos por medio de reflexión, emisión o por emisión-reflexión

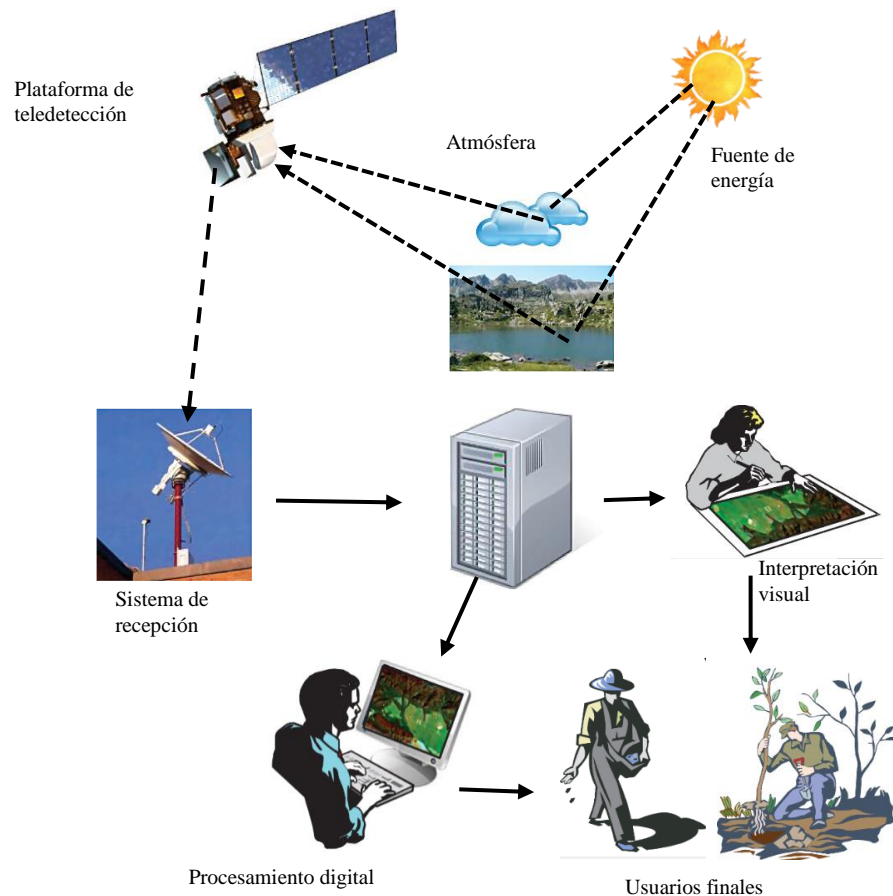
(Chuvienco, 2002; Richards y Jia, 2006). La reflexión es la más importante para los sensores remotos ya que la principal fuente de energía es el Sol, pues al iluminar la superficie terrestre, esta refleja diferente cantidad de energía en función del tipo de cubierta, la cual posteriormente es captada por el sensor para luego transmitir a los sistemas de recepción (Melo y Camacho, 2005; Coutiño, 2013).

Un sistema de teledetección incluye seis principales componentes (Chuvienco, 2016)

- a) Una fuente de energía**, que produce la radiación electromagnética que interactúa entre el sensor y la superficie. La más importante es el Sol, ya que ilumina y calienta la Tierra.
- b) La superficie de la Tierra**, que consiste en vegetación, suelos, agua, rocas, nieve, hielo y estructuras humanas. Estas superficies reciben la energía incidente de la fuente (i) y, como resultado de la interacción física y química con la energía entrante, reflejan y emiten una parte de esa energía hacia el sensor del satélite. Parte o todo el pulso de energía puede ser filtrado por la atmósfera, dependiendo de sus concentraciones de gas y materia particulada.
- c) Sensor y plataforma**. El sensor es el instrumento que mide y registra la energía que proviene de la superficie. La plataforma proporciona los principales servicios para el funcionamiento del sensor, como el control de actitud y órbita, el suministro de energía y las comunicaciones con el sistema de recepción en tierra.
- d) El sistema de recepción** en el suelo recoge los datos digitales sin procesar medidos por el sensor, almacena los datos y los formatea adecuadamente. El sistema de tierra realiza algunas correcciones de pre procesamiento básicas antes de la distribución de las imágenes.
- e) El analista**, que convierte los datos de imagen procesados en información temática de interés, utilizando técnicas visuales y/o digitales.
- f) La comunidad de usuarios**, que utiliza la información extraída de los datos originales para una amplia variedad de aplicaciones.

Figura 2.

Principales componentes asociados con las actividades de teledetección.



Fuente: Chuvieco (2016).

2.2.9. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son capturadas por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial, donde se capta la radiación electromagnética emitida o reflejada por la tierra, el cual posteriormente es enviada a los sistemas de recepción para su visualización, procesamiento y análisis (Miyasiro y Ortiz, 2016). Los más importantes para monitoreo de los cambios de CUS, por su disponibilidad y temporalidad, son las imágenes satelitales Landsat y Sentinel.

a) Satélite Sentinel-2, es un satélite multiespectral desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del Copernicus Land Monitoring Services (ESA, 2015).

Tabla 1.*Características espectrales de bandas del satélite Sentinel-2.*

Satélite/Sensor	Bandas espectrales	Longitud de onda (μm)	Resolución espacial (m)
Sentinel-2	B1 - Coastal aerosol	0.443	60
	B2 – Azul	0.490	10
	B3 – Verde	0.560	10
	B4 – Rojo	0.665	10
	B5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
	B6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
	B7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
	B8 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.842	10
	B8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
	B9 - Water vapour	0.945	60
	B10 - SWIR – Cirrus	1.375	60
	B11 – SWIR	1.610	20
B12 – SWIR	2.190	20	

Fuente: Elaboración propia basada en ESA (2015)

2.2.10. Clasificación de imágenes satelitales**2.2.11.1. Análisis de imágenes satelitales.**

Analizar imágenes de sensores remotos con fines de determinar cobertura boscosa y los cambios en la cobertura que pueden reflejar procesos de deforestación o cambios por procesos naturales, se basa en el Análisis de Mezcla Spectral (SMA). El SMA es un medio para extraer desde los datos de reflectancia de una imagen, información que modela la cobertura de la tierra a nivel de pixel que sea representativo de las propiedades físicas de la superficie de la tierra en fracciones de tipos puros de cobertura denominado endmembers que quedan definidos por las longitudes de ondas detectadas y el número de bandas del sensor (Llactayo *et al.*, 2014).

2.2.11.2. Análisis basado en pixeles.

Los clasificadores basados por pixel, son los más tradicionales debido a su facilidad de procesamiento, se destacan el Supervisado y No supervisado (Lewinsky y Zerimski, 2004; Santos, 2007; Lang *et al.*, 2008). Utilizan algoritmos que se basan en los valores espectrales

de reflectancia y emitancia (Guntli, 2006), compendiados en grupos de píxeles que representan una clase de la clasificación (Rodríguez, 2011).

2.2.11.3. Calibración radiométrica y corrección atmosférica.

La energía capturada por los sensores de teledetección atraviesa a través de una profundidad considerable de la atmósfera, en este proceso la energía recibida es alterada en intensidad y longitud de onda por las partículas y gases presentes en la atmósfera, estos cambios degradan la calidad de la imagen e influyen en la exactitud de las interpretaciones (Campbell y Wynne, 2011), por lo que es de vital importancia realizar correcciones antes de clasificar imágenes de satélite.

Este proceso permite convertir la información de la imagen original (bruta) de cada pixel, de Niveles Digitales (ND) a Niveles de Reflectancia captada por el sensor en el tope de la atmosfera, es decir, sin los efectos de la misma, lo que permite disminuir los efectos de dispersión o absorción causados por la presencia de partículas en la atmósfera. Adicionalmente, se busca remover el efecto de los diferentes ángulos de incidencia de la energía solar y de la distancia Tierra - Sol, que se producen como consecuencia de las diferencias de tiempo de adquisición de las imágenes. También es conveniente su aplicación en el caso de utilizar imágenes de diferentes tipos de sensores, pues permite normalizar las diferencias de valores de la radiación solar causados por las diferencias de los rangos espectrales entre las bandas de las imágenes. En general con estas correcciones se busca minimizar los errores que influyen en la radiación o en el valor radiométrico de cada elemento captado en la escena.

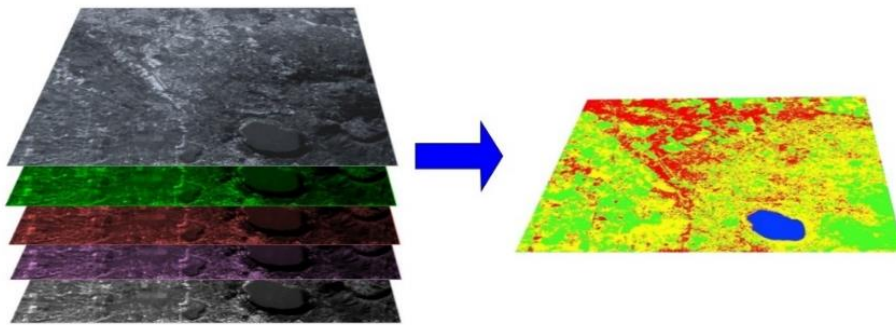
El proceso de corrección atmosférica puede aplicar opcionalmente la corrección de neblina y/o el enmascaramiento de nubes, por lo cual es necesario inspeccionar previamente la imagen para detectar la presencia de nubes y/o neblina evidente. Como resultado final de este sub-proceso, se obtiene una imagen en valores de reflectancia que mejora la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen corregida respecto a la imagen original, mejorando los resultados finales del proceso de clasificación digital.

2.2.11.4. Clasificación supervisada.

Una clasificación supervisada es una técnica de procesamiento de imágenes que permite la identificación de materiales en una imagen a partir de sus firmas espectrales. Dependiendo de las resoluciones del sensor, el número y tipo de clases coberturas del suelo que pueden ser identificadas en una imagen pueden variar significativamente. Existen varios tipos de algoritmos de clasificación, pero el propósito general es producir un mapa temático de la cobertura del suelo (Congedo, 2016).

Figura 3.

Imagen multiespectral procesada para producir una clasificación de la CUS.



Fuente: Congedo (2016)

2.2.11.5. Áreas de entrenamiento.

La clasificación supervisada requiere que el usuario seleccione una o más Regiones de Interés (ROIs o Áreas de Entrenamiento) para cada clase de cobertura del suelo identificada en la imagen. Las ROIs son polígonos dibujados sobre áreas homogéneas de la imagen que se superponen a píxeles pertenecientes a la misma clase de cobertura del suelo (Congedo, 2016).

2.2.11.6. Algoritmo de Región Incremental.

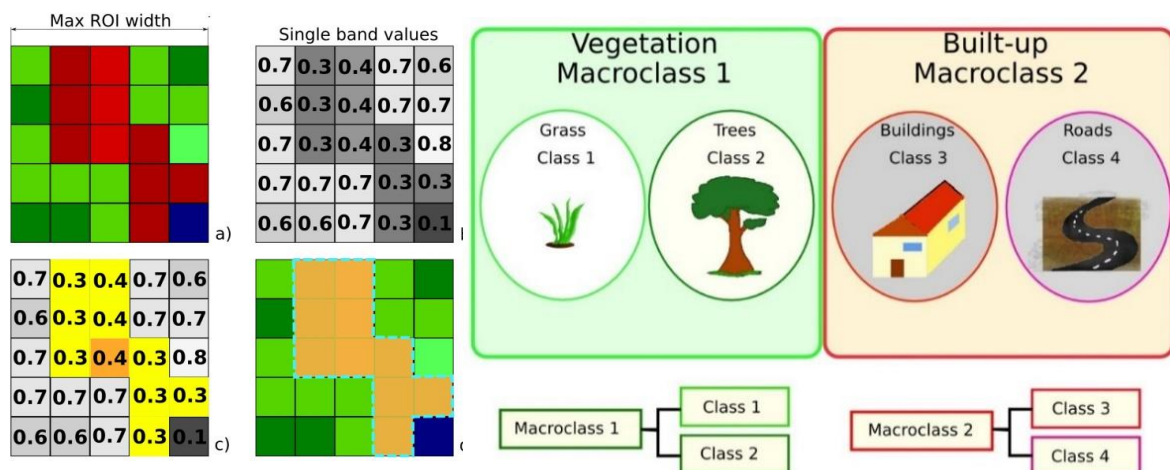
El Algoritmo de Región Incremental permite seleccionar los píxeles similares a un píxel semilla, considerando la similitud espectral (es decir, la distancia espectral) de los píxeles adyacentes. El parámetro distancia está relacionado a la similitud de los valores de los píxeles al píxel semilla (mientras más bajo el valor, más similares serán los píxeles seleccionados). Un parámetro anexo es el ancho máximo, el cual es el lado de un cuadrado, centrado en el

pixel semilla, el cual inscribe el área de entrenamiento (si todos los pixeles tuviesen el mismo valor, el área de entrenamiento sería este cuadrado). El tamaño mínimo es utilizado como condición, eligiendo al menos los pixeles que son más similares al pixel semilla hasta que el número de pixeles elegidos sean iguales al tamaño mínimo (Congedo, 2016).

En la Figura 4 Izquierda, el pixel central es usado como semilla (a), para la región incremental de una banda (b) con el parámetro distancia espectral = 0.1; los pixeles similares son seleccionados para crear el área de entrenamiento (c, d). Por otro lado, en la Figura 4 Derecha también se observa la manera en que se pueden agrupar y asignar códigos a las clases de cobertura del suelo.

Figura 4.

Agrupación de pixeles similares mediante el algoritmo de región incremental.



Nota: Izquierda: Región incremental. Derecha: Clase y macroclases de CUS. Fuente (2016)

2.2.11.7. Algoritmos de clasificación.

Las firmas espectrales de las clases de cobertura de referencia son calculadas considerando los valores de los pixeles de cada Área de entrenamiento que tengan el mismo Clase ID. El algoritmo de clasificación, clasifica la imagen completa comparando las características de cada pixel con las características espectrales de las clases de referencia (Congedo, 2016). Se pueden tener diferentes algoritmos de clasificación (Richards y Jia, 2006; Congedo, 2016): (a) Distancia mínima, el cual calcula la distancia Euclídea entre las firmas espectrales de los pixeles de la imagen y las firmas espectrales de entrenamiento,

con la (b) Máxima Probabilidad, más utilizado, las probabilidades de distribución de las clases son asumidas de la forma de modelos normales multivariados, (c) el Mapeo del Angulo Espectral calcula el ángulo espectral entre las firmas espectrales de los píxeles de la imagen y las firmas espectrales de entrenamiento y (d) Clasificación de Paralelepípedo, que considera el rango de valores de cada banda, formando un paralelepípedo multidimensional que define la clase de cobertura.

2.2.11.8. Distancia Espectral.

Es útil valorar la distancia espectral (o separabilidad) entre firmas de entrenamiento o píxeles para evaluar si diferentes clases que son muy similares entre sí podrían causar errores de clasificación (Congedo, 2016). Se pueden tener diferentes algoritmos para evaluar la similitud de firmas espectrales, así tenemos: (a) Jeffries-Matusita Distance, se calcula la separabilidad de un par de distribuciones de probabilidad. Esto puede tener significado particularmente para evaluar los resultados de las MLC (Richards y Jia, 2006), (b) Angulo Espectral, (c) Distancia Euclidiana y (d) Similaridad de Bray-Curtis.

2.2.11. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Existen muchas definiciones de SIG, que no es simplemente un programa. En general los SIG son sistemas, formados por instrumentos electrónicos (hardware) programados adecuadamente (software), que permiten el uso de información geográfica (los datos tienen coordenadas espaciales). En particular, los SIG permiten ver, consultar, calcular y realizar análisis espaciales de los datos, que principalmente son de tipo ráster y vectorial (Olaya, 2014). Los datos vectoriales están formados por objetos que pueden ser puntos, líneas y polígonos; cada objeto puede tener uno o más atributos con valores. Un ráster es una cuadrícula (o imagen) en la que cada celda tiene un atributo con valores (Fisher & Unwin, 2005). Muchas aplicaciones SIG utilizan imágenes ráster que son obtenidas con sensores remotos (imágenes de satélite).

En su concepción actual, los SIG son sistemas complejos que integran una serie de distintos elementos interrelacionados; en este aspecto son cinco los elementos principales que se contemplan tradicionalmente (Olaya, 2014): a) Datos: son la materia prima necesaria

para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG; b) Métodos: un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos; c) Software: es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores; d) Hardware: el equipo necesario para ejecutar el software y e) Personas: que son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.

2.2.12. *Análisis de correspondencia*

El análisis de correspondencia es un método estadístico exploratorio de datos diseñado para tablas de doble entrada (correspondencia simple) y tablas de múltiples entradas (correspondencia múltiple) que presentan algún tipo de relación entre las filas y las columnas. Es de útil aplicación en trabajos exploratorios puesto que la interpretación puede hacerse de manera sencilla, desde un punto de vista gráfico. (Fernández, 2002; Alberti G, 2015; Cuadras & Cuadras 2006).

Este es un método de análisis estadístico multivariante que combina el análisis del factor R con el análisis del factor Q. El principio se basa en realizar una transformación apropiada en la matriz de datos bidimensional. Los datos transformados corresponden a la fila y la columna, de modo que la fila y la columna pueden analizarse simultáneamente para encontrar la relación entre las categorías de cada variable. Cuando el grado de asociación es alto, estas aparecerán en el diagrama relativamente juntas. (Feng X., et al., 2019; Cuadras C., y Cuadras D., 2006)

2.3. Definición de términos

2.3.1. *Estado ecológico*

Medida de calidad de la estructura y el funcionamiento del ecosistema acuático. El buen estado ecológico es aquel en que las comunidades biológicas son iguales o muy próximas a las que se encontrarían en condiciones inalteradas. Las condiciones fisicoquímicas y también la configuración del medio acuático (condiciones hidromorfológicas) deben permitir el desarrollo correcto de estas comunidades vivas. Por lo tanto, la evaluación de la calidad fisicoquímica, hidromorfológica y biológica (basada sobre todo en la composición de la flora acuática, la fauna invertebrada y los peces) determina el estado ecológico de las masas de agua.

2.3.2. Cuenca hidrográfica

Espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Villón, 2011).

2.3.3. Régimen hidrológico

Variación anual del caudal medio de un río, constituyendo un valor de síntesis de las variaciones estacionales principales del funcionamiento hidrológico de un sistema fluvial, que se representa gráficamente. Los seres vivos acuáticos viven adaptados a este régimen que fluctúa a lo largo del año; en suma, se trata de un indicador hidrológico que explica la estacionalidad de los caudales y que muestra si esta, es natural o puede estar afectada por actuaciones humanas (Ollero et al., 2007).

2.3.4. Sistema fluvial

Sistema complejo integrado en los ciclos del agua, de la materia sólida y biogeoquímicos, resultado de un complejo mecanismo climático, hidrológico, geomorfológico y ecológico de movilización o conducción superficial de las aguas continentales, acompañadas de los materiales que transportan, sedimentos, nutrientes y seres vivos o partes de estos, en el sentido de la pendiente, a veces contracorriente, hasta que llegan a los océanos o a los lagos o mares interiores. Cuenta con una enorme capacidad de transporte de masa y energía. Son sistemas abiertos, actúan como corredores de intercomunicación de ecosistemas, son enormemente dinámicos en el espacio y en el tiempo y considerablemente complejos, de manera que las interrelaciones entre elementos son innumerables (Ballarín y Rodríguez, 2013).

2.3.5. Restauración fluvial

Es un conjunto de medidas de gestión y de intervención encaminadas al logro de unos objetivos muy sencillos: que el régimen hidrológico y la morfología del río sean lo más parecidos posible a las condiciones naturales del mismo (Ballarín y Rodríguez, 2013).

2.3.6. Radiancia y reflectancia

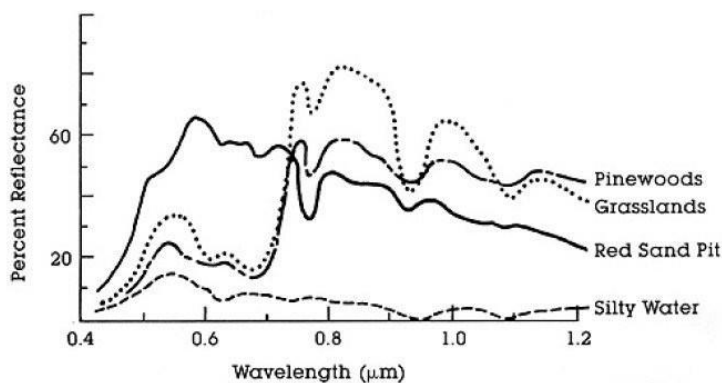
Los sensores miden la radiancia, la cual corresponde a la energía enviada en una dirección dada hacia el sensor; la reflectancia es la relación entre la reflejada contra la potencia total de energía (Congedo, 2016). En la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que nos interesa es la reflectividad (relación entre el flujo incidente y el que refleja una superficie) de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material reflejará la radiación incidente de forma diferente lo que permitirá distinguirlo de los demás si medimos la radiación reflejada (Gonzaga, 2014; Sobrino et al., 2004).

2.3.7. Firma Espectral

La firma espectral (Figura 6) es la reflectancia en función de la longitud de onda; cada material tiene una firma única, por lo tanto, puede ser usada para la clasificación de materiales (National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2013).

Figura 5.

Principales firmas espectrales



Fuente: NASA (2013)

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

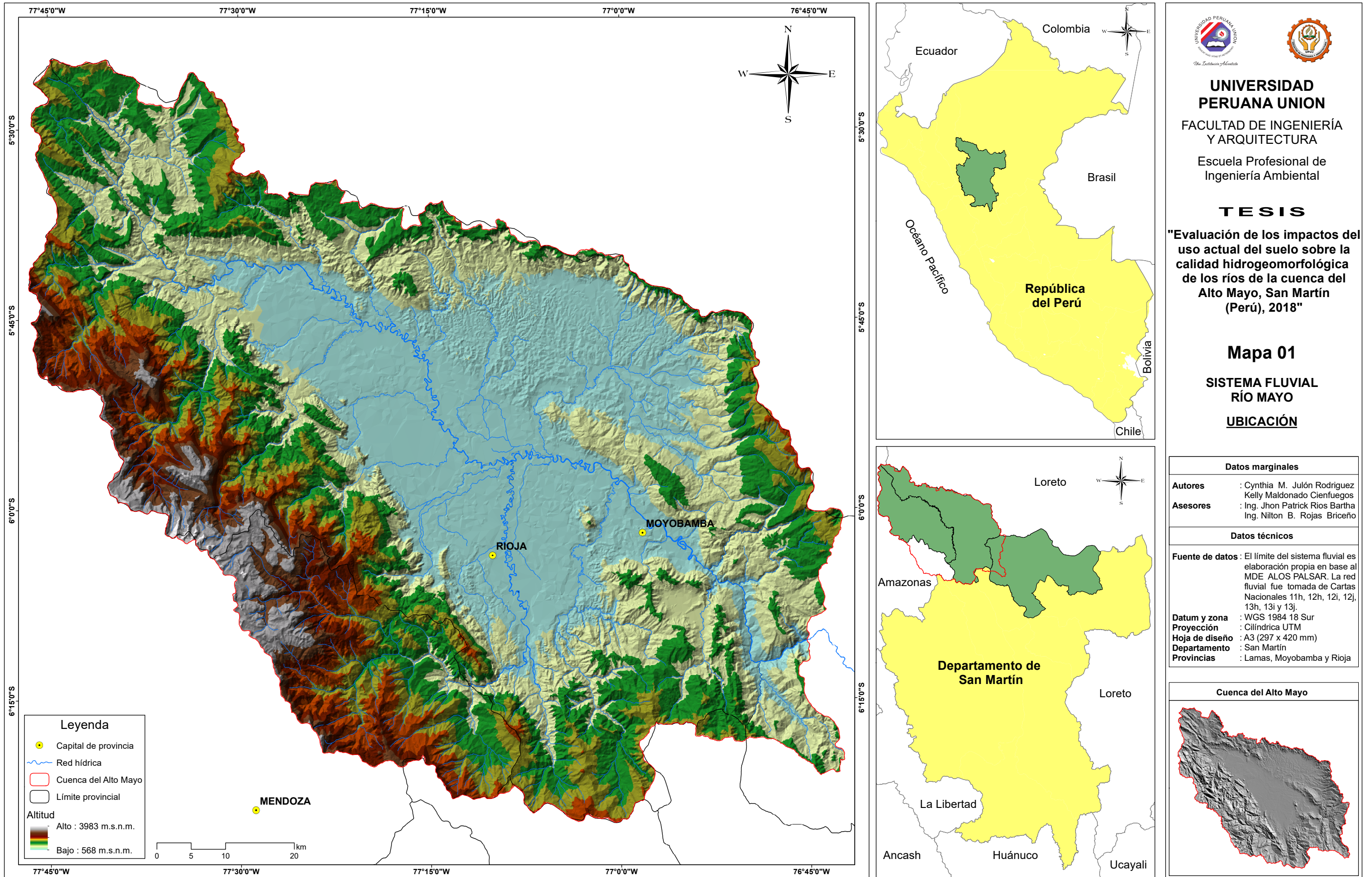
La cuenca del Alto Mayo se ubica en el noreste del territorio peruano, al norte de la región de San Martín y comprende la totalidad de las provincias de Moyobamba y Rioja, y una fracción de las provincias de Lamas y Rodríguez de Mendoza (región de Amazonas), cubriendo una superficie aproximada de 7 817.92 km². Está situada entre los paralelos 5°24'35" y 6°24'37" de latitud Sur y los meridianos 76°41'59" y 77°46'48" de longitud Oeste, con un gradiente altitudinal que oscila entre los 568 y 3 983 m.s.n.m. (Figura 6).

3.1.1. Escenario biofísico

La cuenca del Alto Mayo está constituida por dos unidades morfoestructurales relevantes: la Cordillera Oriental por el oeste y la Cordillera o Faja Sub andina por el este. Presenta un relieve con gran variedad de formas, entre las que destacan las zonas montañosas con diversas características de pendiente y altitud. Asimismo, la acción dinámica del río Mayo y de sus tributarios han desarrollado relieves relativamente planos a ondulados en algunos sectores, ubicadas en la parte central de la cuenca (PEAM-GRSM e IIAP, 2007).

Los suelos ubicados en zonas adyacentes a los ríos principales, como el Mayo, Yuracyacu y Tónchima, son los que presentan mayor fertilidad natural por su origen aluvial reciente. Los suelos ubicados en terrazas altas, lomadas y colinas bajas son ácidos y de baja fertilidad natural. Los suelos de ladera de montaña son superficiales y con fuerte pendiente que limitan su uso. El río Mayo presenta alta pendiente y gran velocidad de corriente. Los principales tributarios nacen en la Cordillera Oriental, tales como Yuracyacu, Tónchima, Huascayacu, Negro, Naranjillo, Indoche, entre otros, caracterizándose por ser muy torrentosos y de alta velocidad, presentando baja diversidad. El clima predominante es ligero a moderadamente húmedo y semicálido sin ningún déficit de agua. Una característica fundamental del Alto Mayo es el exceso de humedad, que da lugar a escorrentía durante todo el año, bajo la forma de arroyuelos, riachuelos y ríos de regímenes continuos (PEAM-GRSM e IIAP, 2007).

Figura 6.
Mapa de ubicación de la cuenca del Alto Mayo



Fuente: Elaboración Propia

La cuenca presenta las formaciones vegetales de bosque muy húmedo -Premontano Tropical (bmh-PT), bosque húmedo-Premontano Tropical (bh-PT), bosque muy húmedo -Montano Bajo Tropical (bmh-MBT), bosque pluvial -Montano Bajo Tropical (bp-MBT), bosque pluvial -Montano Tropical (bp-MT), bosque pluvial - Premontano Tropical (bp-PT), bosque muy húmedo -Montano Bajo Tropical (bmh-MBT) y bosque pluvial - Montano Tropical (bp-MT) (Holdridge, 1987).

3.1.2. Escenario socioeconómico

El recuento de la ocupación humana del Alto Mayo durante los últimos 30 años se puede resumir en los siguientes aspectos, muy evidentes en la actualidad: (i) la de deforestación de extensas áreas boscosas con fines agropecuarios, muchos de los cuales están actualmente abandonados; (ii) el estancamiento de los cultivos tradicionales como el plátano, la yuca y las hortalizas y el crecimiento vertiginoso de cultivos comerciales como el arroz, maíz y café y (iii) la ola de migraciones y la densificación poblacional constante y persistente, lo cual trajo como consecuencia la demanda de servicios sociales. La base económica y productiva principal del valle del Alto Mayo ha sido tradicionalmente la agricultura, con una concentración de cultivos comerciales como arroz y café. Por otra parte, analizando el uso de los recursos naturales desde un punto de vista histórico, se pueden observar cambios profundos desde la construcción de la carretera Moyobamba-Bagua-Olmos. Antes de la llegada de esta carretera, el patrón predominante era la ganadería, pero paulatinamente, el cultivo del arroz fue ganado terreno (PEAM-GRSM e IIAP, 2007).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población del estudio está representada por los 2 981.07 km de longitud total de los cauces principales que constituye la cuenca del Alto Mayo, en el contexto de las provincias de Rioja y Moyobamba, una fracción de las provincias de Lamas y Rodríguez de Mendoza.

3.2.2. Muestra

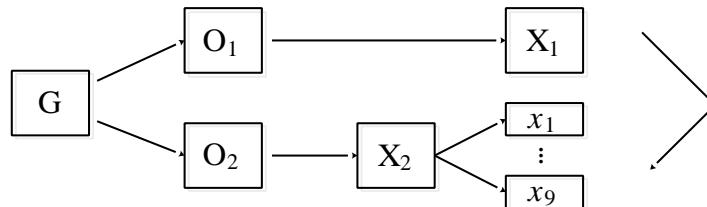
La muestra está representada por la longitud total de los cauces principales de las subcuencas que conforman la cuenca del Alto Mayo, que serán objeto de evaluación hidrogeomorfológica.

3.3. Diseño de investigación

Diseño transeccional correlacional – causal (Hernández et al., 2010):

Figura 7.

Diseño de investigación



Nota: Donde: G (Muestra); O_n (Pruebas de medición aplicadas) X_1 (uso actual del suelo) X_2 (Calidad hidrogeomorfológica) y X_n (Variables de interés observadas y medidas). Fuente: Elaboración propia

La presente investigación pretende describir las relaciones correlacionales y causales entre la variable X_1 que representa el uso actual del suelo (presiones e impactos antrópicos) y la variable X_2 que representa la calidad hidrogeomorfológica. Esta última, a su vez será analizada en 9 subvariables, correspondientes a los subparámetros que analizará el Índice Hidrogeomorfológico (Ollero et al., 2009) para cada tramo de cauce de la cuenca del Alto Mayo, en un momento determinado.

3.4. Tipo de investigación

Como plantea Hernández et al. (2010) la presente investigación es de alcance correlacional, puesto que tiene como finalidad determinar la relación y el grado de causalidad que exista entre dos variables en un contexto en particular. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación.

3.5. Formulación de Hipótesis

3.5.1. Hipótesis alterna

$$H_1 : r_{xy} \neq 0$$

H_1 : El uso actual del suelo genera impactos que repercuten negativamente sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo.

3.5.2. Hipótesis nula

$$H_0: r_{xy} = 0$$

H_0 : El uso actual del suelo genera impactos que repercuten positivamente sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo.

3.6. Identificación de variables

3.6.1. Variable independiente

- Clases cobertura y uso actual del suelo

3.6.2. Variable dependiente

- Calidad hidrogeomorfológica de la cuenca

Tabla 2.

Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Variable	Descripción operacional	Indicador
Independiente	Categorías de la cobertura y uso de suelo	Se identificó las características de la cuenca del Alto Mayo mediante el recorrido de campo y la interpretación de las imágenes del satélite Sentinel 2.	En base a la metodología se clasifican en: Área artificializada (AA), Pastos y cultivos (PC), Bosques (BO), Herbazal/Pajonal (HP) y Cuerpos de agua (CA).
Dependiente	Calidad hidrogeomorfológica de la cuenca	Para evaluar la calidad hidrogeomorfológica de los ríos, se utilizó la Ficha del Incide Hidrogeomorfológica (IHG) que evalúa 9 Subparámetros.	Puntaje de 0 – 90. Calidad hidrogeomorfológica (Muy mala, Deficiente, Moderada, Buena, Muy buena)

Fuente: Elaboración propia

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Técnicas

Las técnicas elegidas para esta investigación, como primera parte es la técnica documental que consistió en la revisión teórica, para recolectar, organizar y analizar datos e información de interés, así como la revisión de estudios afines al mismo. Además, de recurrir

a la consulta de sistemas de información geográfica como recurso de apoyo para el trabajo de campo, así como también la información otorgada por las instituciones del Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) y la Autoridad Local del Agua (ALA), con ellas se logró identificar las coberturas en una fase de gabinete.

Y por último se utilizó la técnica de observación, a fin de registrar y conocer la realidad de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo, mediante la percepción directa. (Tamayo y Tamayo 2006; García, 2003)

3.7.2. Instrumentos

Como expresa Gomez (2016) en investigación hay 2 opciones respecto al instrumento de recolección, se puede elegir un instrumento ya desarrollado y disponible, el cual deberá adaptarse a los requerimientos de estudio o se puede construir un nuevo instrumento de medición de acuerdo con la técnica apropiada.

Por lo tanto, para recopilar y anotar la información que complementara la observación de la calidad del agua en la cuenca del Alto Mayo, se procedió a la Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG, Ollero (2008) menciona que es una herramienta de valoración de los indicadores hidrogeomorfológicos para determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales, y el mejor modelo para llevar a cabo el objetivo planteado.

Para obtener los datos de CUS se empleó imágenes satelitales y la georreferenciación de áreas de entrenamiento, para posteriormente clasificar las categorías mediante Sistemas de Información Geográfica para su visualización, procesamiento y análisis de datos.

3.8. Validación de instrumentos

Respecto a la consistencia de los resultados de la investigación, se utilizó el Índice Hidrogeomorfológico instrumento de recolección de datos validados en la línea de investigación científica sobre sistemas fluviales, a través de diferentes proyectos aplicados y publicaciones científicas en el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, a cargo de Alfredo Ollero Ojeda, Profesor Titular de Geografía Física de la Universidad de Zaragoza. Ollero (2008) menciona que es una herramienta de

valoración de los indicadores hidrogeomorfológicos para determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales, y el mejor modelo para llevar a cabo el objetivo planteado.

En esta investigación se utilizaron imágenes satelitales, Sentinel-2 es un satélite multispectral desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del Copernicus Land Monitoring Services, para discriminar diferentes clases de CUS en base a la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú y generar el procesamiento de datos.

3.9. Materiales, equipos y software

La Tabla 2 indica los materiales, equipos y software utilizados en la presente investigación. Estos implican data cartográfica y satelital, software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y estadístico, y equipos de geoposicionamiento satelital (GPS) y materiales adicionales para gestión de información digital y análoga.

Tabla 3.

Materiales, equipos y software.

Categoría	Descripción
Data cartográfica y satelital	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas 11h, 12h, 12i, 12j, 13h, 13i y 13j de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 (hidrografía e hipsografía). • Red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). • Información de la división política del Perú elaborada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). • Modelo de Elevación Digital del Terreno (MED) elaborado con imágenes ALOS PALSAR de 12.5 metros de resolución espacial, de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (AJAX). • Imágenes del satélite Sentinel 2A, con resolución espacial 10 m, de fecha de toma 23/07/2017 y de los Path/Row 17MRP, 18MTU y 18MUU.
Software	<ul style="list-style-type: none"> • Software libre QGIS (ver. 3.0.0) • Portales Google Earth Pro (ver. 7.3.0.3832) B16 • SAS Planet (ver. 160707). • Windows de Microsoft Office 2016 • InfoStat (ver. <i>estudiantil</i>)
Equipos y materiales adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Laptops HP Core i5 - 12GB RAM • GPS Garmin Montana 680 • Cámara digital • USB de 16 GB de capacidad de almacenamiento • Fichas IHG (Anexo 1) • Libretas de campo • Calculadora científica • Papel bond

Fuente: Elaboración propia (2018).

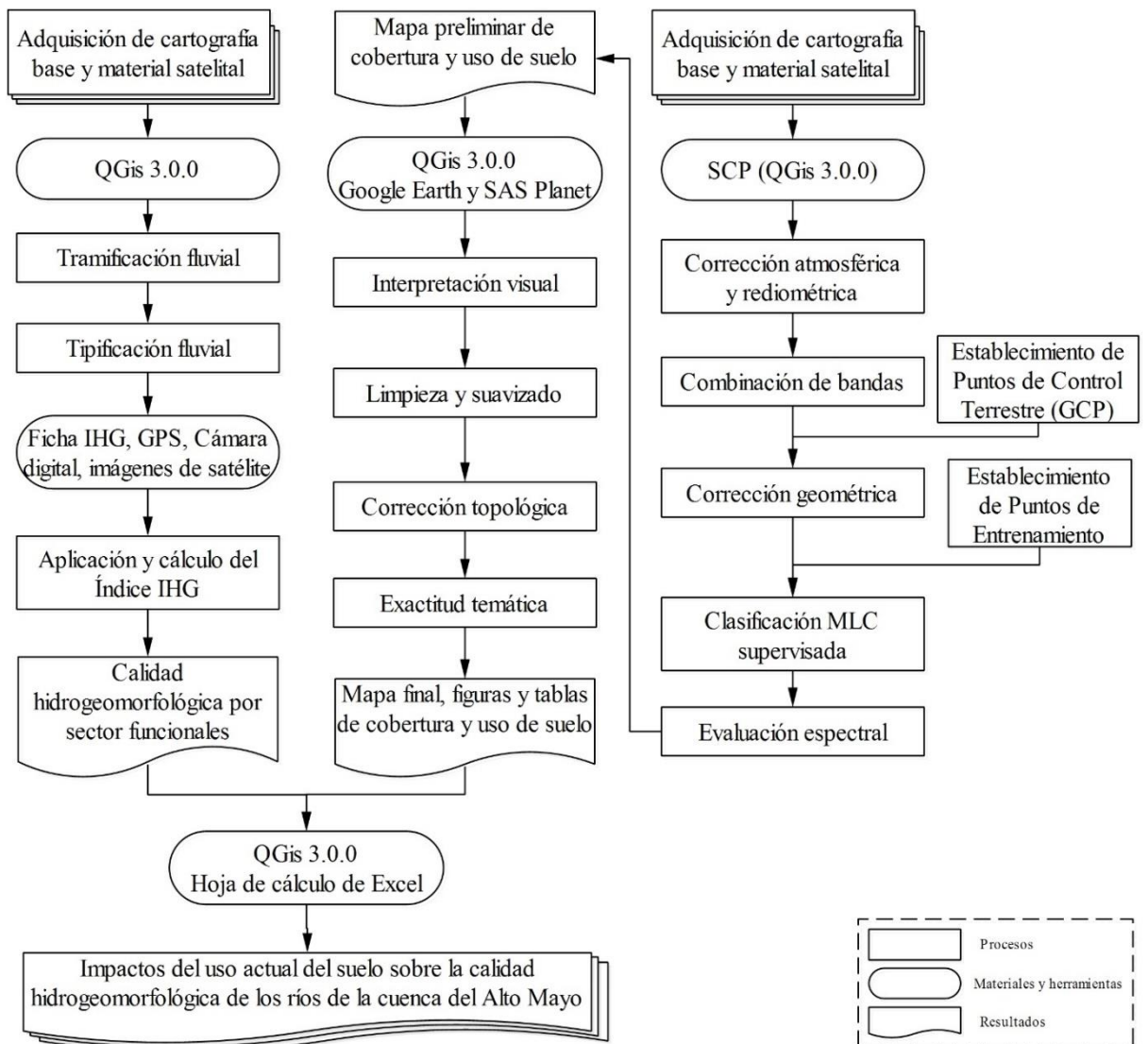
Para elaborar el mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) se utilizaron 3 imágenes del satélite Sentinel 2, obtenidas de la plataforma *Copernicus Services Data Hub* de la Agencia Espacial Europea (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), respectivamente. Los criterios de selección de imágenes fueron: a) no presentar errores ni distorsiones; b) tener un máximo de 10 % de nubes y sombras en el área de estudio y c) haber sido tomadas en la misma fecha, para que las condiciones de vegetación y climáticas fueran homogéneas y permitieran obtener un mejor mosaico (Chuvienco, 1998).

3.10. Diseño metodológico

Para evaluar los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo, aplicando el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) y técnicas de Teledetección apoyados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), se procedió como lo diagrama la Figura 8.

Figura 8.

Diagrama de flujo para evaluar los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo



Fuente: Elaboración propia.

3.11. Identificación de la cobertura y el uso actual del suelo en la cuenca del Alto Mayo

3.11.1. Preprocesamiento del material satelital

De modo automático, se corrigieron atmosféricamente todas las bandas espectrales de las imágenes de satélite por separado, aplicando la corrección de Substracción de Objetos Oscuros (DOS1) (Chávez, 1988), en el SCP de QGis, con los valores de radiancia espectral especificados en los respectivos metadatos de descarga. Luego, las bandas calibradas, que conciernen al espectro visible e infrarrojo, fueron combinadas para construir imágenes multispectrales, sobre las que se establecieron Puntos de Control Terrestre (GCP)

fotoidentificables. Estos puntos fueron verificados en salidas al campo vía terrestre y cartografía local; con los que se realizó la corrección geométrica utilizando una transformación polinomial de segundo orden. Se remuestrearon los Niveles Digitales (ND) (i. e. pixel) de las imágenes a una nueva posición mediante la interpolación del vecino más cercano. Se llevó a un error cuadrático medio permisible < 0.15 (Chuvienco, 2002).

3.11.2. Clasificación de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS)

3.11.2.1. Identificación de las clases de CUS.

Con base a la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú (MINAM, 2014b), leyenda que cuenta con una estructura base de 5 macro clases y 106 clases de CUS en su nivel más detallado (Nivel IV), el Mapa de Uso Actual del Suelo de la Meso Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca de Alto Mayo (PEAM-GRSM e IIAP, 2007) y recorridos rigurosos de campo vía terrestre, se identificaron cinco clases de CUS características del área de estudio en 92 Áreas de Entrenamiento mediante un receptor GPS: Área artificializada (AA), Pastos y cultivos (PC), Bosques (BO), Herbazal/Pajonal (HP) y la clase Cuerpos de agua (CA)

Tabla 4.

Clases de CUS identificadas para el área de estudio.

CORINE Land Cover adaptada para Perú			CUS	CUS
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Meso ZEE (2007)	
1. Área artificializada	1.1. Áreas Urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo 1.1.2. Tejido urbano discontinuo		AA
	1.2. Área industriales e infraestructura	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Frentes productivos de predominio: - Arrocero - Cafetalero - Agricultura diversificada - Ganadero	PC
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo 3.1.2. Bosque abierto bajo 3.1.3. Bosque denso alto 3.1.4. Bosque abierto alto	Sin uso productivo	BO
		3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		3.3.1 Herbazal/Pajonal
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos 5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	Cuerpos de agua	CA

Fuente: Elaboración propia basada en Horacio y Ollero (2011)

3.11.2.2. Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad.

Se realizó una Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad, ampliamente utilizada en todo el mundo (Rawat y Kumar, 2015), con base a las firmas espectrales de las 83 Áreas de Entrenamiento recolectadas durante la etapa de campo. En este algoritmo, incorporado en el SCP, se calcula las distribuciones de probabilidad para las clases, relacionado al teorema de Bayes, estimando si un pixel pertenece a una clase de cobertura. En particular, las probabilidades de distribución de las clases son asumidas de la forma de modelos normales multivariados (Richards y Jia, 2006).

Luego, se valoró la distancia entre firmas espectrales mediante la Distancia Jeffries-Matusita (DJM), para evaluar si dos o más clases que son muy similares entre sí podrían haber causado errores de clasificación. La DJM calcula la separabilidad de un par de distribuciones de probabilidad y es asintótica a 2 cuando las firmas son completamente diferentes, y tiende a 0 cuando las firmas son idénticas (Richards y Jia, 2006).

3.11.2.3. Interpretación visual

Posteriormente, con el propósito de reducir al mínimo errores de posición y de clasificación (Ramírez y Zubieta, 2005), las imágenes fueron interpretadas visualmente tomando en cuenta características pictórico morfológicas como forma, tamaño, tono y color, patrones, textura, posición geográfica y asociación para la identificación y diferenciación visual de las diferentes clases de CUS (Vargas, 1992). Se modificaron sólo los polígonos donde se produjeron errores de clasificación debido a la similaridad espectral de las clases.

3.11.2.4. Limpieza, suavizado y corrección topológica

En la presente investigación, el mapa de CUS fue generado y se trabajó a una escala de 1:25 000 (se eliminaron polígonos con áreas menores a 1.56 hectáreas), según la tabla del Área Mínima Cartografiable (AMC) para diferentes escalas desarrollada por Vargas (1992). Por tanto, la limpieza de polígonos, consecuentemente, permitió eliminar pequeños polígonos que fueron generados como resultado de diferentes procesos (conversión de formato ráster a vector, por ejemplo), así como eliminar las pequeñas diferencias de digitalización entre capas. En el proceso

de limpieza, se eliminaron los polígonos al fusionarlos con los polígonos adyacentes que tienen el área más grande o el borde compartido más largo.

Para mejorar el aspecto visual de la información obtenida mediante la clasificación basada en píxeles e interpretación visual se “suavizaron” automáticamente los polígonos (MINAM, 2014b). Así, se suavizaron ángulos cerrados en contornos para mejorar la calidad estética y cartográfica. El suavizado produce errores topológicos como cruces de contorno de polígonos (superposición) y aparición de “huecos” (gaps) entre polígonos. Para resolver este problema, se aplicó una corrección topológica, donde los “huecos” fueron rellenados con polígonos que adquirieron una clase temporal, que posteriormente fueron fusionados con los polígonos adyacentes que tienen el área más grande. Este último proceso se aplicó también a los polígonos resultados de la superposición.

3.11.2.5. Exactitud temática

La evaluación de la exactitud temática a través del cual se validan los resultados de mapas de CUS se basa en tres aspectos: selección del área de referencia, diseño del muestreo, análisis de datos. En este estudio, se evaluó la precisión de la clasificación de CUS con base a 196 puntos de verificación, obtenidos por la fórmula de Chuvieco (2002), y establecidos sobre el mapa de CUS a través de un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado (MINAM, 2014c).

La verificación de estos puntos se realizó mediante salidas al campo y con imágenes de alta resolución como RapidEye del año 2011 y 2012 (Nivel 3A) e imágenes de Google Earth y SAS Planet (Osorio et al., 2015; Peralta-Rivero et al., 2015). Se elaboró una matriz de confusión (Tabla 4) (Chuvieco, 2002), sobre el que se calcularon la Exactitud Total (dividiendo la cantidad de puntos ubicados correctamente entre el total de puntos muestreados) y el Índice Kappa (k), medida de la concordancia basada en las diferencias entre los datos de la clasificación y los de referencia (Congalton, 1982).

3.12. Clasificación de los ríos de la cuenca del Alto Mayo

La clasificación de los sistemas fluviales de un territorio es un paso previo necesario para la posterior determinación de su estado ecológico. Consiste en clasificar para aportar información clave de cada uno de los tramos de la red fluvial, así como para fijar los puntos de muestreo de los distintos parámetros, definir los tramos representativos y establecer las condiciones de referencia específicas de cada tipo (Ollero et al., 2003).

El procedimiento de clasificación de los cursos fluviales se apoyó únicamente en aspectos geomorfológicos: geomorfología del cauce, pendiente del cauce y geomorfología del valle (Petts y Foster, 1985; Petts y Amoros, 1996). Con base en el método propuesto por Horacio y Ollero (2011) se dividió el trabajo en dos etapas: tramificación y tipificación. En el proceso de tramificación se obtuvo una sectorización de la red fluvial por cada parámetro estudiado, mientras que con la intersección de estos resultados se realizó la fase de tipificación, que consistió, básicamente, en obtener tipos de cursos fluviales internamente homogéneos en función de los tres aspectos geomorfológicos manejados (Tabla 5).

Tabla 5.

Parámetros de tramificación y tipificación.

Aspecto geomorfológico	Parámetro	Clasificación	Rango	Símbolo
Geomorfología del cauce	Tipo de canal	Canal único	---	N1
		Canal múltiple	---	N2
		En transición	---	N3
	Índice de sinuosidad	Recto	< 1,05	S1
		Sinuoso	1,05 - 1,3	S2
Ameandramiento moderado		1,3 - 1,5	S3	
Meandriforme		> 1,5	S4	
Pendiente del cauce	Pendiente	Baja	< 0,5%	P1
		Moderada-Baja	0,5 - 2%	P2
		Moderada-Alta	2 - 10%	P3
		Alta	> 10%	P4
Geomorfología del valle	Encajamiento	Escarpe	< 3	E1
		Muy encajado	3 - 12	E2
		Moderadamente encajado	12 - 22	E3
		Suavemente encajado	22 - 40	E4
		Abierto	> 40	E5
Ancho del fondo del Valle	Ancho del Valle	Nula	---	A1
		Estrecho	< 50 m	A2
		Medio	50 - 250 m	A3
		Ancho	250 - 1000 m	A4
		Muy ancho	> 1000 m	A5

Fuente: Elaboración propia basada en Horacio y Ollero (2011).

Se dividió el cauce principal de cada subcuenca de la cuenca del Alto Mayo en tramos de 1 kilómetro (escala de observación ideal para la aplicación del IHG (Ollero et al., 2009)), sobre los que se analizaron los parámetros establecidos en la Tabla 4 a partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el apoyo de hojas de cálculo de Excel. Se ensamblaron los tramos que presentaron la misma clasificación para un parámetro y aspecto geomorfológico dado. Cada ensamble se denomina Sector Funcional (SF) y a cada SF se le aplica la Ficha de evaluación hidrogeomorfológica.

3.12.1. Geomorfología del cauce

Toda la red fluvial se consideró de canal único (N1) por la escasa representatividad de las otras variantes. Esta simplificación, se justifica en el abrumador predominio de los ríos de canal único, ocupando un 99.02% de la red hídrica total.

El Índice de Sinuosidad de los tramos se calculó mediante el Método de Sinuosidad Total (Horacio y Ollero, 2011), y se obtuvo como el coeficiente entre la longitud del tramo de cauce y la distancia en línea recta entre el inicio y el final del mismo, calculada mediante las coordenadas $[X_i, Y_i]$ y $[X_f, Y_f]$ con la fórmula de distancia euclidiana.

3.12.2. Pendiente del cauce

Toda red fluvial se clasificó en base a la variación longitudinal de la pendiente del cauce en tramos homogéneos, porque es el método que mejor se adapta para la caracterización geomorfológica de los cursos fluviales (Horacio y Ollero, 2011). La pendiente (%), de cada tramo de cauce, se obtuvo como el coeficiente entre la diferencia de cotas de cada uno de los nodos que componen el tramo (inicio $[Z_i]$ y final $[Z_f]$) y la longitud del mismo.

3.12.3. Geomorfología del valle

El término “valle” se refiere de forma generalizada a una morfoestructura depresionaria y alargada entre dos vertientes (Horacio y Ollero, 2011). La forma del valle en un tramo cualquiera está determinada por la combinación de factores tectónicos, litológicos y locales dentro de la cuenca (Charlton, 2008). Esta combinación engendra un tipo de encajamiento (carácter morfológico reflejo del ambiente que envuelve al cauce) y una amplitud del fondo de valle (indicativo del grado de movilidad o confinamiento del cauce)

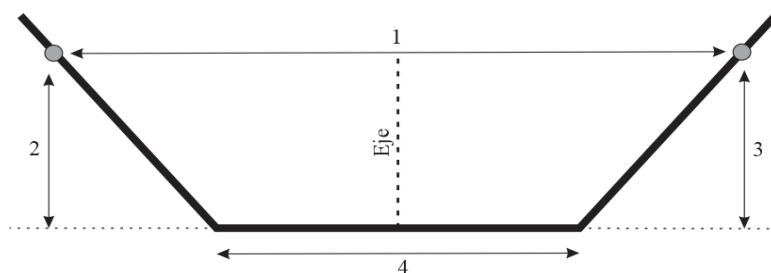
concreta y asociada, por lo general, a un modelo geomorfológico de cauce, lo que supone, en consecuencia, que estos dos factores sean de carácter obligatorio para la clasificación por la intensa interacción que mantienen con el cauce (Horacio y Ollero, 2011).

En la Figura 9 se expone la geometría transversal básica de un valle. A partir de estas mediciones se encontrarán los factores obligatorios para caracterizar los valles fluviales: [1] es distancia horizontal entre la cota máxima detectada a la izquierda y a la derecha del eje sobre el perfil transversal; [2] y [3] representan la diferencia de cota entre el máximo a la izquierda y derecha y la cota del eje del cauce en la sección transversal; y [4] es la distancia horizontal del fondo del valle.

$$\text{Encajamiento} = \frac{[1]}{\frac{[2] + [3]}{2}}$$

Figura 9.

Parámetros básicos de la geometría del valle

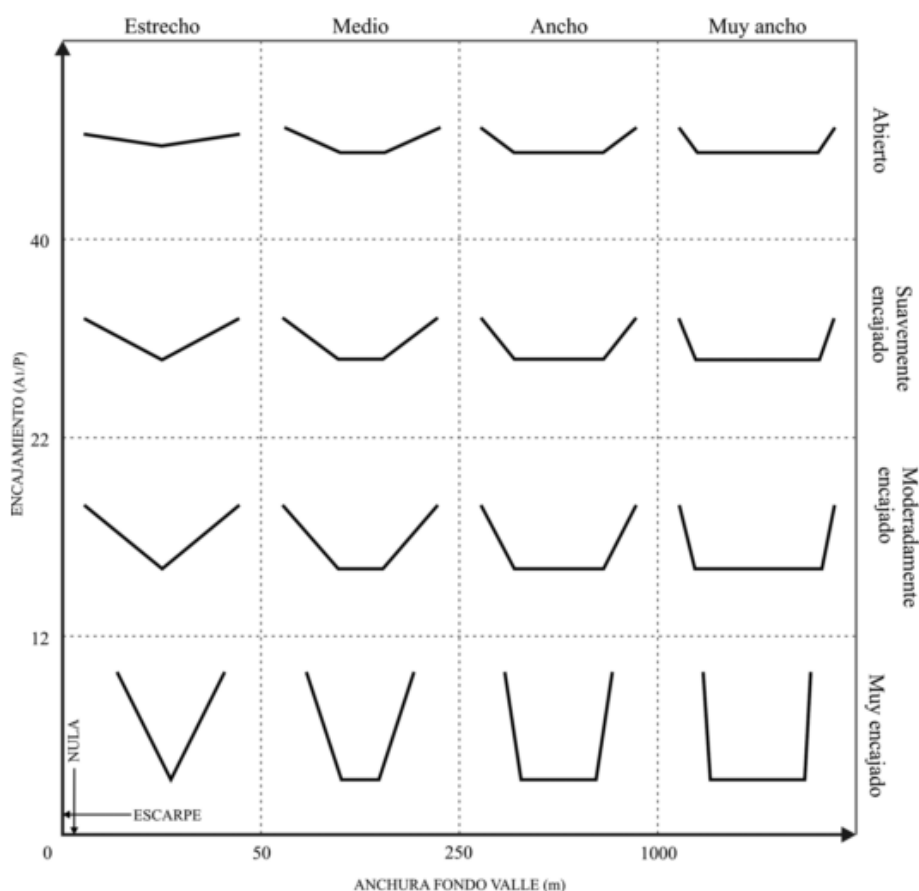


Fuente: Rojas (2018)

La clasificación de valles fluviales basada en los factores obligatorios se desarrollará en función al cruce de ambos parámetros (Figura 10), variando el número de tipos básicos de valle según los umbrales de encajamiento y ancho del fondo definidos a partir de diferentes casos de estudio. La inclusión de más o menos descriptores optativos puede elevar demasiado el número de casos, al igual que la escala de trabajo -cuenca, río, tramo- o la finalidad del estudio -tipificar o definir dinámicas geomorfológicas- (Horacio y Ollero, 2011).

Figura 10.

Tipos de valle atendiendo a su encajamiento y anchura del fondo



Fuente: Modificado por Horacio y Ollero (2011) de Pardo-Pascual y Palomar, 2002.

3.13. Evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo

La aplicación del índice IHG requiere ser capaz de distinguir en campo y en fotografía aérea presiones e impactos sobre el sistema fluvial que puedan alejar la funcionalidad, continuidad, naturalidad, complejidad y dinámica del mismo respecto del estado de referencia (Ollero et al., 2009). Una vez tramificada el área de estudio se procederá a la aplicación del índice a cada Sector Funcional (SF) delimitado.

En la Ficha IHG (Anexo 1) se evaluaron tres parámetros: (1) Calidad Funcional del Sistema Fluvial (CF), (2) Calidad del Cauce (CC) y (3) Calidad de las Riberas (CR), de tres subparámetros cada uno de ellos. A cada uno de los nueve subparámetros se le asignó el valor 10 si la situación fue natural. Pero si se observaron determinados impactos y presiones se le fueron restando puntos, siguiendo las propuestas por cada subpartado de la ficha.

3.13.1. *Proceso de documentación e información*

Se reunió toda la información posible y disponible sobre la cuenca. Se trató fundamentalmente de infraestructura vial (carreteras y puentes), infraestructuras hidráulicas, imágenes de satélite recientes y antiguas y cartografías topográficas del mayor detalle posible. Éstas permitieron localizar cambios en la dirección y ancho de los cauces.

3.13.2. *Proceso de recorrido en campo*

La valoración de la calidad hidrogeomorfológica en campo de cada Sector Funcional (SF) fue realizada mediante recorridos vía terrestre por las márgenes de los cauces y con posterioridad al proceso de documentación e información, lo que permitió llegar al terreno con un conocimiento más completo del mismo (Tabla 6).

Tabla 6.

Síntesis de trabajos de campo que se realizaron para determinar el IHG.

Observaciones	Parámetro que se evaluó
Búsqueda de síntomas de sequía en la vegetación	Naturalidad del régimen de caudal
Comprobar si el cauce se ha ido simplificando o estrechando	
Comprobar si hay síntomas de incisión lineal	
Comprobar si se han producido dragados o extracciones en el cauce	
Identificar procesos de acorazamiento o de cubrimiento de finos	
Reconocimiento para completar el inventario de elementos humanos	Funcionalidad de la llanura de inundación
Comprobar tipología, dimensiones, altura y estado de las defensas	
Comprobación de posibles dragados e incisión en el lecho	
Búsqueda de huellas de desbordamientos y restos de crecidas	Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
Reconocer huellas de actuaciones de modificación del cauce	
Buscar elementos humanos que puedan obstaculizar o acelerar procesos	Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales
Recorrido exhaustivo para inventariar actuaciones no detectadas	
Comprobar efectos de embalsamiento de infraestructuras transversales	
Búsqueda de señales de alteraciones humanas en el fondo del lecho	
Comprobar la distribución de secuencias longitudinales y detectar posibles rupturas anómalas de pendiente	
Marcaje de puentes y colocación de testigos para seguimiento futuro	
Recorrido de orillas para inventariar actuaciones no detectadas	
Análisis geomorfológico de detalle de márgenes, depósitos y escarpes	

Reconocer evidencias de erosión y de sedimentación	Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral
Observar síntomas de ralentización o excitación de la dinámica lateral	Continuidad longitudinal de las riberas
Comprobación de lo observado en gabinete, revisando y actualizando las discontinuidades	Anchura del corredor ribereño
Comprobación de lo observado en gabinete, identificando posibles talas o invasiones recientes	

Fuente: Elaboración propia.

En la Ficha de evaluación del IHG (Anexo 1), para cada sub-apartado se puede asignar un máximo de 10 puntos, por lo que la puntuación de cada apartado de calidad puede alcanzar 30 puntos, con una puntuación final del índice que oscila entre 0 y 90 puntos. Se utilizó la Tabla 6 de valoración y puntuación, para cada uno de los tres apartados del índice y para éste en su conjunto.

Tabla 7.

Valoración y puntuación para cada apartado de evaluación del IHG.

Puntuación por apartado	Calidad hidrogeomorfológica	Puntuación total IHG
0 – 6	Muy mala	0 - 20
7 – 13	Deficiente	21 - 41
14 – 19	Moderada	42 - 59
20 – 24	Buena	60 - 74
25 – 30	Muy buena	75 - 90

Fuente: Modificado de Ollero *et al.* (2009).

3.14. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica, uso actual del suelo y tipología

A los tramos de río de 1 km, divididos en la primera etapa de la clasificación fluvial, se les asignaron la valoración hidrogeomorfológica (IHG), la tipología fluvial y la clasificación de CUS. En aquellos tramos donde se presentaron dos o más CUS se volvió a dividir el cauce para su respectiva asignación.

3.15. Plan de procesamiento de datos

Para la elaboración del mapa de cobertura se utilizaron imágenes satelitales se llevó a cabo en un entorno de sistema de información geográfica en el software de QGIS, se hizo una clasificación

supervisada. Se evaluó la precisión de la clasificación de CUS mediante la exactitud total y el índice de Kappa; la clasificación es más precisa cuanto más cercana se encuentre a un valor de 1.

Con respecto a la clasificación y evaluación de los ríos de la cuenca del Alto Mayo se dividió el trabajo en etapas: tramificación y tipificación para posteriormente asignar la puntuación de calidad a cada tramo en base al método propuesto por Horacio y Ollero (2011). A partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el apoyo de hojas de cálculo de Excel.

En contraste con los datos de los resultados obtenidos en campo y gabinete, se procedió a evaluar los impactos del uso actual del suelo sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos en el software InfoStat se realizó un Análisis de Correspondencias (AC) entre el IHG-CUS e IHG-Tipología fluvial. Finalmente, los datos fueron presentados en gráficos y cuadros estadísticos de modo que sean analizados e interpretados de forma entendible.

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cobertura y Uso del Suelo (CUS) de la cuenca del Alto Mayo

4.1.1. Evaluación espectral y exactitud temática de la clasificación

La Distancia Jeffries-Matusita (DJM), usada para evaluar similaridad entre clases espectrales, fluctuó entre 0.96 y 1.94. La DJM es asintótica a 2 cuando las firmas son completamente diferentes, y tiende a 0 cuando las firmas son idénticas (Richards & Jia, 2006). Los pastos y pajonales, propios de las áreas de estudio, presentaron valores muy altos de similaridad espectral y generaron errores de clasificación, por lo que se recalca la importancia del haber integrado la interpretación visual (Vargas, 1992) como corrección posterior a la Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad (Thakkar et al., 2017).

Los resultados de la exactitud temática del mapa de CUS para el año 2018 arrojó una Exactitud Total de 89%, cuyo resultado muestra un alto nivel de concordancia de acuerdo a Foody (2002), y se encuentra dentro del rango Aceptable, empleado en diversos estudios que utilizan métodos espectrales y visuales para la interpretación de imágenes de satélites (Osorio et al., 2014). Por otro lado, el índice Kappa (k) mostró un valor de 0.85 lo que significa que el mapa de CUS para el año 2018 podría considerar un nivel de concordancia Casi Perfecta según los parámetros propuestos por Landis y Koch (1977).

4.1.2. Cobertura y Uso del Suelo (CUS) de la cuenca del Alto Mayo

El estudio de Zonificación Ecológica y Económica de la Cuenca del Alto Mayo, ejecutado entre el Proyecto Especial Alto Mayo y el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (PEAM-GRSM e IIAP, 2007), la cual fue desarrollada a nivel mesozonificación y escala 1: 150 000, a diferencia de la presente investigación que se realizó con un nivel de micro y escala de 1: 25 000, por consiguiente, no se pudo discutir con la fuente de información de la ZEE, de acuerdo con (Pérez, M., 2017; Mas, F., y Fernández, T. 2003) la comparación de mapas representados en escalas distintas afecta de manera significativa la fiabilidad de la matriz, la precisión de información y la representación de los detalles. Asimismo, Gonzales y Llanos (2015), hacen mención que la información utilizada de la ZEE carece de precisión en la identificación y distribución de áreas

agrícolas y deforestadas; en tal sentido se recalca la importancia de generar datos precisos a escalas detalladas o actualizadas de acuerdo con los últimos cambios de cobertura y usos del suelo para contribuir al entendimiento del sistema y la toma de decisiones en planteamiento de políticas y soluciones que contrarresten las causas y los efectos de la dinámica del uso del suelo. (Deng et al., 2005; Pinos, 2016; Rujoiu & Mihai, 2016 ; Rodriguez, 2018; Elagouz et al., 2019 ; Ren et al., 2019).

La clasificación supervisada se ha utilizado ampliamente para conocer la cobertura terrestre (Joshi et al., 2011; Alarcón et al., 2016). Los bosques son la cobertura de mayor extensión en la cuenca del Alto Mayo (54.1%) seguido por los pastos y cultivos (43.2%) (Figura 10). El patrón de distribución espacial de cobertura y uso del suelo para el año 2018, en la cuenca del Alto Mayo se muestra en la Figura 11.

De acuerdo a los resultados, en la actualidad, hay una dominancia de bosques, cabe destacar que la cuenca alta del río Mayo, recorre desde pajonales húmedos a bosques aluviales inundables, la que abarca una gran diversidad biológica y cultural (Conservación Internacional [CI], s.f). Aproximadamente 425 km² de bosques de altísimo valor para la conservación de la biodiversidad y como fuente de agua cubren el Área natural protegida del Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM) y su zona de amortiguamiento (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNAP], 2011).

Sin embargo, la consecuente presión demográfica ha incidido la pérdida de más 34% de cobertura boscosa (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 2008; Codato, 2015) debido que en los últimos 15 años la demanda de tierra se incrementado (De las Casas, 2012). Siendo el departamento de San Martín con mayor superficie deforestada con 1 327 6.61 km² (18,51%) (Fundación Manuel J. Bustamente De La Fuente, 2010) para el año 2006. Específicamente, el porcentaje de superficie deforestada en la provincia de Moyobamba y Rioja fue de 43.16% y 43.7%, consecuencia de ello Rioja es la segunda provincia más alta en deforestación (INRENA, 2008; Gobierno Regional de San Martín [GRSM], 2011). De igual manera investigaciones ponen en manifiesto que el 40% de las 230 cuencas hidrográficas más importantes del mundo han perdido más de la mitad de su cubierta de árboles (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2018).

La categoría de pastos y cultivos ocupa 3374.45 km² (43.2%) del área total de la cuenca. Distribuidos principalmente por café, arroz, pastos y otros (plátano, maíz, cacao, yuca y frijol) el cual representa a pastos y cultivos el 27,9 %; 7.9%; 6.7% y 0.7% respectivamente. (PEAM, 2007) (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], s.f). Principalmente por la conversión de bosques a tierras agrícolas y de pastoreo, que son la base económica y productiva del valle del Alto Mayo, Puesto que presenta superficies planas para la siembra de arroz en la parte baja y café y pastos en las partes altas (Gibbs et al., 2007; PEAM, 2007; Butt et al., 2015).

Por otra parte, el aumento de la actividad agrícola está relacionado con la tasa de crecimiento poblacional, teniendo en cuenta que la región de San Martín concentra el 2.7% de la población (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo [MINCETUR], 2017). Debido a los procesos migratorios. Considerada como la tercera región con mayor migración interna (Voces, 2015), con un incremento anual de 2.8 % y un acumulado de 35% de la población en la cuenca del Mayo (MINAM, 2013). La problemática migratoria poblacional empezó con la construcción de la Carretera Marginal de la Selva que conecta el Alto Mayo con la Costa. La afluencia de los migrantes ha dado lugar a la creación de numerosos centros poblados, a lo largo de la carretera marginal hasta aproximarse a los ríos buscando fuentes de riego y mejores tierras. (Laínez, 2006).

De acuerdo con los datos obtenidos, la mayoría de los cuerpos de agua son empleados para la agricultura, pesca, a los servicios de abastecimiento de agua potable y turismo. Sin embargo, las prácticas agrícolas traen consigo problemas en la disminución de los cuerpos de agua que es captada para riego de cultivos y contaminación de manera directa por el uso de agroquímicos. (INRENA, 2008; PEAM, 2007)

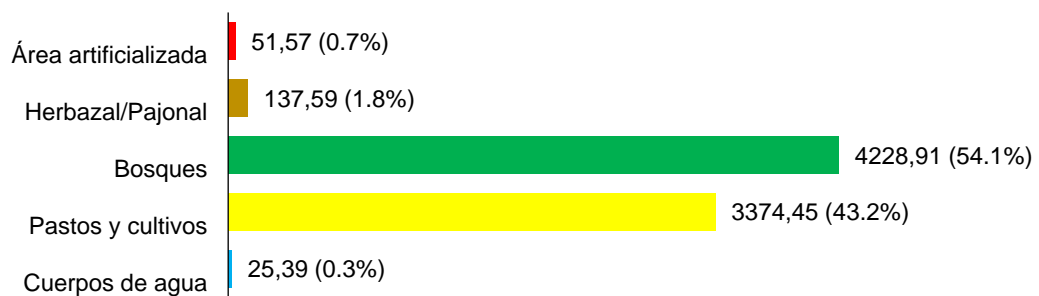
Los pajonales húmedos ecosistema de mayor biodiversidad en la alta montaña, dentro del BPAM esta zona cubre cerca del 4.5% del área total y es poco accesible, sin embargo, este sector se ha identificado la presencia de ganado y prácticas de quema. (INRENA, 2008) Su importancia radica en la capacidad de almacenar y regular el agua que recibe de las lluvias y de la niebla, además retiene el carbono en sus suelos. (Llambi et al., 2012). Las comunidades herbáceas, crecen entre 2 900-3 950 msnm. El límite inferior está conformado por mosaicos aislados de bosquecillos,

cuyo estrato superior oscila entre los 5 a 15 m de alto. Comprende comunidades pluviales casi homogéneas en las partes altas de las montañas que constituyen las nacientes de los ríos Naranjillo y Naranjos, importantes afluentes de la cuenca del río Mayo. (INRENA, 2008; PEAM, 2007)

Cabe concluir que la evaluación de la cobertura y uso de suelo ayuda a conocer la dinámica de los cambios, además de entender cómo y por qué ocurren estos cambios; inclusive permite identificar las áreas más susceptibles, de modo que es fundamental en la toma de decisiones para la planificación de un territorio, planes de desarrollo ambiental y futuras estrategias de conservación de los recursos hídricos (Dzieszko, 2014; Osuna et al., 2015 y Chowdhury et al., 2018).

Figura 11.

Ocupación (km² y %) de los usos y coberturas del suelo en la cuenca del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12.

Mapa de Cobertura y uso actual del suelo de la cuenca del Alto Mayo.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Clasificación fluvial e Índice Hidrogeomorfológico (IHG) de los ríos de la cuenca del Alto Mayo

El trabajo de clasificación fluvial y aplicación del Índice Hidrogeomorfológico en la cuenca del Alto Mayo se estructura en 16 subcapítulos en este acápite, correspondientes a cada una de las subcuencas en que se ha dividido la cuenca (Figura 13) y el resumen total de la cuenca. Las subcuencas se han dividido a través de un análisis del MED ALOS PALSAR y se ha valorado el cauce principal y ciertos tributarios de importancia.

Dentro de cada subcuenca, en un primer mapa, apoyado en un modelado de sombras, se representa el proceso de clasificación fluvial (tramificación y tipificación) de los ríos. Se muestra el perfil longitudinal del cauce principal, así como se indican los parámetros morfológicos característicos de cada subcuenca: Longitud del cauce principal, longitud total de los cauces, longitud de cauce evaluado (km), altitud de nacimiento y de desembocadura del cauce principal (msnm), pendiente del cauce principal (%), perímetro (km), área (km²), coeficiente de compacidad – kc, factor de forma – kf, densidad de drenaje - Dd (km/km²) y pendiente media de la cuenca (%). Asociado al primer mapa, para cada subcuenca, se presenta la figura que detalla el proceso de clasificación fluvial de los cauces, indicando el número y describiendo los tipos de cauce y valle identificados, así como la tabla con los porcentajes de ocupación de cada tipología de cauce y valle.

En un segundo mapa, se presenta la distribución geográfica de los cursos fluviales, representando sobre ellos la valoración hidrogeomorfológica obtenida de la Calidad Funcional del Sistema (CF), Calidad del Cauce (CC), Calidad de Ribera (CR) y el análisis final del IHG de los ríos de cada subcuenca. Se incluyen en la cartografía las principales poblaciones de la subcuenca, el uso actual del suelo, las infraestructuras viales (carreteras y puentes) y obras de regulación (bocatomas, tomas, presas, etc.), fundamentales en la valoración final de las masas de agua. Del mapa dos de cada subcuenca se extrae una tabla que indica la valoración hidrogeomorfológica de cada Sector Funcional evaluado, con la longitud del mismo.

Figura 13.

Subcuencas en que se divide la cuenca del Alto Mayo.

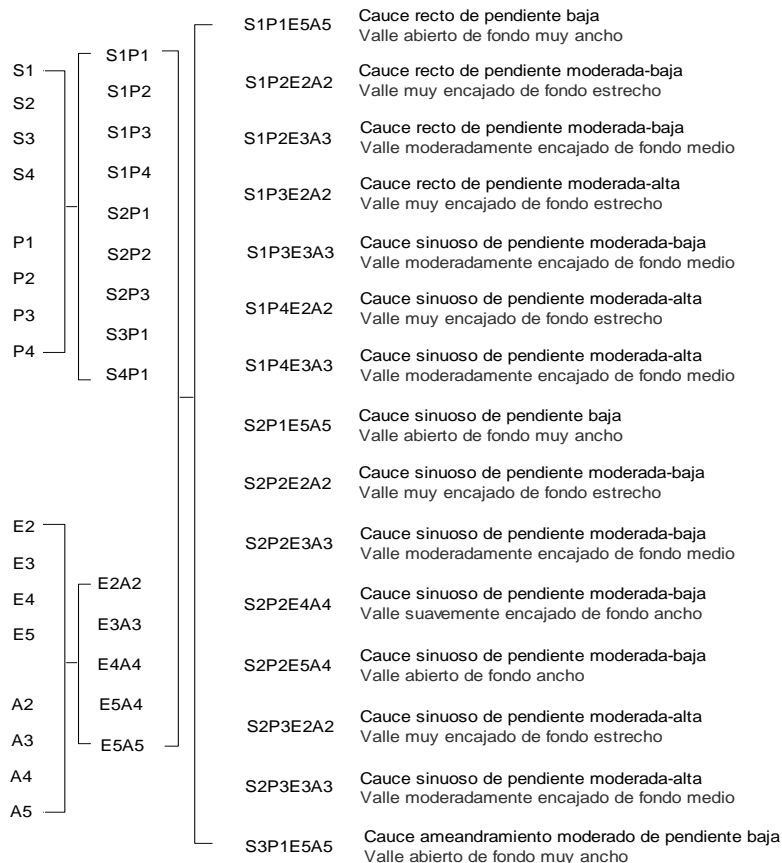
Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Subcuenca del río Tochima

Se identificaron 16 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Tochima, resultado de la combinación de 9 tipos de cauce y 5 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 14, 15 y Tabla 8). Además, la Figura 15(c) enumera los 25 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 14.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Tochima.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Tochima.

		Geomorfología del cauce								Total	
		S1-P3	S2-P3	S1-P2	S2-P2	S1-P1	S3-P1	S4-P1	S1-P4		S2-P1
Geomorfología del valle	E2-A2	13.87	25.16	2.76	0.46	-	-	-	4.21	-	46.46
	E3-A3	2.30	4.62	3.26	1.38	-	-	-	1.84	-	13.4
	E5-A4	-	-	-	5.99	-	-	-	-	-	5.99
	E5-A5	-	-	-	-	1.84	10.59	13.35	-	2.79	28.57
	E4-A4	-	-	-	5.58	-	-	-	-	-	5.58
Total		16.17	29.78	6.02	13.41	1.84	10.59	13.35	6.05	2.79	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Tochimilco.

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó la Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 14(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 9, Figura 16, 17) ha dado como resultado que un 28.01% y 15.67% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. El 24.07% y 18.87% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 13.38% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Tabla 9.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF de la subcuenca del río Tochima.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E2-A2	4.03	26	30	28	84	Muy buena
SF02	S1-P3-E3-A3	5.04	28	30	28	86	Muy buena
SF03	S1-P3-E2-A2	16.12	27	28	27	82	Muy buena
SF04	S2-P3-E2-A2	14.11	27	26	26	79	Muy buena
SF05	S1-P2-E2-A2	6.05	22	22	19	63	Buena
SF06	S2-P3-E2-A2	11.08	23	23	21	67	Buena
SF07	S2-P2-E2-A2	1.01	19	16	19	54	Moderada
SF08	S2-P2-E5-A4	8.06	9	8	11	28	Deficiente
SF09	S1-P1-E5-A5	4.03	11	10	12	33	Deficiente
SF10	S3-P1-E5-A5	23.17	7	6	7	20	Muy mala
SF11	S4-P1-E5-A5	29.22	8	11	8	27	Deficiente
SF12	S1-P4-E2-A2	3.14	29	28	28	85	Muy buena
SF13	S1-P3-E2-A2	3.14	28	28	28	84	Muy buena
SF14	S2-P3-E2-A2	15.74	24	26	25	75	Muy buena
SF15	S1-P4-E2-A2	6.07	22	21	23	66	Buena
SF16	S2-P3-E3-A3	10.11	19	16	13	48	Moderada
SF17	S2-P3-E2-A2	5.06	16	16	13	45	Moderada
SF18	S1-P4-E3-A3	4.04	21	21	22	64	Buena
SF19	S1-P3-E2-A2	7.06	22	19	21	62	Buena
SF20	S2-P3-E2-A2	9.08	20	17	19	56	Moderada
SF21	S2-P2-E3-A3	3.03	16	14	16	46	Moderada
SF22	S2-P2-E5-A4	5.05	14	13	16	43	Moderada
SF23	S1-P2-E3-A3	7.13	23	18	18	59	Moderada
SF24	S2-P2-E4-A4	12.22	15	13	15	43	Moderada
SF25	S2-P1-E5-A5	6.11	7	7	6	20	Muy mala
Total/Promedio		218.87	19	19	19	57	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Tochimilco.

Fuente: Elaboración propia.

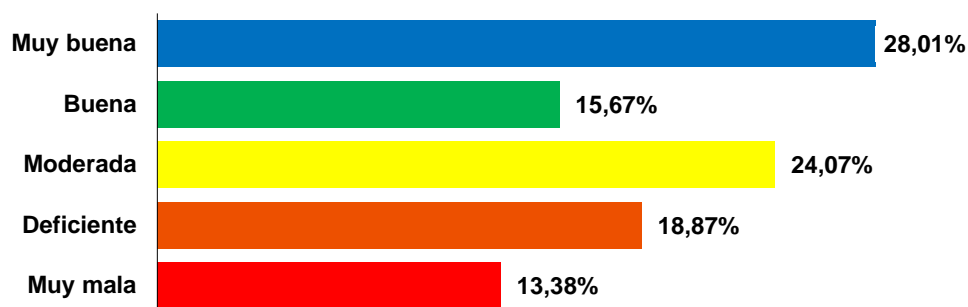
Rio Tochima, principal tributario del río Mayo tiene una topografía variada, desde pendientes altas, hasta terrenos planos. (Municipalidad Provincial de Rioja [MPR], 2012). Principalmente en las terrazas planas zonas adyacentes al río, en los que se asientan las poblaciones y en donde se desarrollan con mayor intensidad las actividades agrícolas, suelos que presentan mayor fertilidad natural por su origen aluvial. (PEAM-GRSM, 2007).

Además se han identificado zonas vulnerables a inundaciones causadas por desborde de la sub-cuenca del río Tonchima y quebrada Tangumí en los distritos Calzada y Yantalo, considerados peligros más importantes por la frecuencia que se ha producido, la situación en que se hallan las defensas ribereñas y los volúmenes de lluvia acompañado a la erosión y posibilidad de deslizamientos y derrumbes en la parte media y alta de la micro cuenca; afectando poblaciones, obras de infraestructura, y terrenos de cultivo. (Municipalidad Provincial de Rioja [MPR], 2012; Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [Ingemmet], 2007)

Los sectores funcionales 10 y 25 alcanzaron la puntuación más baja de la subcuenca (20, calidad hidrogeomorfológica muy mala), debido que en estos sectores existen puntos de extracción de material sólido (cerca del Distrito de Rioja), el cual altera la forma natural del cauce y las riberas, también forman parte de estos sectores funcionales construcciones de puentes que contribuyen a que no exista remoción de sedimentos y que a su vez el incremento de poblacional (Rioja, Soritor, Yorongos y Calzada) y la invasión agrícola del corredor ribereño que repercuten de manera negativa en la calidad de la subcuenca.

Figura 17.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Tochima.



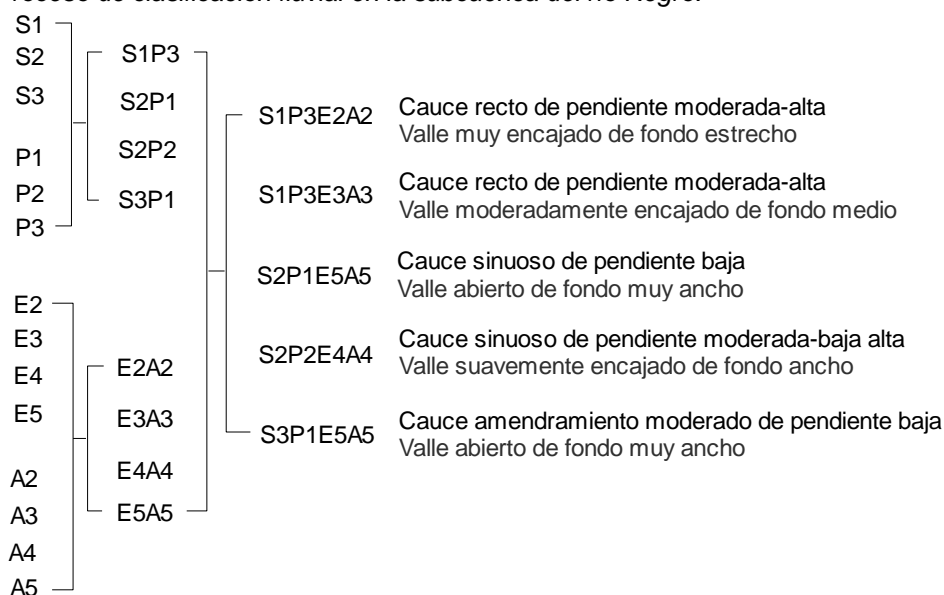
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Subcuenca del río Negro

Se identificaron 5 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Negro, resultado de la combinación de 4 tipos de cauce y 4 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 18, 19 y Tabla 10). Además, la Figura 19(c) enumera los 5 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 18.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Negro.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Negro.

		Geomorfología del cauce				Total
		S1-P3	S2-P2	S2-P1	S3-P1	
Geomorfología del valle	E2-A2	14.29	-	-	-	14.29
	E3-A3	7.14	-	-	-	7.14
	E4-A4	-	7.14	-	-	7.14
	E5-A5	-	-	23.81	47.62	71.43
Total		21.4	7.14	23.81	47.62	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 19(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 11, Figura 20, 21) ha dado como resultado que un 21.43% y 7.14% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos de condición de referencia para la restauración.

Figura 19.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Negro.

Fuente: Elaboración propia.

El 47.62% de los cauces solo alcanza la “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica. Un preocupante 23.81% de los cauces presenta una calidad “Deficiente”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Tabla 11.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Negro.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E2-A2	6.09	29	28	28	85	Muy buena
SF02	S1-P3-E3-A3	3.05	25	25	24	74	Buena
SF03	S2-P2-E4-A4	3.05	27	26	27	80	Muy buena
SF04	S2-P1-E5-A5	10.15	7	7	6	20	Muy mala
SF05	S3-P1-E5-A5	20.31	11	13	15	39	Deficiente
Total/Promedio		42.65	20	20	20	60	Buena

Fuente: Elaboración propia.

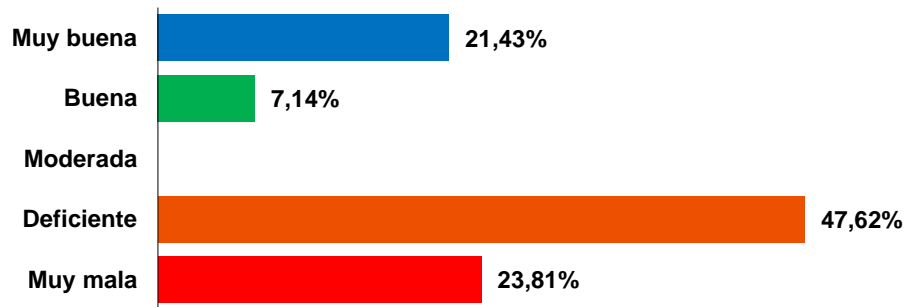
La cuenca del Río Negro abarca territorios que van desde la zona de valle hasta la zona de montaña, parte de su territorio está dentro del BPAM y de su zona de amortiguamiento, por consiguiente, está mejor conservada. Sin embargo, en la zona correspondiente al valle ha sufrido transformación, de acuerdo a la Asociación de Conservación de Bosques Nacientes del Río Negro –ACRENARIN, dentro de la cuenca del río Negro hay más de 350 has deforestadas para ser convertidas en áreas de cultivo de café y pan llevar. (Gonzales y Llanos, 2015; Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNNASS] y Consorcio para el desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina [CONDESAN], 2015). Además, es importante mencionar que la Naciente del Río Negro tiene hasta 10 captaciones grandes y pequeñas, una de ellas es la captación para el agua potable de Rioja, se ubica a 19 km al norte de la misma ciudad. (MPM- PEAM. 2012).

El SF 04 alcanzó la puntuación más baja de la subcuenca (20, calidad hidrogeomorfológica muy mala), y el SF 05 alcanzó una puntuación hidrogeomorfológica deficiente, debido a la presencia de puentes, urbanización, puntos extracción puntual de material sólido para la reparación en carreteras, deforestación en los márgenes de los ríos, como expresa

Ollero (2000) ocasiona efectos negativos sobre la forma del cauce, forma y márgenes de la cuenca, además la expansión urbana e invasión en las riberas permite que se desarrollen desequilibrios en la dinámica y morfología de los sistemas fluviales.

Figura 20.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Negro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Negro.

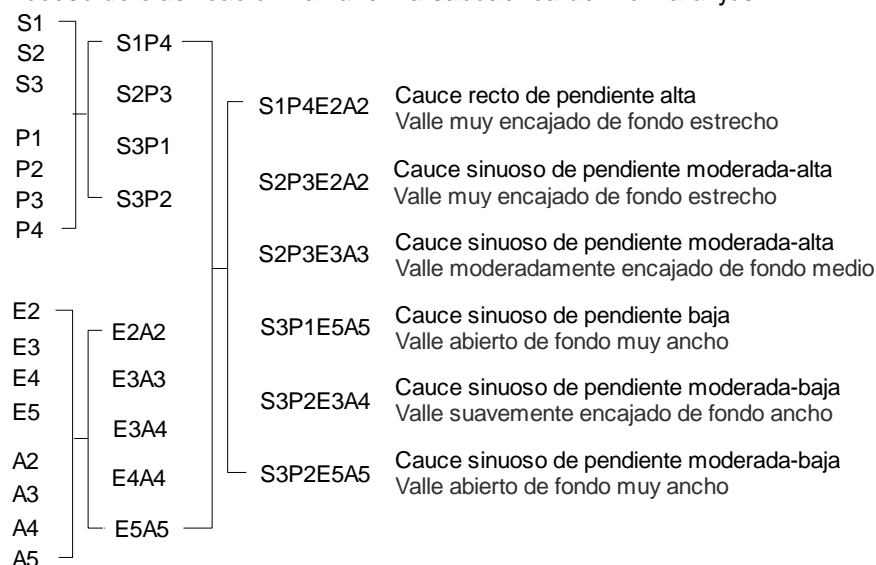
Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Subcuenca del río Naranjos

Se identificaron 6 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Naranjos, resultado de la combinación de 4 tipos de cauce y 5 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 22, 23 y Tabla 12). Además, la Figura 22(c) enumera los 10 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 22.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Naranjos.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Naranjos.

		Geomorfología del valle					Total
		E2-A2	E3-A3	E3-A4	E5-A5	E4-A4	
	S1-P4	14.81	-	-	-	-	14.81
Geomorfología del cauce	S2-P3	48.15	5.56	5.56	-	-	59.27
	S3-P2	-	-	-	-	12.96	12.96
	S3-P1	-	-	-	12.96	-	12.96
Total		63.00	5.56	5.56	12.96	12.96	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 14(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 13, Figura 24, 25) ha dado como resultado que un 48.15% y 14.81% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración.

Figura 23.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Naranjos.

Fuente: Elaboración propia.

El 5.56% y 31.48% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Aunque no existan cauces en “Muy mala”, los anteriores sugieren acciones de restauración fluvial

Tabla 13.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Naranjos.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S2-P4-E2-A2	14.17	25	25	25	75	Muy buena
SF02	S1-P3-E2-A2	6.30	27	26	26	79	Muy buena
SF03	S2-P3-E2-A2	7.09	25	25	25	75	Muy buena
SF04	S2-P3-E3-A3	5.06	17	19	18	54	Moderada
SF05	S2-P2-E5-A4	6.07	10	11	12	33	Deficiente
SF06	S2-P1-E5-A5	4.05	7	7	6	20	Muy mala
SF07	S4-P1-E5-A5	4.05	7	7	6	20	Muy mala
SF08	S2-P1-E5-A5	2.02	13	15	13	41	Deficiente
SF09	S4-P1-E5-A5	7.09	7	6	7	20	Muy mala
Total/Promedio		55.90	15	16	15	46	Moderada

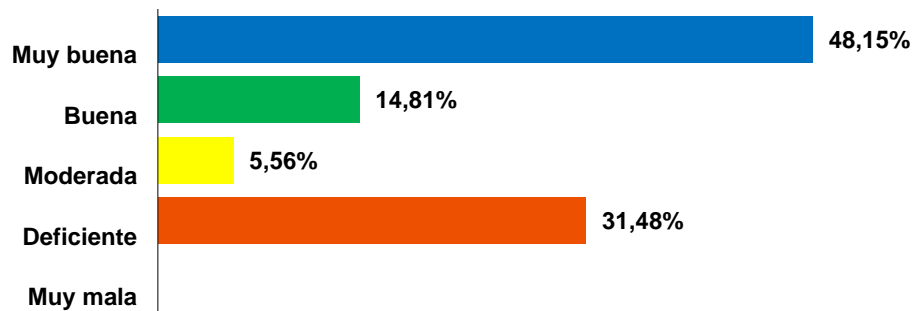
Fuente: Elaboración propia.

EL río Naranjos nace en las vertientes orientales de la Cordillera Oriental y recorre hasta su desembocadura en la margen derecha el río Mayo. Este sector abarca la totalidad del distrito Pardo Miguel y parte del distrito Awajún. La actividad principal que se desarrolla es la agricultura (cultivos de café, arroz, plátano) y ganadería. En la parte alta de la cuenca recibe las aguas residuales del centro poblado (San Agustín y El Diamante en la cabecera) y de la localidad de (Naranjos en la parte media), constituyéndose en un problema de tipo ambiental. (Díaz, G. 2018) Esto viene generando la reducción de la capacidad de autodepuración del río Naranjos debido a que por años se ha convertido en un receptor de desechos domésticos, comerciales y en algunos casos industriales, cuyos efectos se ven reflejados en la pérdida de la biodiversidad y disminución de sus características geométricas e hidrodinámicas. (GRSM, s.f.)

Los SF 04, 05 y 06 alcanzaron la puntuación más baja de la subcuenca (38, 32, 32 respectivamente, que indica una calidad hidrogeomorfológica deficiente), debido a la presencia de puntos de extracción de material puntual de material sólido, urbanización en la llanura e inundación, puentes, red vial, defensas ribereñas, socavamiento en márgenes de las terrazas y deforestación. Vergara, et al. (2013), indica que los suelos adyacentes al río Naranjos están sujeta a erosión e inundación fluvial, a causa de la naturaleza, terraza baja, pendiente el terreno, ausencia de vegetación, dinámica fluvial y precipitaciones intensas que afectan a la población de Naranjos y terrenos de cultivos.

Figura 24.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Naranjos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Naranjos.

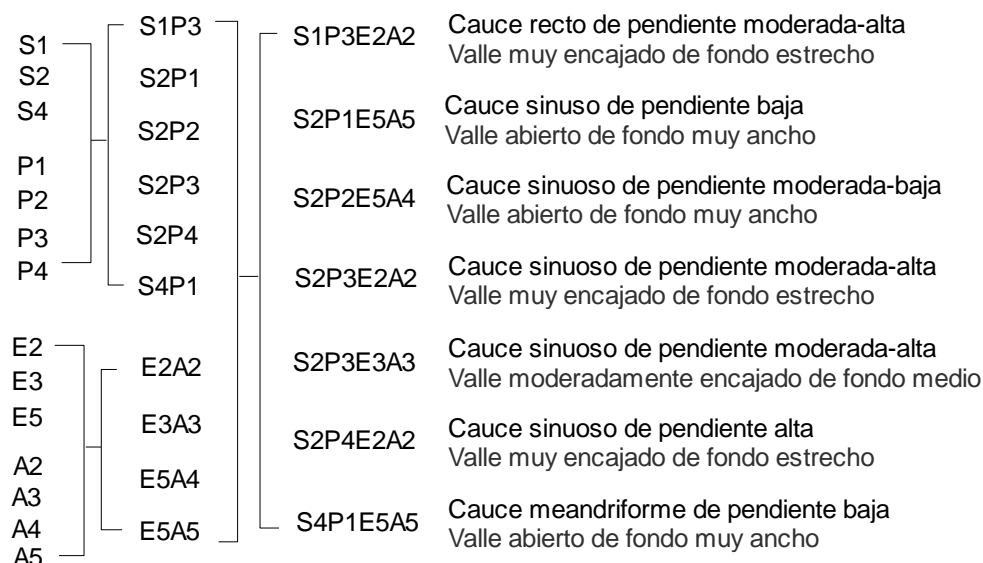
Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Subcuenca del río Naranjillo

Se identificaron 7 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Naranjos, resultado de la combinación de 6 tipos de cauce y 4 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 26, 27 y Tabla 14). Además, la Figura 27(c) enumera los 9 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 26.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Naranjillo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Naranjillo.

		Geomorfología del cauce					Total	
		S1-P3	S2-P3	S2-P4	S2P2	S2-P1		S4-P1
Geomorfología del valle	E2-A2	11.27	12.68	25.35	-	-	-	49.30
	E3-A3	-	9.05	-	-	-	-	9.05
	E5-A4	-	-	-	10.86	-	-	10.86
	E5-A5	-	-	-	-	10.86	19.92	30.78
	Total	11.27	21.73	25.35	10.86	10.86	19.92	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Naranjillo.

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 27(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 15, Figura 28, 29) ha dado como resultado que un 49.30% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. El 9.05% y 14.49% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 27.16% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”.

Tabla 15.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Naranjillo.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S2-P4-E2-A2	14.17	25	25	25	75	Muy buena
SF02	S1-P3-E2-A2	6.30	27	26	26	79	Muy buena
SF03	S2-P3-E2-A2	7.09	25	25	25	75	Muy buena
SF04	S2-P3-E3-A3	5.06	17	19	18	54	Moderada
SF05	S2-P2-E5-A4	6.07	10	11	12	33	Deficiente
SF06	S2-P1-E5-A5	4.05	7	7	6	20	Muy mala
SF07	S4-P1-E5-A5	4.05	7	7	6	20	Muy mala
SF08	S2-P1-E5-A5	2.02	13	15	13	41	Deficiente
SF09	S4-P1-E5-A5	7.09	7	6	7	20	Muy mala
Total/Promedio		55.90	15	16	15	46	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

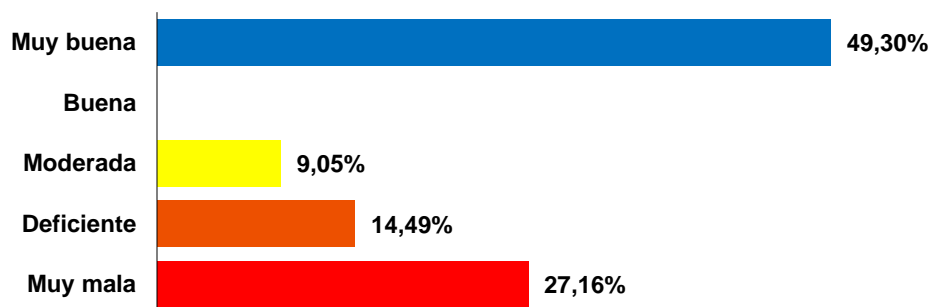
La subcuenca el río Naranjillo nace en las vertientes orientales e la Cordillera Oriental. Su ámbito abarca a los actuales distritos Awajún y parte de los distritos Nueva Cajamarca. Este ámbito tiene una influencia sobre 27 centros poblados con una población total de 14605 habitantes, destacan por su importancia Naranjillo y Bajo Naranjillo. (GRSM, s.f.) La principal actividad en esta zona es el cultivo de arroz.

Los SF 06, 07 y 09 alcanzaron la puntuación más baja de la subcuenca, los impactos que restan puntaje es la presencia de puentes, defensas longitudinales de piedra y la invasión del corredor ribereño y de la llanura de inundación que alteran su estructura natural, la deforestación es muy alta en el lugar (bajo naranjillo). También se identifica la existencia de canalización de agua para riego de grandes áreas de sembríos de arroz, el sistema de riego altera el caudal del agua

circulante. Por su parte, Vergara et al. (2013), menciona que la población se localiza relativa y mayormente a lo largo del curso principal y en ambas franjas marginales o márgenes del río. Además, entre el tramo naranjillo y Puente Naranjillo en el distrito e Nueva Cajamarca, se han presentado erosiones fluviales, con una longitud e 100m, afectando a viviendas ubicadas cerca de la terraza. (GRSM, s.f.)

Figura 28.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Naranjillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Naranjillo.

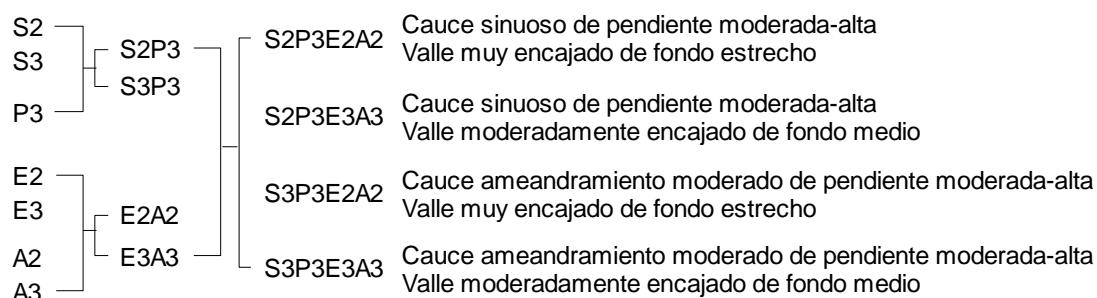
Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Subcuenca del río Serranoyacu

Se identificaron 4 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Serranoyacu, resultado de la combinación de 2 tipos de cauce y 2 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 30, 31 y Tabla 16). Además, la Figura 31(c) enumera los 4 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 30.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Serranoyacu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Serranoyacu.

		Geomorfología del cauce		Total
		S2-P3	S3-P3	
Geomorfología del valle	E2-A2	43.33	30.00	73.33
	E3-A3	12.33	13.34	25.67
Total		55.66	43.34	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 30(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 17, Figura 32) ha dado como resultado que el 100% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. Esta condición de referencia para otras subcuencas que presenten las mismas características socioeconómicas, ambientales y morfológicas, tanto dentro de la cuenca del Alto Mayo como a nivel de la región.

Figura 31.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Serranoyacu.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17.*Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Serranoyacu.*

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S2-P3-E2-A2	13.29	28	29	29	86	Muy buena
SF02	S2-P3-E3-A3	4.09	30	29	29	88	Muy buena
SF03	S3-P3-E2-A2	9.20	26	26	25	77	Muy buena
SF04	S3-P3-E3-A3	4.09	29	26	26	81	Muy buena
Total/Promedio		30.67	28	28	27	83	Muy buena

Fuente: Elaboración propia

La subcuenca del río Serranoyacu nace en las vertientes orientales e la cordillera Oriental. Tiene un recorrido O-E, hasta su desembocadura en la margen derecha el río Mayo cerca al centro poblado Aguas Verdes al cruce con la carretera marginal. (GRSM, s.f.) El fondo el río este compuesto principalmente de material pedregoso y rocoso. Se destaca que la mínima intervención antropogénica gracias a la acción de campesinos organizados en asociaciones para la conservación con fines ecoturísticos.

En esta subcuenca, en su totalidad de los cauces presenta una calidad “muy buena”, puesto que, existe intervención antropogénica es mínima, y por ende no presenta impactos hidrogeomorfológicos, también se debe a la existencia del BPAM.

Figura 32.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Serranoyacu.

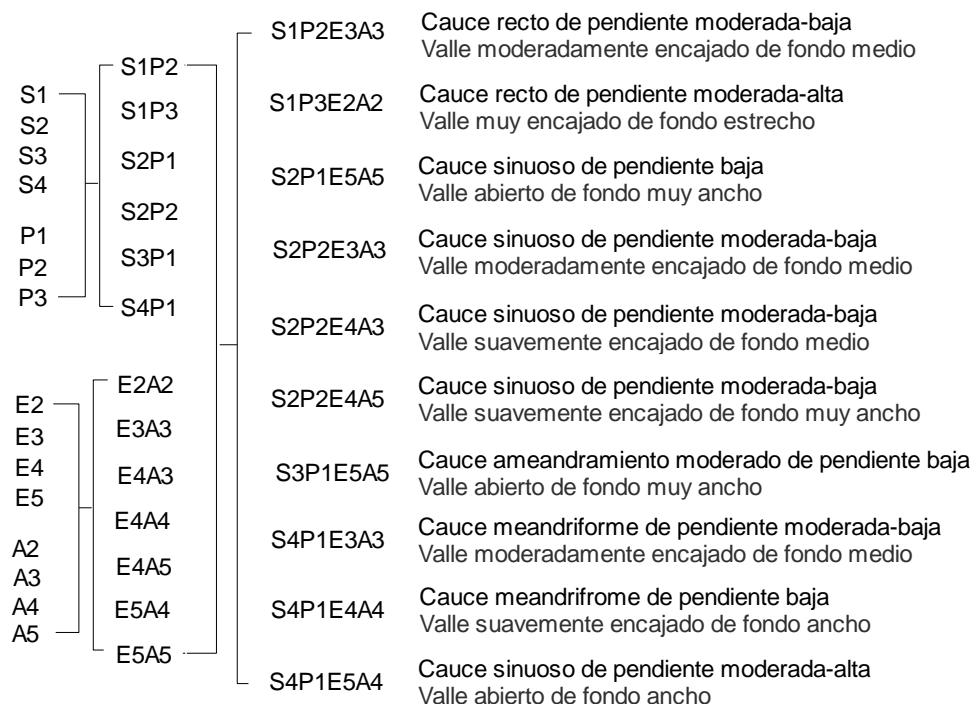
Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Subcuenca del río Avisado

Se identificaron 10 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Avisado, resultado de la combinación de 6 tipos de cauce y 7 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 33, 34 y Tabla 18). Además, la Figura 33(c) enumera los 12 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 33.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Avisado



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Avisado

Geomorfología del valle		Geomorfología del cauce					Total	
		S1-P3	S1-P2	S2-P2	S4-P1	S2-P1		S3-P1
	E2-A2	7.69	-	-	-	-	7.69	
	E3-A3	-	4.62	9.23	4.63	-	18.48	
	E4-A3	-	-	4.61	-	-	4.61	
	E4-A4	-	-	-	4.61	-	4.61	
	E5-A4	-	-	-	10.77	-	10.77	
	E5-A5	-	-	-	-	29.23	16.92	46.15
	E4-A5	-	-	7.69	-	-	7.69	
	Total	7.69	4.62	21.53	20.01	29.2	16.92	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Avisado.

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 34(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 19, Figura 35, 36) ha dado como resultado que un 26.15% y 29.23% de la longitud de los cauces presentan calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente. El 33.85% y 10.77% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente.

Tabla 19.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Avisado.

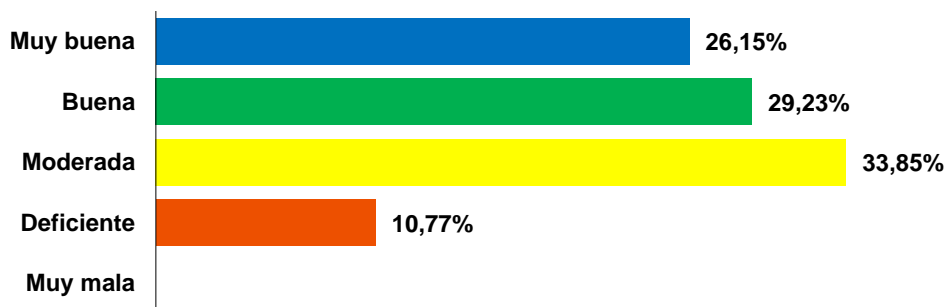
Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E2-A2	5.05	28	29	29	86	Muy buena
SF02	S1-P2-E3-A3	3.03	28	28	29	85	Muy buena
SF03	S2-P2-E4-A3	3.03	28	29	29	86	Muy buena
SF04	S2-P2-E3-A3	6.06	27	28	28	83	Muy buena
SF05	S4-P1-E3-A3	3.03	23	25	24	72	Buena
SF06	S4-P1-E4-A4	3.03	23	24	24	71	Buena
SF07	S4-P1-E5-A4	7.06	23	23	22	68	Buena
SF08	S2-P1-E5-A5	2.02	23	24	23	70	Buena
SF09	S2-P2-E4-A5	5.05	20	20	19	59	Moderada
SF10	S3-P1-E5-A5	7.06	11	11	13	35	Deficiente
SF11	S2-P1-E5-A5	17.16	17	19	18	54	Moderada
SF12	S3-P1-E5-A5	4.04	21	21	21	63	Buena
Total/Promedio		65.59	23	23	23	69	Buena

Fuente: Elaboración propia.

Principal tributario de la margen izquierda, con la existencia de zonas de protección en pantanos y aguajales en estado de conservación natural. (MPM, 2012) Los impactos que le restan puntaje son los SF 06, 09 y 11 alcanzaron una puntuación hidrogeomorfológica “moderada” y el SF 10 alcanzó una puntuación hidrogeomorfológica “deficiente”, debido a la presencia urbanización en los márgenes y llanuras de inundación de los ríos, también por las infraestructuras de vías de acceso que rompe la conectividad transversal de la ribera.

Figura 35.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Avisado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Avisado.

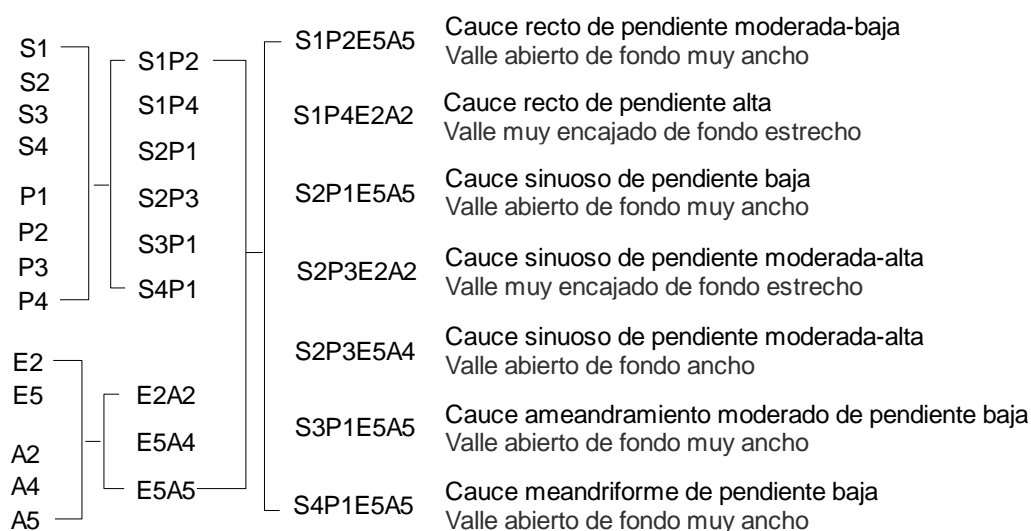
Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Subcuenca del río Yuracyacu

Se identificaron 7 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Yuracyacu, resultado de la combinación de 6 tipos de cauce y 3 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 37, 38 y Tabla 20). Además, la Figura 37(c) enumera los 8 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 37.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Yuracyacu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Yuracyacu.

		Geomorfología del cauce						Total
		S1-P4	S2-P3	S1-P2	S2-P1	S3-P1	S4-P1	
Geomorfología del valle	E2-A2	35.29	11.76	-	-	-	-	47.05
	E5-A4	-	7.06	-	-	-	-	7.06
	E5-A5	-	-	9.41	11.76	17.66	7.06	45.89
Total		35.29	18.82	9.41	11.76	17.66	7.06	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó la Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 38(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 21, Figura 39, 40) ha dado como resultado que un 47.05% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena”. El 22.37% de los cauces solo alcanzan la “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica. Un preocupante 30.58% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Figura 38.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Yuracyacu.

Fuente: Elaboración propia

Figura 39.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Yuracyacu.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Yuracyacu.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P4-E2-A2	15.16	29	28	28	85	Muy buena
SF02	S2-P3-E2-A2	5.05	28	26	25	79	Muy buena
SF03	S2-P3-E5-A4	3.03	13	14	13	40	Deficiente
SF04	S1-P2-E5-A5	4.04	6	7	7	20	Muy mala
SF05	S2-P1-E5-A5	5.05	6	7	7	20	Muy mala
SF06	S3-P1-E5-A5	4.04	6	8	6	20	Muy mala
SF07	S4-P1-E5-A5	3.03	10	11	11	32	Deficiente
SF08	S3-P1-E5-A5	3.55	8	10	10	28	Deficiente
Total/Promedio		42.95	13	14	13	41	Deficiente

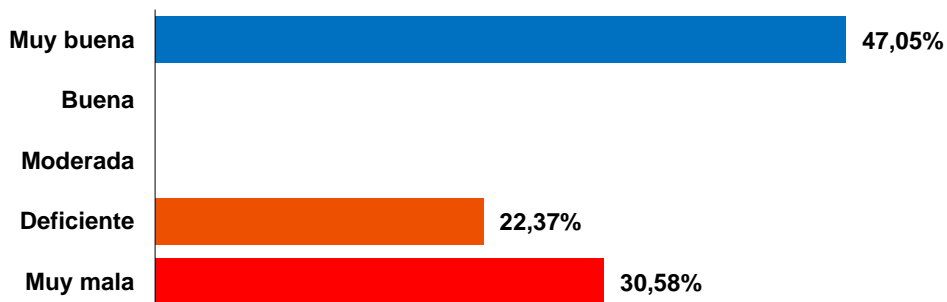
Fuente: Elaboración propia.

La subcuenca el río Yuracyacu tiene su nacimiento en la cordillera oriental, hasta desembocadura en la margen derecha del río Mayo cerca de la ciudad de Yuracyacu, el curso principal del río Yuracyacu es de tipo meándrico. (GRSM, s.f.)

Los sectores funcionales 04, 05 y 06 alcanzaron una puntuación más baja de la subcuenca (20 calidad hidrogeomorfológica muy mala), también los sectores 03, 07 y 08 que alcanzaron una puntuación hidrogeomorfológica “deficiente”, debido principalmente a la deforestación que en la parte baja de la subcuenca. Además, la construcción de numerosos canales de irrigación que derivan hacia las grandes áreas especialmente de sembríos de arroz, la presencia de puentes, la extracción de agregados, y las defensas longitudinales están afectando el cauce y forma del río (Pérez, 2017). Asimismo, la presencia de viviendas edificadas en zonas intangibles denominadas franjas marginales, están expuestas a la erosión e inundación fluvial de niveles ALTO a MUY ALTO. (GRSM, s.f.)

Figura 40.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Yuracyacu.



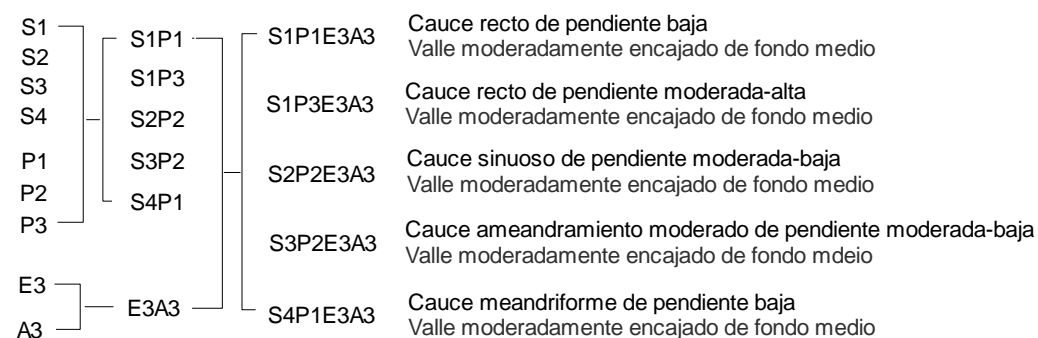
Fuente: Elaboración propia.

4.2.8. Subcuenca del río Yanayacu

Se identificaron 5 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Yanayacu, resultado de la combinación de 5 tipos de cauce y 1 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 41, 42 y Tabla 22). Además, la Figura 41(c) enumera los 6 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 41.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Yanayacu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Yanayacu.

		Geomorfología del cauce				
		S1-P3	S2-P2	S3-P2	S1-P1	S4-P1
Geomorfología del valle	E3-A3	14.28	47.62	14.28	9.53	14.28

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 42(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los SF (Tabla 23, Figura 43) ha dado como resultado que el 100% de la longitud de los cauces presentan una calidad "Muy buena" y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración, para otras subcuencas que presenten las mismas características socioeconómicas, ambientales y morfológicas, tanto dentro como fuera de la cuenca.

Tabla 23.*Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Yanayacu.*

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E3-A3	3.11	29	29	29	87	Muy buena
SF02	S2-P2-E3-A3	8.29	28	29	28	85	Muy buena
SF03	S3-P2-E3-A3	3.11	30	28	25	83	Muy buena
SF04	S1-P1-E3-A3	2.07	29	29	29	87	Muy buena
SF05	S4-P1-E3-A3	3.1	29	29	26	84	Muy buena
SF06	S2-P2-E3-A3	2.07	26	26	27	79	Muy buena
Total/Promedio		21.77	29	28	27	84	Muy buena

Fuente: Elaboración propia.

En esta subcuenca, en su totalidad de los cauces presenta una calidad “muy buena”, forma parte de la cuenca alta del Alto Mayo, y todavía hay presencia de ecosistemas importantes, y grandes extensiones de bosques. A su vez, Más (2013) menciona que las cuencas cubiertas con bosques producen agua de muy buena calidad por la alta capacidad de infiltración de los bosques, también por su bajo nivel de escorrentía superficial y por la escasa presencia de suelos erosionados

Figura 42.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Yanayacu.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43.

Valoración hidrogeomorfológica de cada sector funcional en la subcuenca del río Yanayacu.

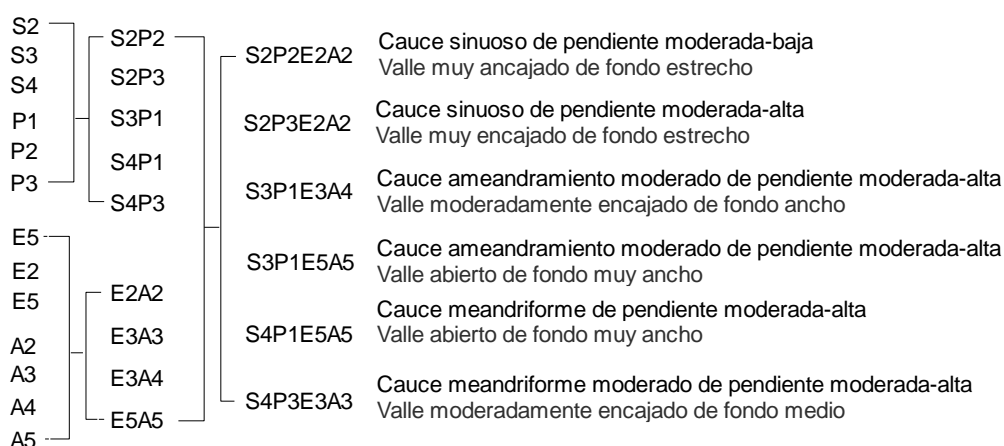
Fuente: Elaboración propia

4.2.9. Subcuenca del río Cachiyacu

Se identificaron 6 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Cachiyacu, resultado de la combinación de 5 tipos de cauce y 4 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 44, 45 y Tabla 24). Además, la Figura 44(c) enumera los 6 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 44.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Cachiyacu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Cachiyacu.

		Geomorfología del cauce					Total
		S2-P3	S4-P3	S2-P2	S3-P1	S4-P1	
Geomorfología del valle	E2-A2	28.57	-	25.00	-	-	53.57
	E3-A3	-	10.72	-	-	-	10.72
	E3-A4	-	-	-	7.14	-	7.14
	E5-A5	-	-	-	10.72	17.86	28.58
Total		28.57	10.72	25.00	17.86	17.86	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 45(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los SF (Tabla 25, Figura 46, 47) ha dado como resultado que un 39.28% de la longitud de los cauces presentan una calidad "Muy buena" y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. Por su parte, el 60.72% de los cauces solo alcanzan la "Moderada" calidad hidrogeomorfológica, lo que sugiere ciertas acciones de restauración.

Figura 45.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Cachiyacu.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Cachiyacu.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad Hidrogeomorfológica
SF01	S2-P3-E2-A2	8.01	28	28	28	84	Muy buena
SF02	S4-P3-E3-A3	3.01	24	28	27	79	Muy buena
SF03	S2-P2-E2-A2	7.01	20	21	16	57	Moderada
SF04	S3-P1-E3-A4	2.00	16	18	16	50	Moderada
SF05	S3-P1-E5-A5	3.01	15	18	16	49	Moderada
SF06	S4-P1-E5-A5	5.01	15	18	15	48	Moderada
Total/Promedio		28.04	20	22	20	61	Buena

Fuente: Elaboración propia.

Los SF 04, 05 y 06 alcanzaron una puntuación “moderada” los impactos que restan puntaje son debido a la presencia de canteras e piedra caliza , que provocan que estos lugares tengan un bajo valor ecológico; dentro de ellas tenemos parte de la concesión de cemento selva en el SF 04, también la presencia de extracciones puntuales de material sólido en el sector funcional 06, que son los principales factores para que estos cauces que conforman la subcuenca del río Tioyacu se encuentren en una calidad moderada.

Figura 46.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Cachiyacu.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Cachiyacu.

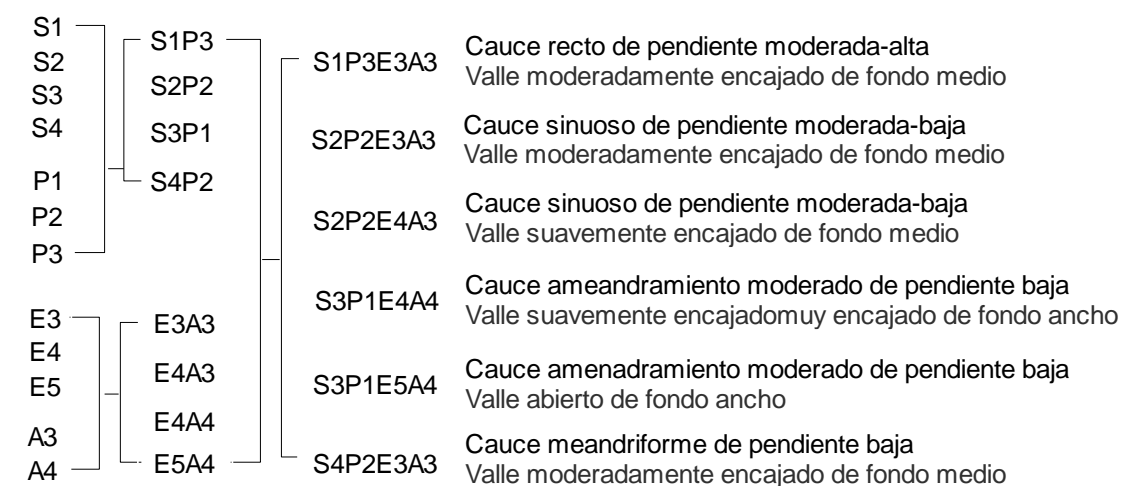
Fuente: Elaboración propia

4.2.10. Subcuenca del río Tioyacu

Se identificaron 6 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Tioyacu, resultado de la combinación de 4 tipos de cauce y 4 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 48, 49 y Tabla 26). Además, la Figura 49(c) enumera los 6 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 48.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Tioyacu



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Tioyacu.

		Geomorfología del cauce				Total
		S1-P3	S2-P2	S4-P2	S3-P1	
Geomorfología del valle	E3-A3	10.00	10.00	30.00	-	50.00
	E4-A3	-	10.00	-	-	10.00
	E4-A4	-	-	-	23.33	23.33
	E5-A4	-	-	-	16.67	16.67
Total		10.00	20.00	30.00	40.00	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 49(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los SF (Tabla 27, Figura 50, 51 y Anexo 4) ha dado como resultado que un 30.00% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Buena” y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. Por su parte, el 70.00% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” calidad hidrogeomorfológica, lo que sugiere ciertas acciones de restauración.

Figura 49.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Tioyacu.

Fuente: Elaboración propia

Figura 50.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Tioyacu.

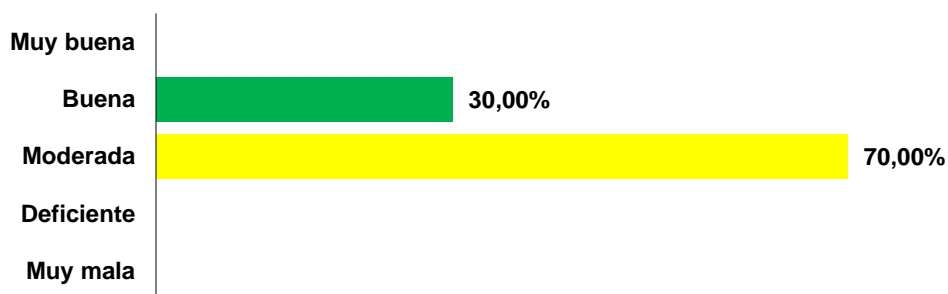
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27.*Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Tioyacu.*

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E3-A3	3.05	23	21	23	67	Buena
SF02	S2-P2-E4-A3	3.05	23	24	24	71	Buena
SF03	S2-P2-E3-A3	3.05	23	24	23	70	Buena
SF04	S4-P2-E3-A3	9.16	20	18	20	58	Moderada
SF05	S3-P1-E4-A4	7.12	20	19	20	59	Moderada
SF06	S3-P1-E5-A4	5.09	21	18	20	59	Moderada
Total/Promedio		30.52	22	21	22	64	Buena

Fuente: Elaboración propia

Los SF 04, 05 y 06 alcanzaron una puntuación de calidad hidrogeomorfológica “moderada” debido a la presencia de concesiones mineras y valles deforestados, que provocan que estos lugares tengan un bajo valor ecológico; debido a la presencia de la concesión de cemento selva en el SF 04, y las actividades de extracciones en el sector funcional 06, que son los principales factores para que la subcuenca del río Tioyacu en la calidad moderada.

Figura 51.*Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Tioyacu.*

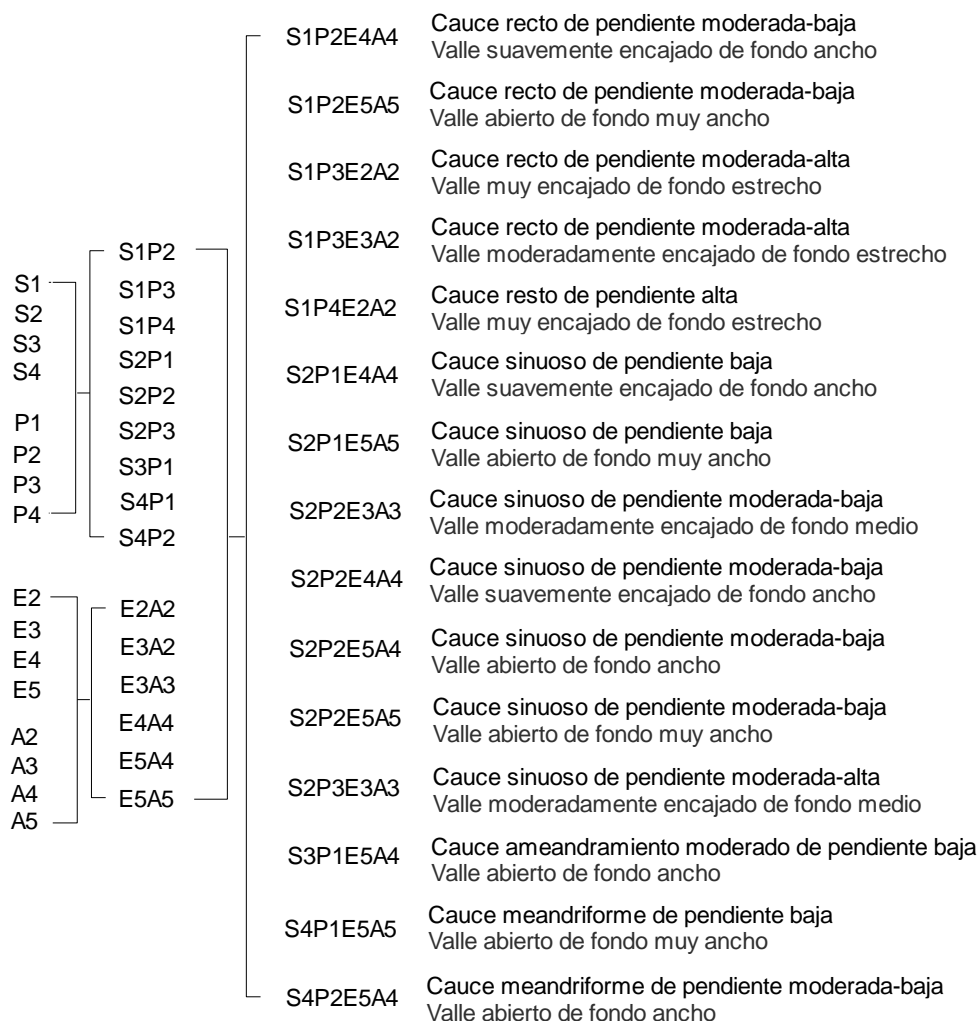
Fuente: Elaboración propia.

4.2.11. Subcuenca del río Huascayacu

Se identificaron 15 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Huascayacu, resultado de la combinación de 9 tipos de cauce y 6 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 52, 53 y Tabla 28). Además, la Figura 53(c) enumera los 27 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 52.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Huascayacu.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Huascayacu.

		Geomorfología del cauce									Total
		S1- P3	S2- P2	S1- P4	S2- P3	S2- P1	S4- P1	S3- P1	S4- P2	S1- P2	
Geomorfología del valle	E2-A2	19.9 5	-	4.50	-	-	-	-	-	-	24.45
	E3-A3	-	1.93	-	3.21	-	-	-	-	-	5.14
	E5-A4	-	7.72	-	-	-	-	-	2.58	-	10.30
	E5-A5	-	4.62	-	-	8.43	17.04	10.90	-	1.29	42.28
	E3-A2	3.99	-	-	-	-	-	-	-	-	3.99
	E4-A4	-	11.26	-	-	1.29	-	-	-	1.29	13.84
Total		23.9 4	25.53	4.50	3.21	9.72	17.04	10.9	2.58	2.58	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Huascayacu.

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 54(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 29, Figura 54, 55) ha dado como resultado que un 36.38% y 26.61% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración.

Tabla 29.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Huascayacu.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E2-A2	11.94	29	29	29	87	Muy buena
SF02	S2-P2-E4-A4	6.17	29	28	29	86	Muy buena
SF03	S2-P2-E5-A5	4.11	28	29	29	86	Muy buena
SF04	S1-P4-E2-A2	7.05	29	28	28	85	Muy buena
SF05	S2-P3-E3-A3	5.04	25	22	23	70	Buena
SF06	S2-P2-E5-A4	6.04	18	18	18	54	Moderada
SF07	S1-P2-E4-A4	2.01	26	26	29	81	Muy buena
SF08	S1-P2-E5-A5	2.01	23	22	23	68	Buena
SF09	S2-P1-E5-A5	4.11	28	28	28	84	Muy buena
SF10	S4-P1-E5-A5	11.93	28	28	26	82	Muy buena
SF11	S1-P3-E2-A2	15.14	24	23	24	71	Buena
SF12	S2-P2-E5-A4	6.06	18	18	19	55	Moderada
SF13	S2-P1-E4-A4	2.02	21	18	19	58	Moderada
SF14	S2-P1-E5-A5	9.08	20	21	20	61	Buena
SF15	S1-P3-E2-A2	4.17	24	21	22	67	Buena
SF16	S1-P3-E3-A2	6.25	22	19	22	63	Buena
SF17	S2-P2-E4-A4	11.46	13	15	13	41	Deficiente
SF18	S2-P2-E5-A5	3.12	14	15	14	43	Moderada
SF19	S3-P1-E5-A5	4.98	25	25	25	75	Muy buena
SF20	S3-P1-E5-A5	2.01	25	25	25	75	Muy buena
SF21	S4-P1-E5-A5	2.66	28	27	26	81	Muy buena
SF22	S3-P1-E5-A5	4.04	18	17	20	55	Moderada
SF23	S2-P2-E3-A3	3.03	15	16	18	49	Moderada
SF24	S4-P1-E5-A5	8.07	13	13	13	39	Deficiente
SF25	S4-P2-E5-A4	4.04	6	7	7	20	Muy mala
SF26	S4-P1-E5-A5	4.04	13	14	13	40	Deficiente
SF27	S3-P1-E5-A5	6.06	16	16	14	46	Moderada
Total/Promedio		156.63	21	21	21	64	Buena

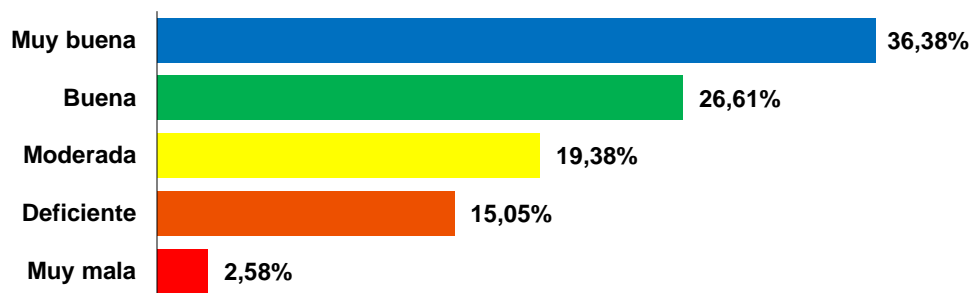
Fuente: Elaboración propia.

El 19.38% y 15.05% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 2.58% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

El SF 25 alcanzó la puntuación más baja de la subcuenca (20 calidad hidrogeomorfológica muy mala), por la existencia de vías de acceso que interrumpen la conexión de las riberas de manera natural y afectan a la remoción de sedimentos, por otro lado, la deforestación debido a los sembríos permanentes.

Figura 54.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Huascayacu.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Huascayacu.

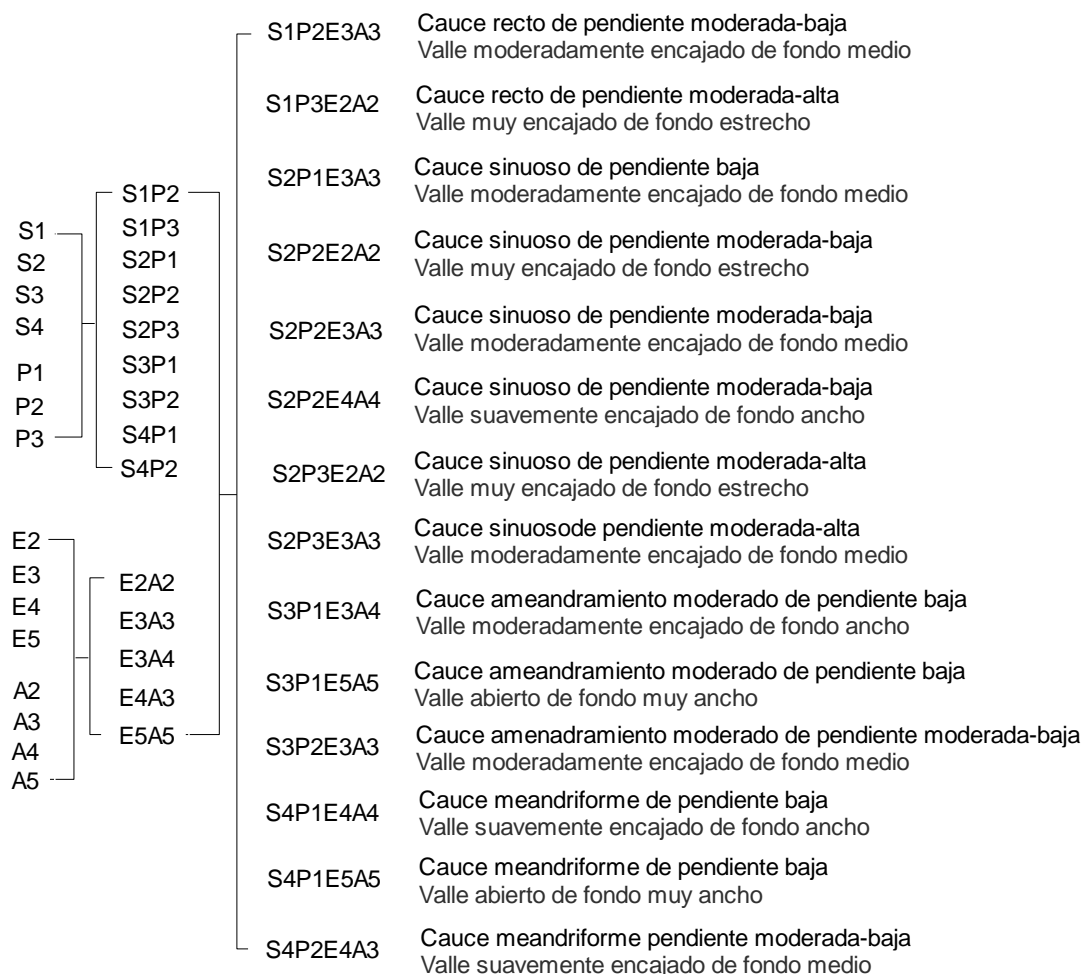
Fuente: Elaboración propia.

4.2.12. Subcuenca del río Indoche

Se identificaron 14 tipos de cursos fluviales en la subcuenca del río Indoche, resultado de la combinación de 9 tipos de cauce y 5 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 56, 57 y Tabla 30). Además, la Figura 57(c) enumera los 18 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 56.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca del río Indoche.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca del río Indoche.

Geomorfología del valle		Geomorfología del cauce									Total
		S2-P3	S1-P3	S2-P2	S1-P2	S3-P2	S3-P1	S2-P1	S4-P2	S4-P1	
	E2-A2	9.92	2.71	4.51	-	-	-	-	-	-	17.14
	E3-A3	5.52	-	4.80	4.51	18.25	-	2.76	-	-	35.84
	E3-A4	-	-	-	-	-	4.51	-	-	-	4.51
	E4-A3	-	-	-	-	-	-	-	6.44	-	6.44
	E5-A5	-	-	-	-	-	1.80	-	-	28.86	30.66
	E4-A4	-	-	2.71	-	-	-	-	-	2.71	5.42
	Total	15.44	2.71	12.02	4.51	18.25	6.31	2.76	6.44	31.57	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca del río Indoche.

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 57(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 31, Figura 58, 59) ha dado como resultado que un 12.01% y 15.33% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. El 11.83% y 13.74% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 47.08% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Tabla 31.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca del río Indoche.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S2-P3-E2-A2	5.06	29	29	29	87	Muy buena
SF02	S1-P3-E2-A2	3.03	28	29	28	85	Muy buena
SF03	S2-P2-E3-A3	5.38	24	26	26	76	Muy buena
SF04	S2-P3-E2-A2	6.07	24	25	23	72	Buena
SF05	S2-P2-E2-A2	5.06	22	21	23	66	Buena
SF06	S1-P2-E3-A3	5.06	16	18	18	52	Moderada
SF07	S3-P2-E3-A3	8.09	7	7	6	20	Muy mala
SF08	S3-P1-E3-A4	5.06	6	7	7	20	Muy mala
SF09	S2-P3-E3-A3	6.19	16	18	18	52	Moderada
SF10	S3-P2-E3-A3	12.38	13	13	15	41	Deficiente
SF11	S2-P1-E3-A3	3.09	6	7	7	20	Muy mala
SF12	S4-P2-E4-A3	7.22	6	7	7	20	Muy mala
SF13	S3-P1-E5-A5	2.02	17	18	21	56	Moderada
SF14	S4-P1-E5-A5	18.20	7	7	6	20	Muy mala
SF15	S2-P2-E4-A4	3.03	13	13	15	41	Deficiente
SF16	S4-P1-E5-A5	3.03	21	20	21	62	Buena
SF17	S4-P1-E4-A4	3.03	21	19	20	60	Buena
SF18	S4-P1-E5-A5	11.12	6	7	7	20	Muy mala

Fuente: Elaboración propia.

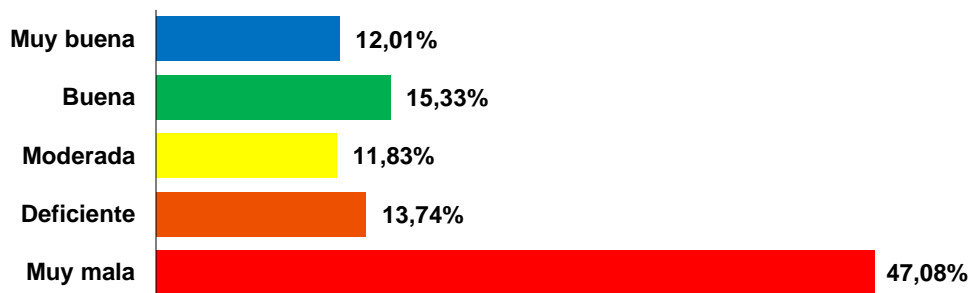
El río Indoche abarca los distritos de Yantalo, Calzada. Moyobamba, Japelacio, Soritor, en la provincia de Moyobamba. Los SF 07, 08, 11,12 y 14 alcanzaron la puntuación más baja de la subcuenca, a causa de la presencia de vías de comunicación que se encuentran de manera paralela al río, defensas ribereñas, embalses, derivaciones, vertidos, cambios de usos del suelo, y

procesos de urbanización que se acentúa de manera invasiva en la ribera del sector funcional. Por consiguiente, la deforestación va en aumento. Gonzales y Llanos (2015) indican que la subcuenca del río Indoche es una las más deforestadas. Factores repercuten de manera negativa el funcionamiento hidrológico natural y alteran todos los procesos geomorfológicos aguas abajo de las mismas.

El río Indoche presenta inundaciones periódicas relacionadas a las épocas de lluvias, del mismo modo la ocurrencia de los procesos de erosión lateral, deslizamientos y derrumbes, afectando a viviendas próximas, terrenos de cultivo y las vías de acceso. (MPM, 2012) Asimismo, la disminución del caudal cambia la potencia y competencia de la corriente y con ello se modifican los procesos de erosión, transporte y sedimentación, adaptándose a la nueva situación la morfología y las dimensiones tanto del cauce como de las riberas. (Ollero y Romero, 2007).

Figura 58.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca del río Indoche.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 59.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca del río Indoche.

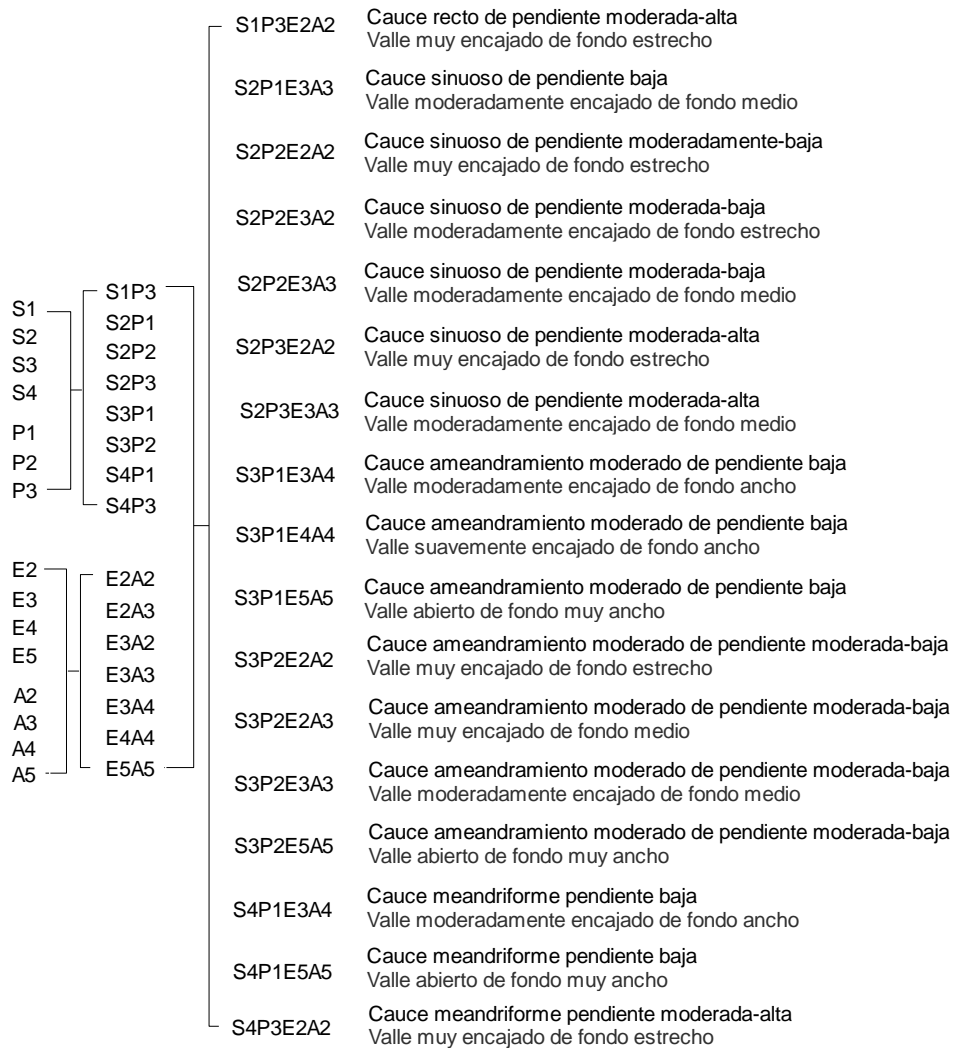
Fuente: Elaboración propia

4.2.13. Subcuenca alta del Alto Mayo

Se identificaron 17 tipos de cursos fluviales en la subcuenca alta del Alto Mayo, resultado de la combinación de 8 tipos de cauce y 7 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 60, 61 y Tabla 32). Además, la Figura 61(c) enumera los 22 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 60.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca alta del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 61.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca alta del Alto Mayo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca alta del Alto Mayo.

		Geomorfología del cauce								Total I
		S1-P3	S2-P1	S2-P2	S2-P3	S3-P1	S3-P2	S4-P1	S4-P3	
Geomorfología del valle	E2-A2	7.76	-	8.77	8.35	-	6.07	-	4.56	35.5 1
	E2-A3	-	-	-	-	-	4.55	-	-	4.55
	E3-A2	-	-	3.03	-	-	-	-	-	3.03
	E3-A3	-	4.55	2.28	3.80	-	7.58	-	-	18.2 1
	E3-A4	-	-	-	-	3.79	-	3.98	-	7.77
	E4-A4	-	-	-	-	6.66	-	-	-	6.66
	E5-A5	-	-	-	-	3.03	7.58	13.66	-	24.2 7
Total		7.76	4.55	14.08	12.15	13.48	25.78	17.64	4.56	100. 00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado. La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales ha dado como resultado que un 54.30% y 11.38% de la longitud de los cauces presentan una calidad "Muy buena" y "Buena", respectivamente. El 6.83% y 26.55% de los cauces solo alcanzan la "Moderada" y "Deficiente" calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 0.94% de los cauces presenta una calidad "Muy mala", lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Tabla 33.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca alta del Alto Mayo.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S1-P3-E2-A2	4.23	30	30	28	88	Muy buena
SF02	S2-P3-E2-A2	9.03	29	28	29	86	Muy buena
SF03	S2-P2-E2-A2	4.57	29	28	29	86	Muy buena
SF04	S2-P2-E3-A2	4.01	27	30	28	85	Muy buena
SF05	S3-P2-E2-A2	8.02	9	11	12	32	Deficiente
SF06	S2-P2-E2-A2	4.01	28	26	27	81	Muy buena
SF07	S2-P1-E3-A3	6.02	26	25	25	76	Muy buena
SF08	S3-P2-E2-A3	6.02	26	26	25	77	Muy buena
SF09	S3-P2-E3-A3	10.03	25	24	25	74	Buena
SF10	S3-P1-E4-A4	8.81	26	27	27	80	Muy buena
SF11	S3-P1-E3-A4	5.01	23	24	23	70	Buena
SF12	S3-P2-E5-A5	10.03	9	13	13	35	Deficiente
SF13	S3-P1-E5-A5	4.01	15	14	13	42	Moderada
SF14	S2-P3-E3-A3	5.02	29	30	28	87	Muy buena
SF15	S1-P3-E2-A2	6.02	29	30	28	87	Muy buena
SF16	S2-P2-E3-A3	3.01	29	30	28	87	Muy buena
SF17	S2-P2-E2-A2	3.01	29	30	28	87	Muy buena
SF18	S2-P3-E2-A2	2.01	27	29	27	83	Muy buena
SF19	S4-P3-E2-A2	6.02	27	27	27	81	Muy buena
SF20	S4-P1-E5-A5	5.02	17	16	13	46	Moderada
SF21	S4-P1-E5-A5	13.04	13	13	14	40	Deficiente
SF22	S4-P1-E3-A4	4.01	11	11	13	35	Deficiente
SF22	S4-P1-E3-A4	1.25	7	7	6	20	Muy mala
Total/Promedio		132.22	23	23	22	68	Buena

Fuente: Elaboración propia.

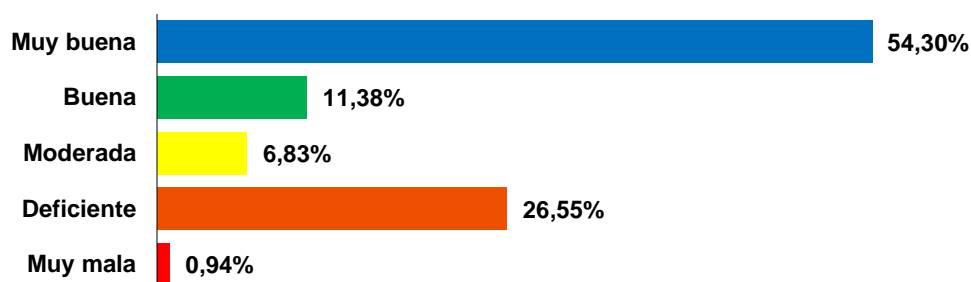
Figura 62.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca alta del Alto Mayo.

Fuente: Elaboración propia

Figura 63.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca alta del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Las zonas de la subcuenca presentan una fisiografía montañosa, y que alberga una diversidad de ecosistemas que lo hacen particularmente especial para el desarrollo de importantes especies en fauna y flora, y contribuye a regular el ciclo hidrológico de la misma. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2009) Además la zona está poco poblada, la accesibilidad en el sector es bastante dificultosa por la ausencia carretera. (MPM, 2007)

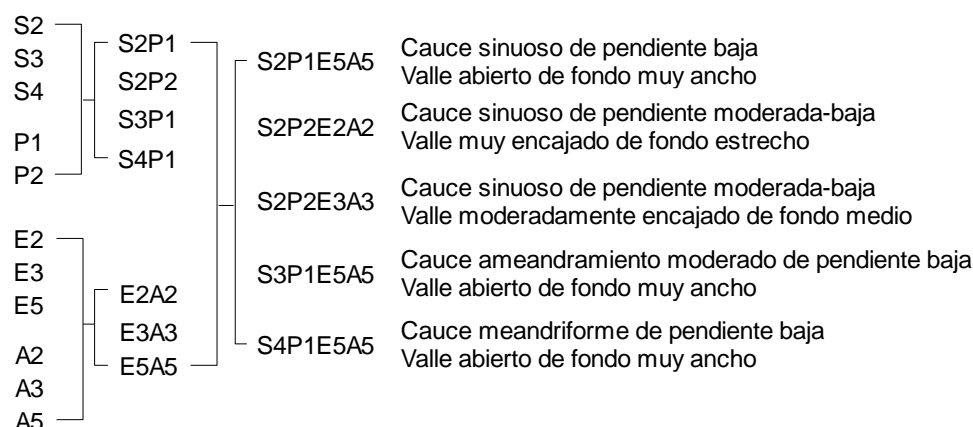
No obstante, también se presentan diferentes impactos negativos, especialmente en el sector funcional 22 que alcanzó la puntuación más baja de la subcuenca (20 calidad hidrogeomorfológica muy mala), debido principalmente a la agricultura (sembríos de arroz y café) y la urbanización ha impulsado a la deforestación, la erosión de suelos y la pérdida de la biodiversidad, y que, por lo tanto, generan problemas en la disminución del caudal.

4.2.14. Subcuenca media del Alto Mayo

Se identificaron 5 tipos de cursos fluviales en la subcuenca media del Alto Mayo, resultado de la combinación de 4 tipos de cauce y 3 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 64, 65 y Tabla 34). Además, la Figura 65(c) enumera los 13 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 64.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca media del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca media del Alto Mayo.

		Geomorfología del cauce				Total
		S2-P1	S2-P2	S3-P1	S4-P1	
Geomorfología del valle	E2-A2	-	2.67	-	-	2.67
	E3-A3	-	1.50	-	-	1.50
	E5-A5	18.00	-	9.75	68.08	95.83
Total		18.00	4.17	9.75	68.08	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 65(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 35, Figura 66, 67) ha dado como resultado que un 12.00% de la longitud de los cauces presenta una calidad “Buena”, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. El 10.50% y 26.67% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 50.82% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”.

Figura 65.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca media del Alto Mayo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca media del Alto Mayo.

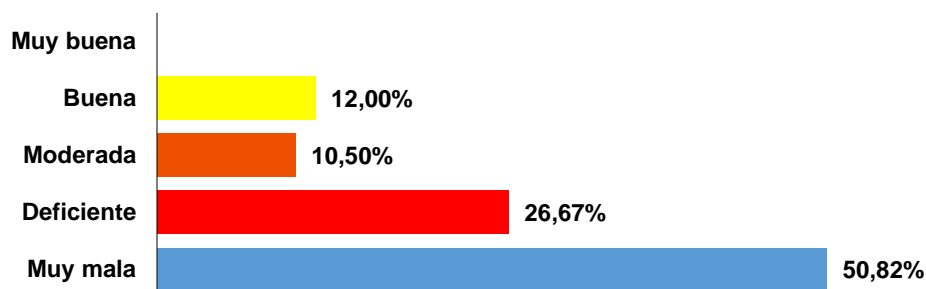
Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S4-P1-E5-A5	52.91	7	7	6	20	Muy mala
SF02	S3-P1-E5-A5	13.04	8	10	10	28	Deficiente
SF03	S4-P1-E5-A5	14.04	21	19	21	61	Buena
SF04	S2-P1-E5-A5	2.01	23	19	16	58	Moderada
SF05	S4-P1-E5-A5	4.01	15	17	18	50	Moderada
SF06	S2-P1-E5-A5	2.01	21	20	21	62	Buena
SF07	S4-P1-E5-A5	8.02	14	16	14	44	Moderada
SF08	S2-P1-E5-A5	5.01	13	12	11	36	Deficiente
SF09	S4-P1-E5-A5	2.01	13	14	13	40	Deficiente
SF10	S2-P1-E5-A5	15.04	7	7	6	20	Muy mala
SF11	S4-P1-E5-A5	10.03	11	13	14	38	Deficiente
SF12	S2-P2-E3-A3	2.01	10	11	8	29	Deficiente
SF13	S2-P2-E2-A2	3.57	13	14	11	38	Deficiente

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores funcionales 01 y 10 alcanzaron la puntuación más baja de la subcuenca (20 calidad hidrogeomorfológica muy mala), Los impactos más importantes son los procedentes de los puentes, extracción puntual de material sólido para reparaciones en carreteras, las defensas longitudinales y la invasión agrícola del corredor ribereño y de la reducida llanura de inundación. También en los sectores funcionales ubicados en los distritos de Yuracyacu y San Fernando donde la vegetación de las riberas y de la llanura e inundación ha desaparecido como tal, los márgenes están canalizadas que se derivan hacia las grandes áreas de sembríos de arroz, que además utilizan una serie de agroquímicos cuyos residuos son vertidos a los cuerpos de agua.

Figura 66.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca media del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca media del Alto Mayo.

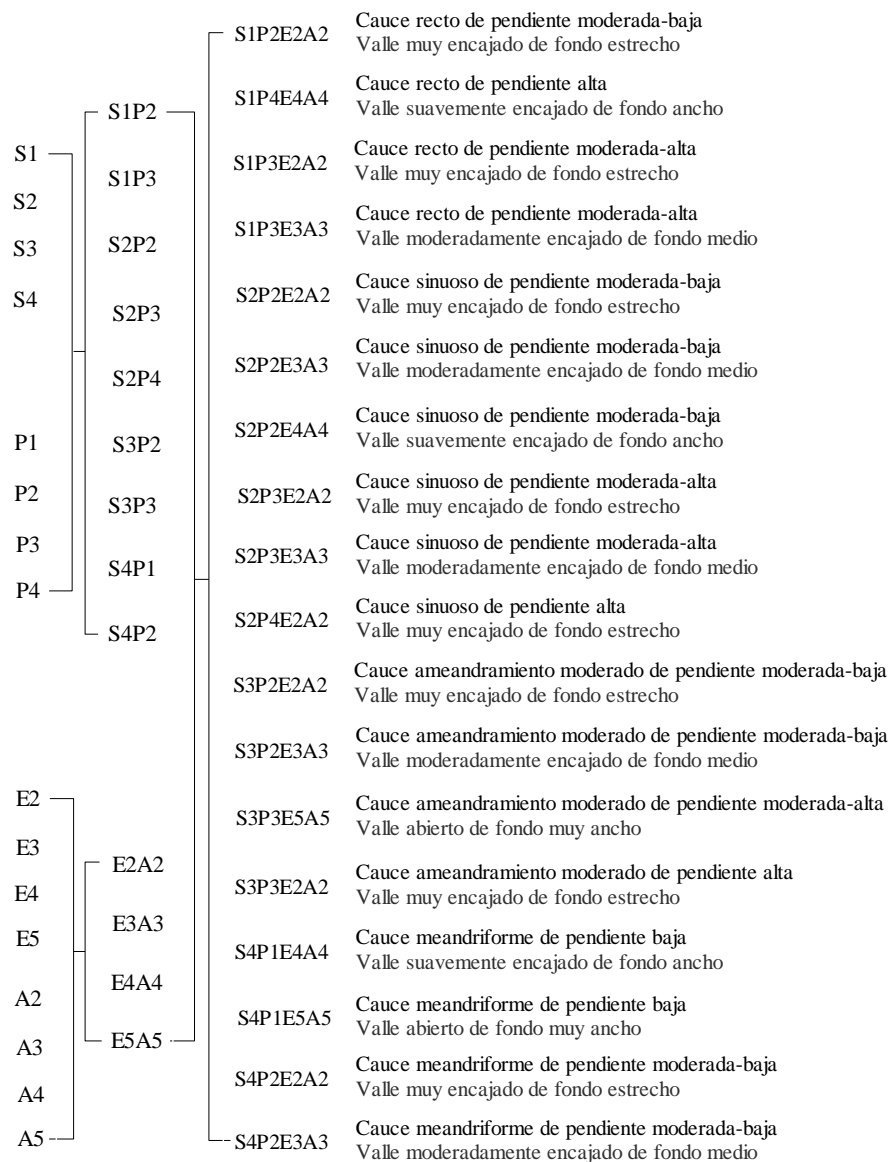
Fuente: Elaboración propia.

4.2.15. Subcuenca baja del Alto Mayo

Se identificaron 18 tipos de cursos fluviales en la subcuenca baja del Alto Mayo, resultado de la combinación de 9 tipos de cauce y 4 tipos de valle, caracterizados en las fases de tramificación y tipificación fluvial (Figura 68, 69 y Tabla 36). Además, la Figura 69(c) enumera los 39 sectores funcionales evaluados de la subcuenca.

Figura 68.

Proceso de clasificación fluvial en la subcuenca baja del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69.

Clasificación fluvial y sectores funcionales en la subcuenca baja del Alto Mayo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36.

Ocupación (%) de los tipos de cauce y valle en la subcuenca baja del Alto Mayo.

		Geomorfología del cauce								Total	
		S1-P2	S1-P3	S2-P2	S2-P3	S2-P4	S3-P2	S3-P3	S4-P1		S4-P2
Geomorfología del valle	E2-A2	1.54	5.38	11.68	25.55	3.14	0.77	6.14	-	2.39	56.6
	E3-A3	-	4.33	14.80	12.14	-	3.84	-	-	0.77	35.9
	E4-A4	0.77	-	1.59	-	-	-	-	0.77	-	3.13
	E5-A5	-	-	-	-	-	0.77	-	4.62	-	5.39
	Total	2.31	9.71	28.1	37.7	3.14	5.38	6.14	5.39	3.16	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó una Ficha IHG por cada Sector Funcional (SF) delimitado (Figura 69(c)). La valoración hidrogeomorfológica de los sectores funcionales (Tabla 37, Figura 70, 71) ha dado como resultado que un 19.70% y 8.19% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente, y que, por tanto, podrían ser considerados tramos condición de referencia para la restauración. El 36.34% y 31.79% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 3.99% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”, lo que sugiere acciones de restauración apremiante.

Tabla 37.

Valoración hidrogeomorfológica de la subcuenca baja del Alto Mayo.

Sector funcional	Tipología	Longitud (km)	Calidad funcional	Calidad del cauce	Calidad de ribera	IHG	Calidad hidrogeomorfológica
SF01	S2-P3-E2-A2	2.45	14	11	13	38	Deficiente
SF02	S2-P2-E3-A3	3.01	15	14	13	42	Moderada
SF03	S2-P2-E2-A2	6.02	14	13	14	41	Deficiente
SF04	S2-P2-E3-A3	7.02	12	14	14	40	Deficiente
SF05	S2-P2-E2-A2	3.01	20	16	13	49	Moderada
SF06	S2-P3-E2-A2	4.63	21	22	22	65	Buena
SF07	S1-P3-E3-A3	5.70	28	28	28	84	Muy buena
SF08	S1-P3-E2-A2	7.08	28	28	28	84	Muy buena
SF09	S2-P3-E2-A2	8.02	15	15	15	45	Moderada
SF10	S2-P2-E2-A2	6.34	15	16	13	44	Moderada
SF11	S2-P4-E2-A2	2.03	28	28	29	85	Muy buena
SF12	S2-P3-E2-A2	2.03	26	25	26	77	Muy buena
SF13	S2-P3-E3-A3	1.01	23	22	22	67	Buena
SF14	S2-P3-E2-A2	4.05	19	15	17	51	Moderada
SF15	S2-P3-E3-A3	1.01	13	13	13	39	Deficiente
SF16	S2-P3-E2-A2	1.01	13	10	12	35	Deficiente
SF17	S2-P3-E3-A3	1.56	11	10	11	32	Deficiente

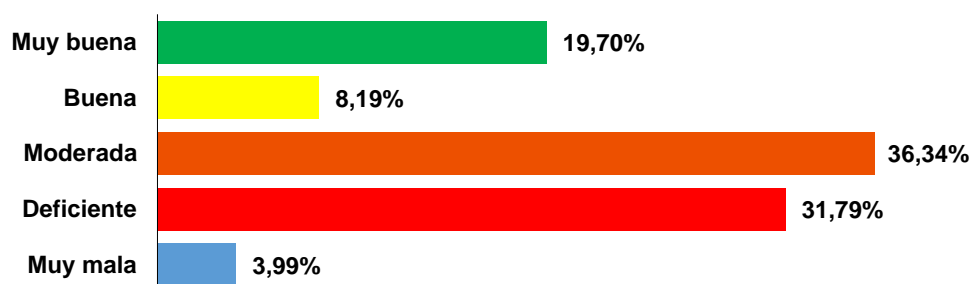
SF18	S2-P3-E2-A2	1.01	13	14	13	40	Deficiente
SF19	S1-P2-E2-A2	2.03	17	14	15	46	Moderada
SF20	S1-P2-E4-A4	1.01	14	13	16	43	Moderada
SF21	S4-P1-E4-A4	1.01	13	15	14	42	Moderada
SF22	S4-P1-E5-A5	6.08	13	14	14	41	Deficiente
SF23	S3-P2-E5-A5	1.01	11	13	10	34	Deficiente
SF24	S3-P2-E3-A3	2.03	13	15	14	42	Moderada
SF25	S3-P2-E2-A2	1.01	9	10	11	30	Deficiente
SF26	S4-P2-E3-A3	1.01	16	15	14	45	Moderada
SF27	S4-P2-E2-A2	3.14	14	13	14	41	Deficiente
SF28	S2-P3-E3-A3	5.05	27	27	27	81	Muy buena
SF29	S2-P3-E2-A2	4.04	26	28	25	79	Muy buena
SF30	S3-P2-E3-A3	3.03	19	21	22	62	Buena
SF31	S3-P3-E2-A2	5.05	20	20	17	57	Moderada
SF32	S2-P3-E2-A2	5.05	15	13	14	42	Moderada
SF33	S3-P3-E2-A2	3.03	15	16	15	46	Moderada
SF34	S2-P4-E2-A2	2.10	22	19	19	60	Buena
SF35	S2-P3-E3-A3	3.15	17	17	19	53	Moderada
SF36	S2-P2-E3-A3	3.15	7	6	7	20	Muy mala
SF37	S2-P2-E4-A4	2.10	7	7	6	20	Muy mala
SF38	S2-P2-E3-A3	6.29	13	13	14	40	Deficiente
SF39	S2-P3-E3-A3	4.19	11	10	11	32	Deficiente
Total/Promedio		131.55	17	16	16	49	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

La subcuenca baja del Alto Mayo, se caracteriza por presentar estrecho valle intermontañoso sobre el cual se asientan las provincias de Moyobamba y Lamas. Los resultados de la valoración la calidad el sistema fluvial respecto a los sectores funcionales 36 y 37 se muestran con la puntuación más baja de la subcuenca (20 calidad hidrogeomorfológica muy mala), principalmente por presencia de red vial, expansión urbana, y la invasión agrícola en el corredor ribereño y de la reducida llanura de inundación. En general, las riberas están modificadas, pero mantienen un bajo valor de naturalidad, persistiendo un corredor ribereño discontinuo a lo largo de los cursos fluviales, siendo muy modificado en los entornos urbanos.

Figura 70.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la subcuenca baja del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 71.

Valoración hidrogeomorfológica de cada SF en la subcuenca baja del Alto Mayo.

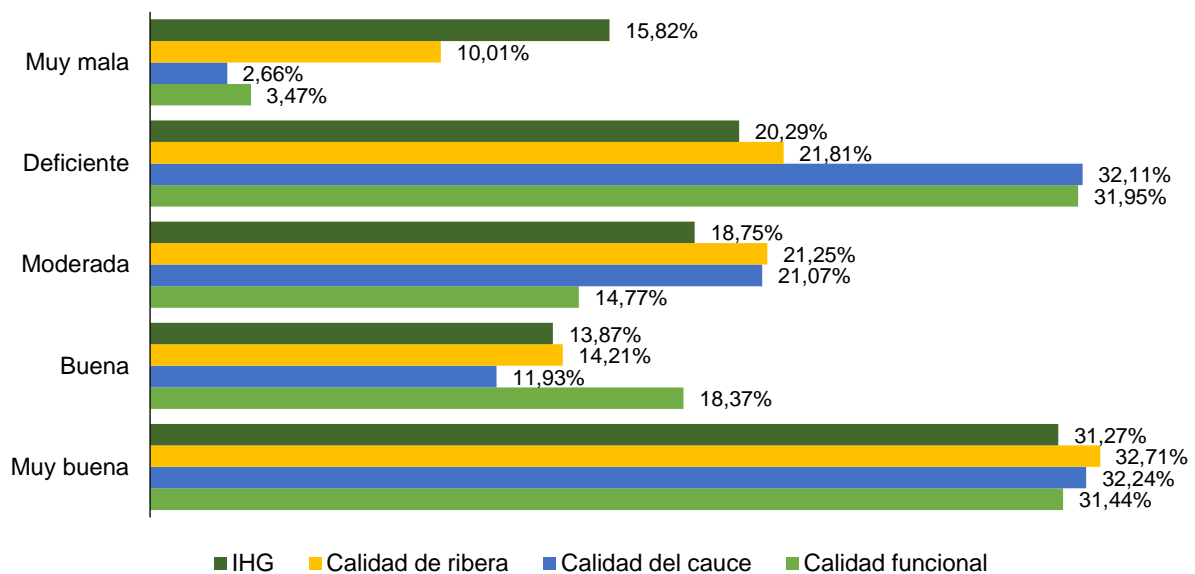
Fuente: Elaboración propia.

4.2.16. Cuenca del Alto Mayo

En conjunto de todas las subcuencas, se identificaron 49 tipos de cursos fluviales en la Cuenca del Alto Mayo, resultado de la combinación de 14 tipos de cauce y 10 tipos de valle. Se aplicaron Fichas IHG a 207 Sectores Funcionales (SF). La valoración hidrogeomorfológica de 1257.52 km de cauce indica que un 31.27% y 13.87% de la longitud de los cauces presentan una calidad “Muy buena” y “Buena”, respectivamente. El 18.75% y 20.29% de los cauces solo alcanzan la “Moderada” y “Deficiente” calidad hidrogeomorfológica, respectivamente. Un preocupante 15.82% de los cauces presenta una calidad “Muy mala”.

Figura 72.

Valoración hidrogeomorfológica (%) de la Cuenca del Alto Mayo



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS)

Los procesos naturales y antropogénicos relacionados principalmente con las actividades agrícolas, la deforestación construcción de carreteras, urbanización, zanjas de drenaje y caminos de arrastre, así como la modificación del cauce de la corriente, influyen en el sistema general de conducción en una cuenca hidrográfica (FAO, 2009; Kumar & Rathod, 2016; Lui et al., 2017; Vrebos *et al.*, 2017; Chowdhury, 2018) de la misma manera, (Kusimi, 2008; Zhao et al., 2013; Wang et al., 2016) afirman que las alteraciones de la cobertura y uso de suelo están primordialmente influenciadas por actividades humanas más que por factores naturales.

Por consiguiente, la degradación de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo se relacionó con las proporciones de usos de la tierra antropogénicos en tierras agrícolas y urbanas, lo que concuerda por lo descrito con (Ibisat, et al, 2016; Barboza et al., 2018; Rojas, 2018) quienes manifiestan que la calidad hidrogeomorfológica de un sector funcional está estrechamente vinculada a las presiones e impactos que se realizan en el propio cauce.

Los valores obtenidos de la calidad hidrogeomorfológica que presentan “Buena” a “Muy Buena” están principalmente asociadas a las clases de CUS “Bosques” y “Herbazal/Pajonal”, debido a su inaccesibilidad y las formaciones rocosas que sobresalen en dichos tramos y por consiguiente los valores de intervención antropogénica son mínimos. También, estos resultados están influenciados por la conservación de bosques dentro del Área Natural de Protección de Bosques del Alto Mayo, considerados las principales fuentes reguladoras del ciclo hidrológico y que aseguran un flujo continuo de agua (Pérez, 2017). Puesto que es de importancia para los ríos el buen manejo de las cabeceras porque permite regular y controlar la cantidad y estacionalidad del agua que escurre por los ríos y manantiales, la filtración de sedimentos y la estabilidad de las orillas. Además, se protegen a los suelos de ser erosionados y evitan la pérdida de la fertilidad en las tierras agrícolas, especialmente aquellas que están en áreas de ladera (Vargas, 2015; Trujillo, 2018). Los procesos geomorfológicos ocurren de manera natural en el sistema fluvial, cauce y ribera; en consecuencia, el sistema fluvial realiza sus funciones de erosión, transporte y sedimentación de forma natural (Ollero et al., 2009 y Rojas, 2018).

La calidad “Muy mala”, “Deficiente” y “Moderada” se presentan en cauces que atraviesan “Pastos y cultivos” y “Áreas artificializados”, se debe principalmente a la intervención antropogénica mediante la apertura de vías de acceso, la presencia de canalizaciones, defensas ribereñas, puntos de extracciones, puentes, vados, urbanización, expansión y ocupación urbana, construcciones puntuales en las orillas y expansión de áreas productivas teniendo un gran impacto sobre su morfodinámica natural directamente sobre el cauce (Ollero et al., 2008; Ballarín y Rodríguez, 2013; Barboza et al., 2017)

Por otra parte, la deforestación ribereña a lo largo de la cuenca, a causa de la urbanización y áreas de cultivo, aumenta la erosión de los márgenes, lo que conduce al ensanchamiento creciente del cauce y a su migración, a su vez también aportan a que se desarrollen en gran magnitud desequilibrios en la dinámica y morfología natural de los sistemas fluviales. (Conesa et al., 2012; Conesa y Pérez, 2014).

La urbanización promueve el aumento del área impermeabilizada, así también la existencia de carreteras, causan modificaciones en el drenaje natural y a su vez contribuye a la retención de sedimentos, ya que sufre grandes modificaciones puntuales en su trazado (De Souza y Pompeo, 2016; Barboza *et al.*, 2018). Así mismo existen viviendas establecidas en zonas intangibles denominadas fajas marginales, las mismas que están expuestas a que se incrementen áreas de riesgo de erosión e inundación fluvial de niveles ALTO a MUY ALTO (Oficina Regional de Seguridad y Defensa Nacional [ORSDENA], 2018).

Las infraestructuras transversales, que se encuentran en el cauce que hacen la función de una barrera, rompiendo la continuidad longitudinal del cauce y como afirma Ollero et al. (2008), alteran la naturalidad del lecho y los procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales y que a su vez también pueden modificar la granulometría de los materiales depositados.

Además, en la cuenca del Alto Mayo es común las extracciones de material de cantera, así como también el desarrollo de actividades en las fajas marginales, ocasionando que los recursos hídricos se encuentren aún más vulnerables (Biocuenas, 2014). Otro punto importante es la existencia de sistemas de riego (captación, desvío y almacenamiento) con fines del aprovechamiento, actividades que afectan directamente el ciclo hidrológico de la zona y su área

de influencia, así mismo la ejecución de las obras de riego altera el caudal del agua circulante tanto en las fuentes de las aguas superficiales como en las subterráneas (Garces y Guerra, 1999).

En síntesis (Ibisat, et al., 2016; Barboza et al., 2018; Rojas, 2018) afirman que la calidad va disminuyendo en las microcuencas bajas con el incremento de los impactos directos en el cauce, mediante cortas, defensas y ocupación de las llanuras de inundación con usos del suelo artificiales y agrícolas, concluyendo que estas acciones impactan negativamente en el sistema fluvial. El deterioro hidrogeomorfológico en la parte media y baja de la cuenca que; muestran un escenario para poner en práctica posibles soluciones desde la planificación estratégica adaptativa del territorio hasta la restauración de los ecosistemas (Parra et al., 2015; Rojas, 2018).

4.3.1. *Tabla de correspondencia*

En la tabla 38 indica que de 1299 tramos de cauce analizados (de aproximadamente 1 km cada tramo) se muestra la correspondencia entre las categorías de las variables cobertura y uso de suelo (área artificializada, bosques, herbazal/pajonal, pastos y cultivos, margen activo) e índice hidrogeomorfológico (muy mala, deficiente, moderado, bueno, muy buena). Se observa mayor número de casos (276) para la asociación entre el IHG muy buena y la clase de CUS, bosques, seguido de la asociación entre el IHG deficiente y clase de CUS pastos y cultivos, con 228 casos.

Tabla 38.

Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS) en la cuenca del Alto Mayo.

CUS	IHG					Margen activo
	Muy mala	Deficiente	Moderado	Bueno	Muy buena	
Área artificializada	13	20	8	2	1	44
Bosques	0	23	38	58	276	395
Herbazal/Pajonal	0	0	0	4	8	12
Pastos y cultivos	189	228	198	116	117	848
Margen activo	202	271	244	180	402	1299

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. *Resumen del análisis de correspondencias*

En la tabla 39 se muestra el resumen del análisis de correspondencias. Los primeros dos factores explican el 99.5% de la variación total compartida (inercia) por las variables

cobertura y uso de suelo e índice hidrogeomorfológico. Asimismo, se obtuvo un p-valor igual a 0.0001, que es menor a 0.05, con lo cual se acepta la hipótesis alterna; es decir existe relación entre las categorías de las variables mencionadas.

Tabla 39.

Resumen de Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS) en la cuenca del Alto Mayo.

Dimensión	Auto-valor	Inercia	Chi cuadrado	p-valor	Proporción de inercia		Valor singular de confianza	
					Contabilizado para	Acumulado	Desviación estándar	Correlación
1	.609	.371			.978	.978	.021	.048
2	.081	.006			.017	.995	.027	
3	.044	.002			.005	1.000		
Total		.379	492.641	.0001	1.000	1.000		

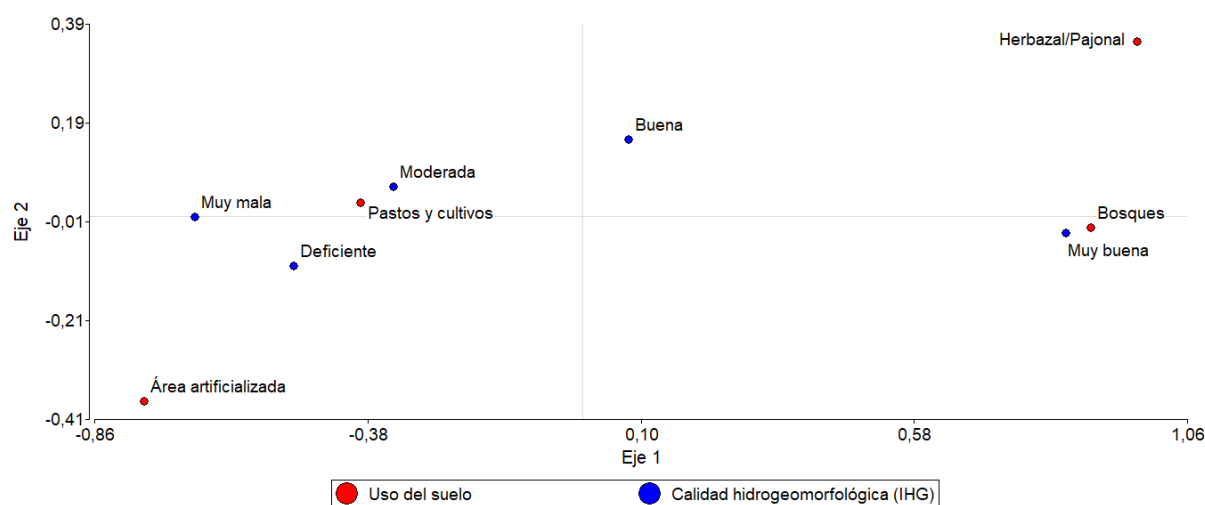
Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Mapa perceptual

Para reforzar, en la Figura 73 se visualizan las dos primeras dimensiones del mapa perceptual del Análisis de Correspondencia (AC) simple (Tabla 37) correspondiente al cruce de las variables “calidad hidrogeomorfológica (IHG)” y “Cobertura y Uso del Suelo (CUS)”. La Figura 73 sugiere, en su primer eje (con una inercia de 97.78%, tabla 40), que la calidad “Muy buena” se presenta mayoritariamente en cauces que atraviesan “Bosques” y que las calidades “Muy mala”, “Deficiente” y “Moderada” se presentan en cauces que atraviesan “Pastos y cultivos” y “Áreas artificializados). La clase “Herbazal/Pajonal” se asocia a la calidad “Muy buena”, sin embargo, al presentar pocos registros, en la gráfica se muestra alejada verticalmente.

Figura 73.

Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS) en la cuenca del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40.

Contribución a la Chi cuadrado del Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS) en la cuenca del Alto Mayo.

Eje	Autovalor	Inercias	Chi-cuadrado	Contribución (%)	Contribución acumulada (%)
1	0.61	0.37	481.72	97.78	97.78
2	0.08	0.01	8.43	1.71	99.49

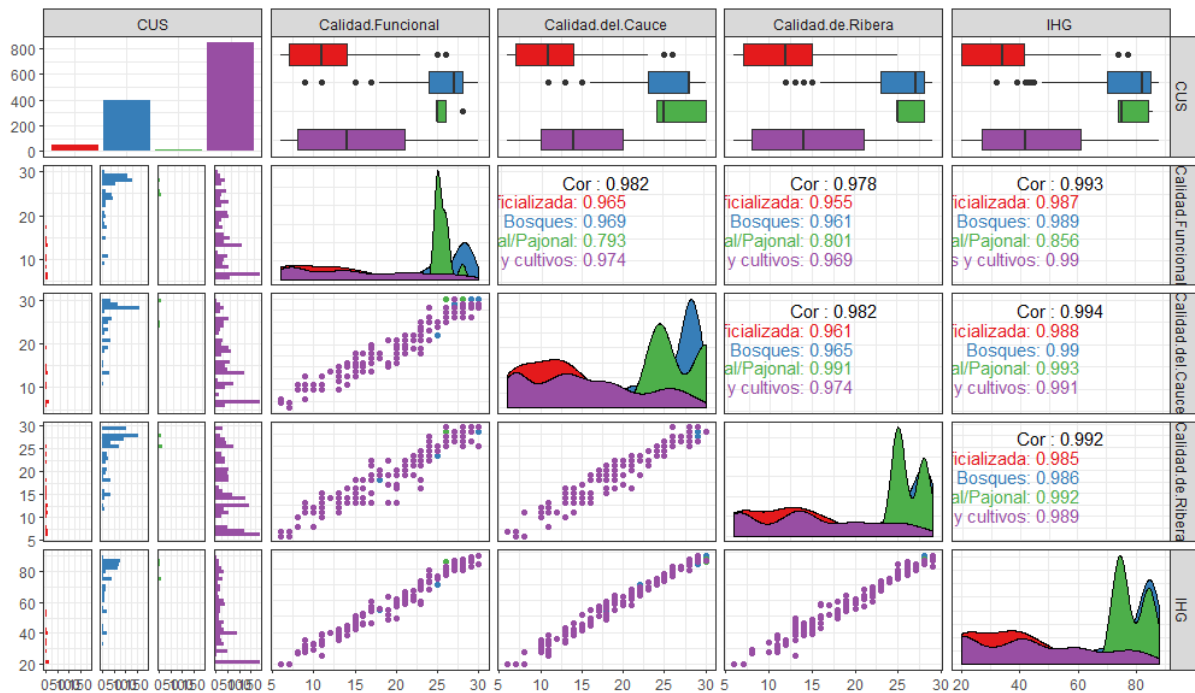
Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Matriz de diagrama de dispersión por grupos

Además, se elaboró una matriz de diagrama de dispersión por grupos (Figura 74). La trama contiene el diagrama de dispersión y el coeficiente de correlación, entre cada par de apartados que componen el IHG (Calidad funcional, Calidad del cauce y Calidad de ribera) y entre el IHG y cada apartado del mismo, coloreadas por CUS. También contiene la distribución de densidad y diagrama de caja, de cada variable, coloreada por CUS. Los gráficos por apartado de la diagonal indican que el CUS “Área artificializada”, con tendencia a la izquierda, recibió puntuaciones entre 0 y 10; por el contrario, los CUS “Herbazal/Pajonal” y “Bosques”, con tendencia a la derecha, recibieron puntuaciones entre 20 y 30. La CUS “Pastos y cultivos” recibieron puntuaciones variadas, de entre 0 y 30.

Figura 74.

Matriz de diagrama de dispersión entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y Cobertura y Uso del Suelo (CUS) en la cuenca del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Correspondencia entre calidad hidrogeomorfológica (IHG) y tipología fluvial

4.4.1. Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce

La evaluación del tipo de curso fluvial es importante porque cada uno tiene características y un comportamiento diferente, para analizar y valorar si la forma actual se ve modificada por la acción natural o humana en su fisonomía en función principalmente de su pendiente, de factores geomorfológicos y de los caudales circulantes. (Ballarín y Rodríguez, 2013; Ollero, 2000).

La dinámica de cada tramo fluvial viene definida fundamentalmente por la capacidad de desplazamiento lateral del cauce. En ríos sinuosos y meandriformes los más comunes, el déficit de sedimentos provoca también incisión, que inicia un proceso de arrastre de los sedimentos y que puede originar el afloramiento de la roca madre en el lecho. (Charriere, et al., 2004).

La pendiente se adapta a los diversos cambios en su secuencia longitudinal. La significativa disminución de la pendiente ocasiona disminución en la capacidad de transporte

del río. En las zonas de llanura la pendiente disminuye donde se encuentran generalmente cursos meandriformes.

Los resultados obtenidos muestran que los cauces meandriformes con pendiente baja presentan un valor geomorfológico alto, siendo dinámicos con un cauce muy móvil y posibilidad de cortas de meandros, formando una gran llanura aluvial. Con pendientes longitudinales escasas y abundante carga en suspensión. Díaz y Ollero (2005) hacen mención que se caracteriza por la gradación granulométrica de los materiales, más grandes en el centro del cauce y más finos en la orilla. Los cauces de este tipo son los que mayor impacto presentan, sufriendo cambios en su morfología debido a que su alta movilidad lateral choca con los intereses antrópicos de aprovechamiento de recursos y de ocupación de llanura de inundación. (Díaz y Ollero, 2015)

Por otro lado, los cauces de tipo rectos y sinuosos con pendiente alta presentan una estructura longitudinal de saltos y pozas, y rápidos, con pendientes elevadas a moderadas y de muy baja sinuosidad. En este tipo no presentan impactos significativos debido a la inaccesibilidad, además presenta gran diversidad biológica y paisajística.

La Tabla 41 indica los tipos de cauce según calidad hidrogeomorfológica, de 1299 tramos de cauce analizados (de aproximadamente 1 km cada tramo). Los cauces meandriformes (S4) de pendiente baja (P1) fueron los que obtuvieron la mayor proporción de calificación “Muy mala” (7.39%) y “Deficiente” (6.31%). A la vez, los cauces Sinuoso (S2) de pendiente Moderada-Alta (P3) fueron los que obtuvieron la mayor proporción de calificación “Muy buena” (9.78%). Como el valor $p < 0.0001$ se concluye que hay una relación entre la Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.

Tabla 41.

Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.

Geomorfología del cauce	IHG (%)					Total
	Muy buena	Buena	Moderada	Deficiente	Muy mala	
S2P2	4.54	0.85	5	4.46	0.46	15.32
S3P1	1.31	0.77	2.62	4.08	2.69	11.47
S4P1	1.39	2.62	1.92	6.31	7.39	19.63

S2P3	9.78	2.16	4.85	1.31	-	18.09
S2P1	0.77	1.08	1.69	0.62	2.85	7.01
S3P2	0.69	1.00	0.15	3.46	0.69	6.00
S4P2	-	-	0.77	0.31	0.92	2.00
S3P3	1.15	-	0.62	-	-	1.77
S1P3	6.7	3.16	-	-	-	9.85
S1P2	0.46	0.62	1.15	-	0.54	2.77
S1P1	0.23	-	-	0.31	-	0.54
S2P4	1.31	0.15	-	-	-	1.46
S4P3	0.69	-	-	-	-	0.69
S1P4	1.92	1.46	-	-	-	3.39
Total	30.95	13.86	18.78	20.86	15.55	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42.

Chi Cuadrado Pearson de Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.

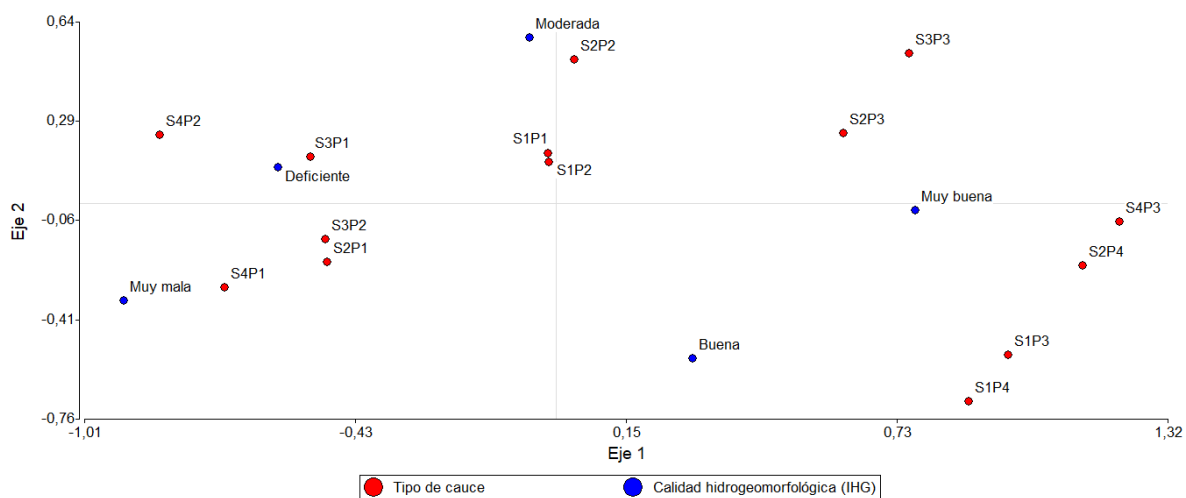
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	850.42	42	<0.0001

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 75 se visualizan las dos primeras dimensiones del Análisis de Correspondencia (AC) simple de la Tabla de Contingencia (Tabla 41) correspondiente al cruce de las variables “calidad hidrogeomorfológica (IHG)” y “Geomorfología del cauce”. La figura sugiere, en su primer eje (con una inercia de 62.02%, Tabla 42), que la calidad “Muy buena” se presenta mayoritariamente en cauces rectos (S1) y sinuosos (S2) de pendiente moderada-alta (P3) y alta (P4).

Figura 75.

Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43.

Contribución a la Chi cuadrado del Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.

Eje	Autovalor	Inercias	Chi-cuadrado	Contribución (%)	Contribución acumulada (%)
1	0.64	0.41	527.47	62.02	62.02
2	0.36	0.13	164.53	19.35	81.37

Fuente: Elaboración propia.

Además, que las calidades “Muy mala” y “Deficiente” se presentan en cauces de ameandramiento moderado (S3) y meandriformes (S4) de pendiente Baja (P1) y moderada-Baja (P2).

4.4.2. Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle

Los resultados obtenidos muestran una desnaturalización en ciertos tramos del Alto Mayo, aquellos agrupados en torno al de tipo de valle abierto con fondo ancho todavía representan un bajo porcentaje respecto a su presencia en la cuenca, pero dada a su dinámica son vulnerables. De acuerdo a Díaz y Ollero (2005) el impacto más importante lo constituye al uso agrícola en la estrecha llanura de inundación, el paso de infraestructuras lineales y expansión alterando el funcionamiento hidrológico.

Sin embargo, los valles encajados sin espacio inundable al igual que García, et al. (2016) refieren que son menos dinámicos y no presentan impactos relevantes, puesto que el desarrollo espacial del corredor fluvial es muy débil, unos pocos metros en la orilla. Se propone su conservación, normalmente se encuentran en áreas de montaña y cabeceras de los ríos.

La Tabla 44 indica los tipos de valle según calidad hidrogeomorfológica, de 1299 tramos de cauce analizados (de aproximadamente 1 km cada tramo). Los valles muy encajados (E2) con ancho del fondo estrecho (A2) fueron los que obtuvieron la mayor proporción de calificación “Muy buena” (19.71%) y “Buena” (5.93%). A la vez, los valles abiertos (E5) con muy ancho del fondo (A5) fueron los que obtuvieron la mayor proporción de calificación “Moderada” (5.08%), “Deficiente” (11.86%) y “Muy mala” (12.78%). Como el valor $p < 0.0001$ (Tabla 45) se concluye que hay una relación entre la Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle en la cuenca del Alto Mayo.

Tabla 44.

Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle en la cuenca del Alto Mayo.

Geomorfología del valle	IHG (%)					Total
	Muy buena	Buena	Moderada	Deficiente	Muy mala	
E5A4	-	0.62	1.85	1.46	0.38	4.31
E5A5	2.39	2.93	5.08	11.86	12.78	35.03
E4A4	1.62	0.46	1.85	1.92	0.15	6.00
E2A2	19.71	5.93	4.7	2.23	-	32.56
E3A3	6.16	2.85	4.77	2.85	1.23	17.86
E3A4	-	0.38	0.15	0.54	0.46	1.54
E4A3	0.23	0.23	-	-	0.54	1.00
E3A2	0.38	0.46	-	-	-	0.85
E4A5	-	-	0.38	-	-	0.38
E2A3	0.46	-	-	-	-	0.46
Total	30.95	13.86	18.78	20.86	15.55	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45.

Chi Cuadrado Pearson de Tabla de Contingencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del cauce en la cuenca del Alto Mayo.

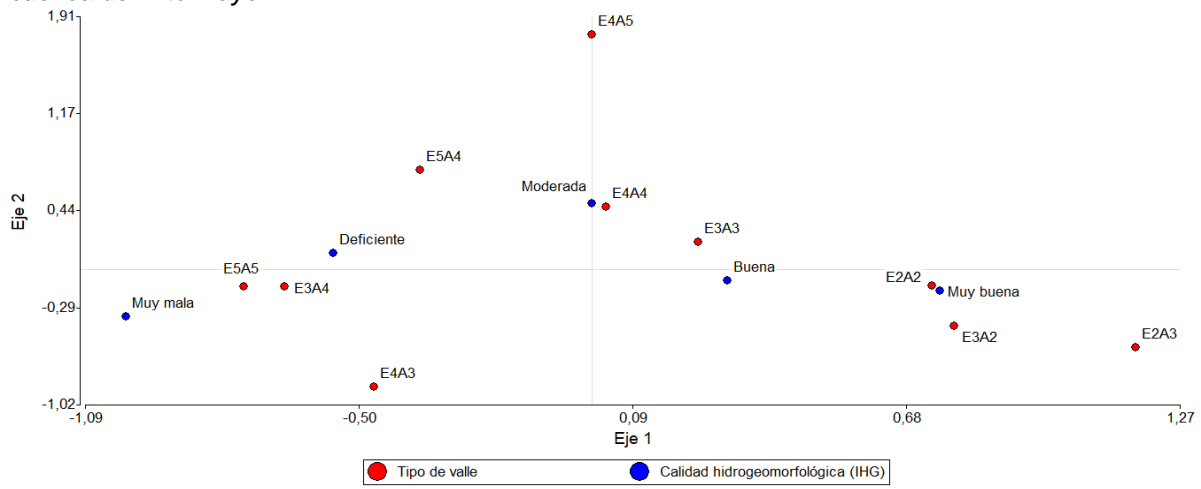
Estadístico	Valor	gl	p
Chi Cuadrado Pearson	672.74	36	<0.0001

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 76 se visualizan las dos primeras dimensiones del Análisis de Correspondencia (AC) simple de la tabla de contingencia (Tabla 40) correspondiente al cruce de las variables “calidad hidrogeomorfológica (IHG)” y “Geomorfología del valle”. La figura sugiere, en su primer eje (con una inercia de 79.04%), que las calidades “Muy buena” y “Buena” se presentan mayoritariamente en valles muy encajados (E2) y moderadamente encajados (E3) con ancho de fondo de valle estrecho (A2) y medio (A3). Además, que las calidades “Muy mala” y “Deficiente” se presentan en valles suavemente encajados (E4) y abiertos (E5) con ancho de fondo de valle ancho (A) y muy ancho (A5).

Figura 76.

Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle en la cuenca del Alto Mayo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46.

Contribución a la Chi cuadrado del Análisis de Correspondencia entre Calidad hidrogeomorfológica (IHG) y geomorfología del valle en la cuenca del Alto Mayo.

Eje	Autovalor	Inercias	Chi-cuadrado	Contribución (%)	Contribución acumulada (%)
1	0.64	0.41	531.72	79.04	79.04
2	0.28	0.08	102.65	15.26	94.3

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Propuestas de acciones de restauración fluvial en la cuenca del Alto Mayo

4.5.1. Introducción

La restauración es un proceso complejo, de auto-recuperación de los procesos, estructura, funciones, territorio, dinámica y resiliencia a partir del reconocimiento de los factores de alteraciones naturales o de origen humano, responsables de la degradación de la estructura y funciones del ecosistema fluvial, hasta alcanzar un funcionamiento natural y auto-sostenible. (Ollero, 2011; Magdaleno, s.f)

La auténtica restauración fluvial debería ser fundamentalmente auto – restauración hidrogeomorfológica y requeriría caudales naturales incluyendo crecidas, sedimentos movilizables, espacio (territorio fluvial) para el desarrollo de la dinámica natural, eliminar obstáculos longitudinales y transversales, y tiempo para el auto – recuperación (Johnson et al., 2018).

Sin embargo, esta auténtica restauración es muy difícil, ya que los ríos, torrentes, barrancos y ramblas sufren numerosas presiones e impactos en toda su cuenca, la mayor parte de las cuales son de muy compleja eliminación. Si fuera posible eliminar todos esos impactos (presas, defensas, canalizaciones), la restauración fluvial sería muy rápida y efectiva, ya que unas pocas crecidas serían suficientes para recuperar todo el funcionamiento natural. (Ollero, 2014)

4.5.2. Objetivo

Recuperar procesos fluviales de los ríos de la cuenca del Alto Mayo para reconstruir su dinámica y un funcionamiento más próximo al natural o de referencia.

4.5.3. Alcance

Las propuestas de restauración son una medida para restablecer o recuperar un sistema natural a partir de la eliminación de los impactos que lo degradaban y a lo largo de un proceso prolongado en el tiempo, hasta alcanzar un funcionamiento natural y auto sostenible. (Gómez y Cámara, 2016)

De acuerdo a los valores obtenidos en los capítulos anteriores de la clasificación, evaluación y la relación entre la calidad hidrogeomorfológica y el cambio de uso de suelo en la cuenca del Alto Mayo, comprobado mediante trabajo de campo, donde se determinó ciertos tramos de cauces que han sufrido transformación y degradación de sus valores generando repercusiones en la reducción del espacio fluvial, alteración morfológica, contaminación de las aguas y regulación de los caudales. Por lo tanto, es imprescindible plantear acciones generales y concretas de restauración fluvial acordes con la dinámica de los procesos fluviales, encaminados a recuperar o devolver la estructura, la estabilización geomorfológica y funcionamiento natural de los ríos ya alterados, sin renunciar a objetivos más amplios como la prevención.

4.5.4. Acciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se debe incluir los siguientes puntos en el plan de restauración fluvial de la cuenca del Alto Mayo:

- a) **Educación ambiental:** Es muy importante comenzar trabajando por un cambio de mentalidad en la sociedad, y para que eso suceda es imprescindible la herramienta de la educación ambiental en el tema de restauración fluvial, debido a que en muchas ocasiones la falta de un mayor conocimiento de la sociedad sobre los procesos naturales repercute de forma muy negativa sobre los ríos; y para concientizar a la sociedad se tiene que hacer comprender el funcionamiento del sistema fluvial y los beneficios que nos aporta (González de Tágano, 2016).
- b) **Recuperar la continuidad del curso fluvial:** Se debe tener en cuenta que para la recuperación de los cursos fluviales es de gran importancia la demolición de presas y azudes; así como también la eliminación de vados y la permeabilización de obstáculos; ya que estas son prácticas con muy buenos resultados, que permite recuperar la continuidad del curso fluvial y naturalidad en los procesos hidrogeomorfológicos (Martin, 2010).
- c) **Eliminación y permeabilización de obstáculos:** Los problemas asociados a obstáculos son principalmente puentes, defensas, acequias y urbanización cerca al río,

casetas de bombeo o estaciones de aforo, entre otros; lo cual dificulta la evacuación y distribución de agua, sedimentos, especialmente en procesos de crecida. En este contexto es conveniente que se proceda a su eliminación total o bien a su permeabilización para que no impidan la circulación del agua y los sedimentos, ni retengan madera muerta arrastrada. En ambos casos puede calificarse de rehabilitación, ya que con estas medidas no es posible alcanzar los fines de la restauración, pero puede lograrse una significativa recuperación del funcionamiento del río (Ollero, 2014).

- d) Devolución de espacio al río:** Esta medida de restauración es muy auténtica, porque permite al río a auto recuperarse de los impactos que haya sufrido mediante el desarrollo de sus procesos hidro-geomorfológicos dentro de un territorio libre de suficiente anchura que permitirá conservar o recuperar la dinámica hidrogeomorfológica, asimismo obtener un corredor ribereño continuo que garantizaría la diversidad ecológica, y la función bioclimática del sistema fluvial, cumplir con el buen estado ecológico, resolver problemas de ordenación de áreas inundables, así como mejorar y consolidar el paisaje fluvial (Durán et al., 2018).
- e) Desprotección de orillas:** Es imprescindible que las orillas de las subcuencas en general tengan la libertad geomorfológica del cauce en sus dimensiones longitudinal, lateral y vertical; para el adecuado funcionamiento fluvial. La eliminación de las defensas de margen (escolleras, muros, gaviones) permite de nuevo la erosión de las orillas, que es una solución clave de restauración fluvial, ya que aporta sedimentos a tramos afectados por incisión (Manfrin et al., 2019).
- f) Recuperación de áreas afectadas por extracciones:** Las áreas afectadas por extracciones y dragados tanto en el cauce activo del río como en la llanura de inundación, son una práctica muy extendida en la cuenca del Alto Mayo, y que son los que originan un déficit de sedimentos, daños en la geomorfología y transformaciones en el relieve irreversibles, resultando depresiones que alteran el paisaje y provocan riesgos de contaminación del acuífero. Genera huecos extractivos de diferentes

tamaños (desde pequeños hasta los de grandes dimensiones y notable profundidad), con fuertes pendientes (Araujo et al., 2016). Frente a este problema la técnica adecuada, es la aportación de sedimentos externos, procedentes de otro tramo de río o del vaso de presas (siendo extraídos con mucho cuidado para no dañar la vegetación), para revertir el déficit generado y para favorecer los procesos naturales y evitar la incisión. También se puede optar, por una rehabilitación pasiva (en los ríos dónde el déficit sedimentario no sea marcado) en la que el propio río reajuste progresivamente su lecho con los sedimentos que transporta en unas pocas crecidas (Arenillas, 2012).

- g) Eliminación de especies invasoras:** En la cuenca del Alto Mayo es necesario el control y eliminación de estas especies porque son las que reemplazan a las especies nativas y estas van desapareciendo con el paso del tiempo. Las plantas invasoras producen hibridaciones y contaminación genética, así como también alteraciones de las redes de interacción entre especies y contribuyen a que se den las alteraciones en los ecosistemas. La eliminación de estas especies es una buena práctica consolidada, para la que los organismos competentes cuentan con protocolos reconocidos. Sin, embargo, la mayoría de estas especies son muy difíciles de erradicar y es necesario trabajar de forma continuada en esta línea. El éxito en el control y lucha contra estas especies mejora el estado del río, pero no lo restaura (Ollero, 2014).
- h) Desurbanización:** La urbanización de las llanuras de inundación supone la entrada de numerosos elementos antrópicos en el río, lo cual dificulta el buen funcionamiento de éste e incrementa notablemente el riesgo de inundación. No se puede evitar la urbanización, que fue prudente al principio, pero ha ido consolidándose en áreas de mayor riesgo junto al río (Fox et al., 2016).
- i) Eliminación de barreras y limitaciones al desbordamiento:** Tanto las barreras transversales en el cauce, que interrumpen la continuidad en el eje del cauce, como aquellas que impiden la conectividad del río con sus llanuras de inundación deben ser eliminadas totalmente para que el cauce del río recupere su dinámica natural (Emery et al., 2013).

- j) Establecimiento de bandas protectoras del cauce:** Esta medida de restauración fluvial consiste en establecer bandas de vegetación de ribera en los bordes de los cauces cuya principal función son retener nutrientes y otras sustancias procedentes de terrenos agrícolas o de escorrentías de infraestructuras (actuando como filtros verdes de depuración) y retener sedimentos (Durán et al., 2018)
- k) Plantaciones de ribera:** Aunque en un proyecto “ideal” de verdadera restauración fluvial debería ser el río el que de forma natural reestableciera las comunidades vegetales, es posible acudir a las plantaciones para acelerar estos procesos o favorecerlos (Buijs, 2009).
- l) Seguimiento:** En un proceso de restauración es necesario diseñar un sistema de seguimiento, estableciendo los indicadores apropiados, el cual debería comenzar antes de la actuación y prolongarse a lo largo del tiempo. Mantener un seguimiento puntual permite un proceso de aprendizaje permanente conforme se actúa, así como ir variando métodos, plantear acciones que contribuyan a evitar efectos no previstos, adaptándonos en continuo para lograr un resultado natural, sostenible y resiliente.

CAPITULO 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El uso actual del suelo en la cuenca del Alto Mayo está representado principalmente por el 54.1% está ocupado de bosques, seguido por el 43.2 % por pastos cultivos y en menor proporción el 1.8 % por herbazales y arbustales, el 0.7 % área artificializada y 0.3 % cuerpos de agua.
- La caracterización geomorfológica de los ríos de la cuenca del Alto Mayo realizada permite definir, muy geodiverso en cada punto y en todo su recorrido longitudinal. Se dividió el cauce principal de cada subcuenca en 1299 tramos de cauce analizados (de aproximadamente 1 km cada tramo) de apoyó únicamente en aspectos geomorfológicos: geomorfología del cauce, pendiente del cauce y geomorfología del valle. En conjunto de todas las subcuencas, se identificaron 49 tipos de cursos fluviales en la Cuenca del Alto Mayo, resultado de la combinación de 14 tipos de cauce y 10 tipos de valle. Los tipos de cauce predominantes fue meandriforme (S4) de pendiente baja abierto(P1) en valles abiertos (E5) con muy ancho del fondo (A5) fueron los que obtuvieron la mayor proporción de calificación “Muy mala” y “Deficiente”. Además, que las calidades “Muy buena” y “Buena” se presentan en cauce de tipo sinuoso (S2) y de pendiente Moderada-Alta (P3) en valles encajados (E2) con ancho del fondo estrecho (A2).
- La calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo, de acuerdo a las evaluaciones realizadas, se sitúa entre los valores de “Muy buena” a “Muy mala”. En la parte alta de la cuenca generalmente se determinó una calidad entre buena y muy buena, debido a la inaccesibilidad y la mínima intervención antropogénica. Sin embargo, los valores de calidad moderada, deficiente y muy mala se presentan en las microcuencas medias y bajas por el incremento de los impactos directos en el cauce, debido principalmente a la intervención antropogénica mediante la apertura de vías de acceso, crecimiento de áreas productivas en las laderas de la cuenca, la presencia de canalizaciones, defensas ribereñas, extracciones, puentes, escombros y urbanización.

- La correspondencia entre variables ayudó significativamente para determinar hay una relación entre la “calidad hidrogeomorfológica (IHG)” y la “Cobertura y Uso del Suelo (CUS)” de acuerdo al valor $p < 0.0001$, debido a que la calidad “Muy buena” se presenta mayoritariamente en cauces que atraviesan “Bosques” y que las calidades “Muy mala”, “Deficiente” y “Moderada” se presentan en cauces que atraviesan “Pastos y cultivos” y “Áreas artificializados”, que modifican directamente en la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo generada por las actividades antropogénicas, además se verificó que las áreas urbanas y agrícolas influenciaron en la reducción de la calidad hidrogeomorfológica. En consecuencia, a los resultados obtenidos se proponen medidas de restauración fluvial para reducir en cierto modo la presión ambiental en la que se encuentra sometida.

5.2. Recomendaciones

- La degradación de los sistemas fluviales es un problema complejo, por ello es necesario promover los estudios de la teledetección y los (SIG), son idóneos para evaluaciones y el monitoreo de cuencas hidrográficas y de diferentes áreas de investigación, puesto que los aportes son de gran validez y utilidad.
- Para tener un estudio completo y detallado de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del Alto Mayo se debe realizar la aplicación del índice IHG a nivel de microcuencas del río Mayo, ya que de esa manera se va a lograr conocer el estado actual de cada sistema fluvial más detallado.
- Se recomienda a las municipalidades en coordinación de Energía y Minas y la Autoridad Local del Agua implementen un plan de manejo sobre la extracción de agregados en el río, ya que se está modificando la morfología de los ríos.
- Con respecto a las acciones de restauración fluvial se recomienda al, tendrían que centrarse en los sistemas fluviales que se encuentran más deteriorados, en los tramos que presentan una calidad de muy mala a deficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberti, G. (2015) CAinterprTools: An R package to help interpreting Correspondence Analysis' results. *SoftwareX*, 1, 26-31.
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 257-284.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. Lima, Perú.
- Araujo B., L.; Montagnani F., C. J.; Dunning Jr., J. B.; Rodgers, J. & Marco da Silva, A. (2016). Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal. *Ecological Indicators*. 60, 724-735.
- Arenillas G., L. (2012). Diseño de ejecución de proyectos de restauración y rehabilitación de ríos. Confederación hidrográfica del tajo.
- Baker, A. (2003). Land use and water quality. *Hydrological processes*, 17(12), 2499-2501.
- Ballarín, D. y Rodríguez, I. (2013). Hidromorfología fluvial: algunos apuntes aplicados a la restauración de ríos en la cuenca del Duero. Valladolid: Confederación Hidrográfica del Duero. *Confederación Hidrográfica del Duero. Valladolid*.
- Barboza, E. y Ramírez, A. (2015). *Evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del río Utcubamba, departamento de Amazonas, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas].
- Barboza, E., Corroto, F., Salas, R., Gamarra, O., Ballarín, D. y Ollero, A. (2017). Hidrogeomorfología en áreas tropicales: aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el río Utcubamba (Perú). *Ecología Aplicada*, 16(1), 39-47.
- Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M. y Corroto, F. (2018). Uso actual del suelo y calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio: alternativas para la restauración fluvial en el Norte de Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 203-214.
- Biocuenca, 2014. La Gestión Integrada de los recursos hídricos (GIRH) en el Alto Mayo
- Bhatt, G., Kumar, M. & Duffy, C. J. (2014). A tightly coupled GIS and distributed hydrologic modeling framework. *Environmental Modelling and Software*, 62, 70–84.
- Buijs, A. (2009). Public support for river restoration. A mixed-method study into local residents'. *Journal of Environmental Management*. 90, 2680- 2689.
- Bustamante S., R. y Neira R., R. (2015). *Análisis de dispersión físico – químico y microbiológica del agua de la micro cuenca Juningue – para uso potable de la ciudad de Moyobamba* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://cutt.ly/KgbmkEX>
- Butt, A.; Shabbir, R.; Ahmad, S. S. & Aziz, N. (2015). Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakista. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 251-259.
- Campbell, J. B., y Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. Guilford Press
- Charriere, M., Bourrel, L., Gautier, E., y Pouilly, M. (2004). División geomorfológica del río Mamoré.
- Charlton, R. (2008): Fundamentals of fluvial geomorphology. Abingdon: Routledge, 234 .
- Chowdhury, M.; Emran, M., & Abdullah-Al-Mamun, M. (2018). Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 63-75.
- Chuquimbalqui P., Y. (2017). *Determinación de parámetros físico – químicos y biológicos del agua del río Tío Yacu, para uso recreacional y riego de vegetales, del distrito de Elias Soplín Vargas – Rioja, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://cutt.ly/hgbmRhj>
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, 10, 1-9.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E. (2016). Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press/Taylor & Francis.
- Cihlar, J. (2000). Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International journal of remote sensing*, 21(6-7), 1093-1114.
- Conesa G., C.; Pérez C., P.; García L., R. y Martínez S., A. (2012). Cambios históricos recientes de cauces

- y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre. *Nimbus*, 159-176.
- Conesa G., C. y Pérez C., P. (2014). Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59), 25-44. <https://cutt.ly/ygbzPll>
- Codato, D. (2015). Estudio de la percepción social del territorio y de los servicios ecosistémicos en el Alto Mayo, Región San Martín, Perú. *Espacio y Desarrollo* (27), 7-31.
- Congalton, R. y Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Congedo, L. (2016). Documentation of Semiautomatic Classification Plugin. *Release*, 4(0.1), 29.
- Conservación Internacional, (s.f). Biocuenas: Recursos hídricos y biodiversidad andino amazónicos, 38.
- Coutiño, L. (2013). *Análisis Multitemporal de Imágenes Satelitales en Estudios Ambientales*. [Tesis para optar por el grado de Especialista en Sanitaria y Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México].
- Cuadras, C. & Cuadras, D. (2006) A parametric approach to correspondence analysis. *Linear Algebra and its Applications*. 417 (1), 64-74. <https://cutt.ly/0gmhjki>
- De Las Casas, L. (2012). Lineamientos estratégicos de desarrollo territorial a partir del incremento de la competitividad de las cadenas agroproductivas de mayor impacto socioeconómico en la selva alta: caso del café en el Alto Mayo. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Del Tánago, M. G. y De Jalón, D. G. (2007). *Restauración de ríos: guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Centro de Publicaciones, Ministerio de Medio Ambiente.
- Deng J., Wang K., Li J., Feng X. & Huang J. (2005). Integration of SPOT-5 and ETM+ images to Detect Land Cover Change in Urban Environment. *Geosci. Remote Sens. Symp*, 25-29
- De Souza, P. S. & Pompeo, C. A. (2016) Valiação hidrogeomorfológica de um curso d' água urbano e as perspectivas de restabelecimento dos padrões de qualidade: estudo de caso do rio Córrego Grande, Florianópolis, Brasil. *Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*. 4(1), 69-79.
- Díaz, G. (2018). *Determinación de la calidad el rio Naranjos mediante el uso de los coeficientes cinéticos de auto depuración, distrito e Pardo Miguel*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
- Díaz, B. E., y Ollero, O. A. (2005). Metodología para la clasificación geomorfología de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro. *Geographicalia*, 47, 23-45
- Dimiyati, M. U. H., Mizuno, K., Kobayashi, S., & Kitamura, T. (1996). An analysis of land use/cover change in Indonesia. *International Journal of Remote Sensing*, 17(5), 931-944.
- Durán V., F.; Serrano M., M. y Pons I., J. J. (2018). Recuperación del paisaje fluvial y revalorización social: el caso de Arévalo (Ávila). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 78, 419-443.
- Dzieszko, P. (2014). Land-cover modelling using corine land cover data and multi-layer perceptron. *Quaestiones Geographicae*, 33 (1), 5-22.
- Dzul, J. (1991). La mayordomía y el medioambiente. (124), 5.
- Elagouz, M. H., Abou-Shleel, S. M.; Belal, A. A. & El-Mohandes, M. A. O. (2019) Detection of land use/cover change in Egyptian Nile Delta using remote sensing. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23 (1) 57-62 <https://cutt.ly/IgnIHbX>.
- Emery, S. B.; Perks, M. T. & Bracken, L. J. (2013). Negotiating river restoration: the role of divergent reframing in environmental. *Geoforum*. 47, 167-177.
- Feng X., Zhou T., Zhang J., Zhang B., & Ma D. (2019) Research on heat transfer coefficient of supercritical water based on factorial and correspondence analysis. *Nuclear Engineering and Technology*, 52, (7) 1409-1416. <https://cutt.ly/Hgnsmrn>
- Fernández, F.J. (2002) El uso del Análisis de Correspondencia Simple (ACS) como ayuda en la interpretación del dato en arqueología. Un caso de estudio. *Boletín Antropológico*, 20, (55), 687-713.
- Fisher, P. & Unwin, D. (2005). Re-presenting geographical information systems. Re-presenting GIS. London: Wiley, 1-17.
- Fox, C.; Magilligan, F. & Sneddon, C. (2016). You kill the dam, you are killing a part of me: Dam removal. *Geoforum*. 70, 93-104
- Fundación Manuel J. Bustamante De La Fuente. (2010). Cambio Climático en el Perú - Amazonia. Lima.
- Gamarra T., O. A.; Barrena G., M.; Ordinola R., C.; Barboza C., E.; Leiva T., D; Rascon B., J. y Corroto, F.

- (2018a). Calidad del bosque de ribera en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 653-678.
- Gamarra T., O. A.; Barrena G., M.; Ordinola R., C. y Barboza C., E. (2018b). Calidad del bosque de ribera en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 653-678.
- García Martínez, B., Gil, V., Carbone, M. E., y Posada Simeón, J. C. (2016). Caracterización del patrón hidromorfológico del Arroyo de la Ventana en su tramo medio alto (Buenos Aires, Argentina). *Estudios geográficos*, 77 (281), 521-541.
- García R., J. (2003) *Cómo elaborar un proyecto de investigación*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 3.ª Edición. España: 176.
- Gibbs, H. K.; Brown S.; Niles J. O. & Foley J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2(4)
- Gil, V. (2012). Cuenca alta del río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *Cuaternario y Geomorfología*, 1, 133-150.
- Gil, V., Gentili, J. O. y Campo, A. M. (2013). La carta hidrogeomorfológica como herramienta para identificar elementos de la geodiversidad. Parque Provincial Ernesto Tornquist, Buenos Aires. Universidad Nacional del Sur- CINICET. Buenos Aires Argentina.
- Gomez, M. (2016). Introducción a la metodología de la investigación científica. 2 edición argentina.
- Gomez M., D. C. y Camara A., R. (2016). Propuesta de ordenación y manejo de los recursos naturales para la conservación y restauración del tramo bajo del río Guadaira (Sevilla). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (70) 211-238.
- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Plata].
- Gonzales I., C. A. y Llanos L., R. (2015). Evaluación de los efectos de la deforestación en la hidrología y pérdida lateral de carbono orgánico del suelo de la cuenca del Alto Mayo. Lima, Perú.
- González de Tágano, M. (2016) Propuesta de guía metodológica para la restauración de los ríos. Madrid. Gobierno Regional de San Martín. (s.f). Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial e la provincia Rioja.
- Gobierno Regional de San Martín. (2011). Plan Estratégico Institucional del Gobierno Regional de San Martín 2011-2014. Gerencia Regional de Planificación y Presupuesto. San Martín.
- Guntli, D. (2006). *Clasificación del uso y cobertura de la tierra. Un enfoque orientado a objetos en Tayikistán occidental*. [Tesis Doctoral, Universidad de Zurich, Suiza].
- Gutiérrez, M. (2008). Geomorfología. España: Edit. Pearson Educación.
- Hansen M.C, Potapov R., Moore M., Hancher S.A., Turubanova A., Tyukavina D, & Townshend J.R. (2013) High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850-53
- Haque, (2013) Watershed Management in Bangladesh. Degradation of Upland Watershed in Bangladesh Project- a USDA funded Project, Grant No. BG-ARS-123 Institute of Forestry and Environmental Sciences, University of Chittagong (IFESCU), Chittagong.
- Hernández S., R., Fernández C., C., y Baptista L., P. (2010). Metodología de la investigación. Quinta Edición. México: McGraw-Hill.
- Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica: Agroamérica.
- Horacio, J. y Ollero, A. (2011). Clasificación Geomorfológica de Cursos Fluviales a Partir de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (56), 373-396.
- Ibisate, A.; Ollero, A.; Sáenz de Olazagoitia, A.; Acín, V.; Granado, D.; Ballarín, D.; Herrero, X.; Horacio J. y Mora, D. (2016). Condiciones de referencia para la restauración de la geomorfología fluvial de los ríos de las cuencas de Oiartzun y Oria (Gipuzkoa). *Cuaternario y Geomorfología*. 30 (1-2), 49-60.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2007). Informe de Zonas Críticas Region San Martín. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2008). Plan Maestro del Bosque de Protección Alto Mayo 2008-2013. Lima, 272.
- Johnson S., E.; Bell P., K. & Leahy E., J. (2018). Disamenity to amenity: Spatial and temporal patterns of social response to river restoration progress. *Landscape and urban planning*, 169, 208-219
- Kachhwala, T. S. (1985). Temporal monitoring of forest land for change detection and forest cover mapping

- through satellite remote sensing. *In Proceedings of the 6th Asian Conf. on Remote Sensing. Hyderabad, 1985* (77-83).
- Kámiche Z., J. (2011). Buscando mecanismos para lograr un manejo eficiente del Agua. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico. Lima, Perú.
- Kumar, A., & Rathod, P. (2016). Analysis on land use land cover and its impact on the peak flow of the river in lower tapi sub basin. *ISH-Hydro 2016 International*, 9.
- Kusimi, JM. (2008). Assessing land use and land cover change in the Wassa West District of Ghana using remote sensing. *GeoJournal*, 71, 249-259.
- Lainez G., M. A. (2006). Experiencias Agroforestales en el Alto Mayo. Moyobamba, 171.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics* (33), 2, 363-374.
- Lang, R.; Shao, G.; Pijanowski, B. C. & Farnsworth, R.L. (2008). Optimizing unsupervised ratings of RS images with a data-assisted labeling approach. *Computers and Geosciences*, 34 (12), 1877-1885.
- Lewinski, S. & Zaremski, K. (2004). Examples of object-oriented classification made in high-resolution satellite images. *Miscellanea Geographica*, (11), 349-359.
- Llactayo, W.; Salcedo, K. y Victoria, E. (2014). Memoria técnica de la cuantificación de cambios de la cobertura de bosque a no bosque en el ámbito de la Amazonía peruana periodo 2009-2010-2011. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima – Perú.
- Llambi, L., Soto, A., Celleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B. y Borja, P.(2012) Ecología, Hidrología y Suelos de Paramos. Proyecto Paramo Andino. 238-239.
- Loana-Toroimac, G., Zaharia, L., Minea, G. & Moroşanu, G. A. (2017). Using a multi-criteria analysis to identify rivers with hydromorphological restoration priority: Braided rivers in the south-eastern Subcarpathians (Romania). *Science of The Total Environment*, 599, 700-709
- Lui, J., Zhang, C., Kou, L., & Zhou, Q. (2017). Effects of Climate and Land Use Changes on Water Resources in the Taoer River. *Advances in Meteorology*, 13. <https://n9.cl/za7jc>.
- Magdaleno M., F. (s.f.) Principios y técnicas de restauración fluvial. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. <https://n9.cl/795p>
- Mas, M. (2013). Las riberas fluviales. *Ministerio del Ambiente*, (104), 09-101.
- Manfrin, A; Sven, T.; Lorenz, A. W.; Haase, P.; Martilla, M.; Syrjanen, J. T.;... Stoll, S. (2019) Effect of river restoration on life-history strategies in fish communities. *Science of the Total Environment*. 663, 486-495.
- Martin V., J. A. (2010). Estudios medioambientales e hidrológicos de la confederación hidrográfica del Cantabrico.
- Mas, J. F., y Fernandez, T. (2003). Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones geográficas*, (51), 73-87.
- Melo, L., y Camacho, M. (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra. *Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica, CIAF, Colombia*.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2017), Reporte regional de comercio San Martin.
- Ministerio de Agricultura y Riego (s.f). San Martin: Cosechando desarrollo en el campo resultados 2011-2016.
- Ministerio del Ambiente (2014a). Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente (2013a). Agenda de investigación ambiental. Dirección General de Investigación e Información Ambiental. Lima: MINAM.
- Ministerio del Ambiente (2013b). Adaptación al cambio climático en la Amazonia Peruana. Lima
- Ministerio del Ambiente. (2014b). Protocolo: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2014c). Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima, Perú: MINAM.
- Miyasiro L.,M. y Ortiz H., M. (2016) *Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-*

- 2014). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] <https://n9.cl/a7ew>
- Mora, D.; Ballarín, D.; Montorio, R.; Zúñiga, M.; Ollero, A.; Durán, C. y Navarro, P. (2012). Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en el territorio aragonés de la cuenca del Ebro. *Revista de la Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza*, (28), 35-42.
- Municipalidad Provincial de Moyobamba. (2007). Plan de desarrollo Concertado de Moyobamba 2008-2011., Moyobamba, San Martín.
- Municipalidad Provincial de Moyobamba. (2012). Memoria anual 2012.
- Municipalidad Provincial de Moyobamba. (2014). Memoria Anual 2014. San Martín, Moyobamba.
- Municipalidad Provincial de Rioja. (2012) Plan estratégico de desarrollo concertado 2012-2021. San Martín, Rioja.
- National Aeronautics and Space Administration. (2013). Landsat 7 Science Data Users Handbook. EE.UU: NASA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). Los bosques y el agua. Estudio temático elaborado en el ámbito de la Evaluación de los recursos forestales mundiales. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2011). La FAO garantiza la seguridad alimentaria en un clima cambiante: Cómo pueden ayudar la ciencia y la tecnología.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2018). El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma.
- Oficina Regional de Seguridad y Defensa Nacional. (2018). Informe de evaluación del riesgo de erosión e inundación fluvial originado por precipitaciones intensas en el área urbana de la localidad de Nueva Cajamarca, Provincia de Rioja, Departamento San Martín.
- Ollero O., A. (2000). Primera aproximación a una clasificación de cursos fluviales aplicable a la ordenación. *Lurralde*, 23, 125-133.
- Ollero, A. O.; Echevarría A., T.; Sánchez F., M.; Auría I., V.; Ballarín F., D. y Mora M., D. (2003). Metodología para la tipificación hidromorfológica de los cursos fluviales de Aragón en aplicación de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE). *Geographicalia*, (44), 7-25.
- Ollero, A., y Romero; R. (2007). Estrategia Nacional de restauración e ríos. Las alteraciones geomorfológicas e los ríos. Madrid.
- Ollero, A. O.; Ferrer, D. B.; Bea, E. D.; Mur, D. M.; Fabre, M. S.; Naverac, V. A. y Gil, N. S. (2007). Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, (52), 113-142.
- Ollero, A.; Ballarín, D.; Díaz Bea, E.; Mora, D.; Sánchez, M.; Acín, V.; et al. (2008). IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. *Limnetica*, 27 (1), 171-188.
- Ollero, A., Ballarín, D. y Mora; D. (2009). Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro: Guía metodológica. Zaragoza, España: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Ollero, A.; Durán, C.; Navarro, P. y Pardos, M. (2010). Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Zaragoza. España: Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Ollero O., J. A. (2014). La importancia de la protección de singularidades y aspectos relacionados con la geomorfología y la dinámica fluvial.
- Osorio, P., Mas, F., Guerra, F. y Maass, M. (2015), Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México, *Investigaciones geográficas*, (88), 60-74,
- Osuna, A.; Díaz, J.; De Anda, J.; Villegas, E.; Gallardo, J.; y Davila, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Revista Ambiente y Agua*, 10(2), 350-362.
- Parra, J.; Espinosa R., N. P.; Jaque, E. y Ollero, A. (2015). Caracterización y evaluación hidrogeomorfológica para la restauración fluvial urbana en la cuenca del Andalién (Región Biobío, Chile). Centro Ibérico de Restauración Fluvial.
- Proyecto Especial Alto Mayo-Gobierno Regional de San Martín e Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. (2007). Propuesta de Meso Zonificación Ecológica Económica de la Cuenca del Alto Mayo. Iquitos, Perú.
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., y Contreras-Servín, C.

- (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91-114.
- Pérez T., M. (2017). *Análisis y evaluación en la aplicación de la meso zonificación ecológica y económica de la cuenca del Alto Mayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
- Petts, G. E. y Amoros, C. (1996): Fluvial hydrosystems. London: Chapman & Hall Ltd, 322.
- Petts, G. E. y Foster, I. (1985): Rivers and landscape. London: Edward Arnold Ltd, 274.
- Pinos N. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial -Caso cantón Cuenca. *Estoa*, 5 (9). <https://cutt.ly/Hgnsmrn>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010) Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe, GEO – ALC 3. Panamá.
- Poole, G. C. (2002). Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, 47(4), 641-660. <https://cutt.ly/8gbkXkr>
- Poole, G. C. (2010). Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 12-25
- Ramírez, J.S. y Zubieta, R. (2005). Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca Informe Técnico Final. Instituto de Geografía, UNAM, 52.
- Rawat, J. S. y Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84.
- Ren, Y.; Lü, Y., Comber, A.; Fu, B.; Harris, P. & Wu, L. (2019). Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Science Reviews*, 190, 389 - 415. <https://cutt.ly/KgnlLOd>
- Reina Valera (1960) Santa Biblia. *Sociedades Bíblicas Unidas*.
- Richards, J. A. & Jia, X. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin: Springer.
- Richards, K. S. (1987). Fluvial geomorphology. *Progress in Physical Geography* 11, 401-20.
- Riebsame, W. E., Meyer, W. B., & Turner, B. L. (1994). Modeling land use and cover as part of global environmental change. *Climatic change*, 28(1-2), 45-64.
- Rodríguez V., A. F. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta*. [Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia].
- Rojas B., N. B. (2018). *Evaluación del estado hidrogeomorfológico para restauración fluvial en las microcuencas ganaderas de Leymebamba y Molinopampa, Provincia Chachapoyas, Amazonas, 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. <https://cutt.ly/vgbnLrn>
- Rollet, A. J., Piégay, H., Dufour, S., Bornette, G. y Persat, H. (2014). Assessment of consequences of sediment deficit on a gravel river bed downstream of dams in restoration perspectives: application of a multicriteria, hierarchical and spatially explicit diagnosis. *River research and applications*, 30(8), 939-953. <https://cutt.ly/agbzGKG>
- Rodriguez C., N. (2018). *Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce – Perú*, [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]
- Rujoiu M., M. R & Mihai B., A. (2016) Mapping Land Cover Using Remote Sensing Data and GIS Techniques: A Case Study of Prahova Subcarpathians. *Procedia Environmental Sciences*, 244-255. <https://cutt.ly/8gnlGMu>
- Sánchez L., D. E. (2008). *Evaluación de la Calidad Ambiental del Agua en la Microcuenca Media y Alta del Río Shilcayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://cutt.ly/qgbn5la>
- Santos, J. C. (2007). *Extração de atributos de forma e seleção de atributos usando algoritmos genéticos para classificação de regiões*. [Tese de maestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2009) Escenarios climáticos el río Mayo para el año 2030-Resumen Ejecutivo.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2011). Iniciativa de Conservación del Alto Mayo.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.

- Stern, M. y Echavarría, M. (2013). Mecanismos de retribución por servicios hídricos para la cuenca del Alto Mayo, Departamento de San Martín, Perú.
- Story, M. & Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 52(3), 397-399.
- Suárez, M., Vidal-Abarca Gutiérrez, A., Rosario, M., Sánchez-Montoya, M. D. M., Alba Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada i Caparrós, N., Casas, J., Jáimez-Cuéllar, P., Munné, A., Pardo Guereño, I., Prat i Fornells, N., Rieradevall i Sant, M., Salinas, M. J., Toro Velasco, M., y Vivas, S. (2002). Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica*, 21(3-4), 135-148. <https://cutt.ly/ugblJW5>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y Consorcio para el desarrollo Sostenible de la Ecoregion Andina (2015) Diagnostico hídrico base, cuencas que abastecen de agua para el servicio de saneamiento de rioja. Rioja, Peru.
- Tamayo y tamayo (2006) El proceso de la Investigación científica. EG. Limusa, Noriega. Mexico.
- Takahashi, M. & Nakamura, F. (2011). Impacts of dam-regulated flows on channel morphology and riparian vegetation: a longitudinal analysis of Satsunai River, Japan. *Landscape and ecological engineering*, 7(1), 65-77. <https://cutt.ly/LgbzY0K>
- Terleira G., E. (2010). *Evaluación de la contaminación fecal del agua superficial de la cuenca media del Río Shilcayo ubicada entre la Bocatoma y el asentamiento humano Villa Autónoma* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Martín]. <https://cutt.ly/7gbmi3l>
- Torres P., L. V. y Vásquez H., W. (2017). *Determinación de la concentración de contaminantes físico química y bacteriológica en los cuerpos de agua superficiales de la margen derecha del río Mayo, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://n9.cl/z3ofl>
- Townsend, C. R., Dolédec, S., Norris, R., Peacock, K., & Ar Buckley, C. (2003). The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction. *Freshwater Biology*, 48(5), 768-785.
- Trujillo, G. (2018). *Relación entre cobertura de bosque y geomorfología fluvial con la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Mayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Molina, Lima].
- Vargas G., E. (1992). Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes. Colombia: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).
- Vargas, A. (2015). Gestión integrada del agua de riego en la cuenca baja del río Moche, Trujillo-Perú. (Tesis de maestría). Universidad de Piura, Piura.
- Verau V. (2009). Estudio de Adaptación al Cambio Climático en Alto Mayo servirá para crear estrategia ambiental en San Martín.
- Vergara S., Valencia, E., y Torres, L. (2013) Modelos espacio temporales de factores de deterioro del recurso hídrico para la gestión integral de la cuenca del río Mayo, San Martín *Investigación y Amazonia*, 3 (2), 105-109.
- Villón, M. (2011). Hidrología. 3a. ed. Lima, Perú: Edit. Villón.
- Voces, (septiembre-2015) *San Martín es la tercera región con mayor migración interna*. <https://cutt.ly/cgnzPBU>
- Vogel, Voces, (septiembre-2015). San Martín es la tercera región con mayor migración interna. Disponible en: www.diariovoces.com.pe/45219/san-martin-tercera-region-mayor-migracion-interna.
- Vogel, R. M. (2011). Hydromorphology. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147-149.
- Vrebos, D., Beauchard, O., & Meire, P. (2017). The impact of land use and spatial mediated processes on the water quality in a river system. *Science of The Total Environment*, 601, 365-373. <https://n9.cl/tx3bv>
- Wang, K.; Lin, Z. & Zhang, R. (2016). Impact of phosphate mining and separation of mined materials on the hydrology and water environment of the Huangbai River basin, *China. Sci. Total Environ*, 543, 347-356.
- Zhao, R.; Chen, Y.; Shi, P.; Zhang, L.; Pan, J. & Zhao, H. (2013). Land use and land cover change and driving mechanism in the arid inland river basin: a case study of Tarim River, Xinjiang, China. *Environ. Earth Sci*, 68, 591-604.

ÍNDICE PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA DE SISTEMAS FLUVIALES (IHG)

Sistema fluvial: _____ Sector funcional: _____ Fecha: _____

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

Naturalidad del régimen de caudal

Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico	10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detraciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	-2
si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos períodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2

Disponibilidad y movilidad de sedimentos

El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.	10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	-5
si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-2
si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-1
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad	-4
Importantes y frecuentes	-2
Puntuales	-1
En el sector hay indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales...) y pueden atribuirse a factores antrópicos	-2
Notables	-1
leves	-1
Las vertientes del valle y los pequeños afluentes que desembocan en el sector cuentan con alteraciones antrópicas que afectan a la movilidad de sedimentos, o bien su conexión con el valle, la llanura de inundación o el propio lecho fluvial no es continua.	-3
alteraciones y/o desconexiones muy importantes	-2
alteraciones y/o desconexiones significativas	-1
alteraciones y/o desconexiones leves	-1

Funcionalidad de la llanura de inundación

La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos.	10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	-3
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...), generalmente transversales, que alteran los procesos hidro-geomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida	-2
si hay abundantes obstáculos	-1
si hay obstáculos puntuales	-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	-3
si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie	-2
si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie	-1
si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie	-1

VALORACIÓN DE LA CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA

CALIDAD DEL CAUCE

Naturalidad del trazado y de la morfología en planta

El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema	10			
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce.	-8	-7	-6	-5
Si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos...)	-8	-7	-6	-5
Si, no habiendo cambios drásticos, se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones...).	-6	-5	-4	-3
Si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, si hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente.	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras	notables		-2	
	leves		-1	

Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales

El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico	10			
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	-5	-4	-3	-2
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3	-2
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2	-1
si hay un solo azud	-3	-2	-1	-1
hay puentes, vados, u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce.	más de 1 por cada km de cauce		-2	
	menos de 1 por cada km de cauce		-1	
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran indicios de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3	
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2	
	de forma puntual		-1	

Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación	10			
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias...) adosadas a las márgenes	-6	-5	-4	-3
en más del 75% de la longitud del sector	-6	-5	-4	-3
entre un 50% y un 75% de la longitud del sector	-5	-4	-3	-2
entre un 25% y un 50% de la longitud del sector	-4	-3	-2	-1
entre un 10 y un 25% de la longitud del sector	-3	-2	-1	-1
entre un 5 y un 10% de la longitud del sector	-2	-1	-1	-1
en menos de un 5% de la longitud del sector	-1	-1	-1	-1
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables		-2	
	leves		-1	
En el sector se observan indicios de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba.	notables		-2	
	leves		-1	

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL CAUCE

VALOR FINAL: CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA

CALIDAD DE LAS RIBERAS

Continuidad Longitudinal

El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita	10		
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias...) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos...)	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1

Anchura del corredor ribereño

Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico	10		
La anchura de la ribera superviviente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial
	-8	-6	-4
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial	-2	-1
si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0	
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2		
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 ó 3	-3		

Estructura, naturalidad y conectividad transversal

En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.	10			
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo...) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matanzado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual
si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2	-1
si las alteraciones son leves	-3	-2	-1	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones.	si las alteraciones son significativas		-2	
	si las alteraciones son leves		-1	
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos...) que alteran la conectividad transversal del corredor	-4			
si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas	-3			
si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas	-2			
si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas	-1			
si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas	-1			
si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10	si al aplicar estos puntos el resultado final es negativo, valorar 0		
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2			
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 ó 3	-1			

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS

Anexo B. Ubicación y georreferenciación de Puntos de Control Terrestre (GCP)



Fotografía 1. Ubicación y georreferenciación de GCP



Fotografía 2. Ubicación y georreferenciación de GCP



Fotografía 3. Ubicación y georreferenciación de GCP



Fotografía 4. Ubicación y georreferenciación de GCP

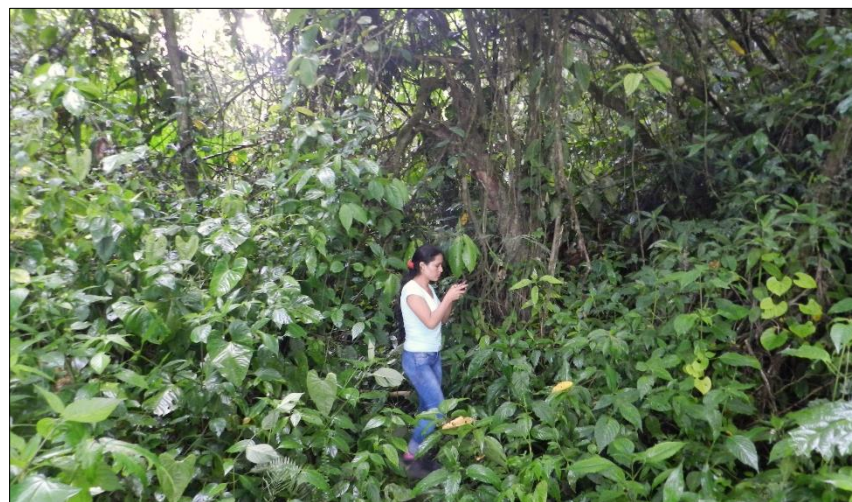


Fotografía 5. Ubicación y georreferenciación de GCP

Anexo C. Ubicación y georreferenciación de Áreas de Entrenamiento



Fotografía 6. Área de entrenamiento: AA



Fotografía 7. Área de entrenamiento: BO



Fotografía 8. Área de entrenamiento: PC



Fotografía 9. Área de entrenamiento: PC

Anexo D. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Tochima



Fotografía 10 y 11. Puente peatonal, defensas laterales e invasión de la llanura de inundación.



Fotografía 12 y 13. Puentes viales, disminución del caudal y plantas invasoras.



Fotografía 14 y 15. Puente vial, canalización y retención del cauce.



Fotografía 16 y 17. Puente vial, invasión y eliminación de las riberas.



Fotografía 18 y 19. Puentes viales y márgenes alteradas.



Fotografía 20. Puente con retención de sedimentos, puente en deterioro, déficit hídrico y corredor ribereño limitado.



Fotografía 21 y 22. Retención y canalización del cauce para riego, incisión y aflorando el sustrato.



Fotografía 23. Puente vial y peatona, incisión y aflorando el sustrato

Anexo E. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Negro



Fotografía 24 y 25. Naciente del río negro, incisión lateral provocada por extracciones en el cauce.



Fotografía 26 y 27. Puente vial Puente con retención de sedimentos



Fotografía 28. Presencia de actividades recreativas y lavado de vehículos.



Fotografía 29. Ruptura de continuidad en el corredor ribereño con deforestación



Fotografía 30 y 31. Puentes viales y peatonales, invasión de la llanura de inundación y déficit hídrico

Anexo F. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Naranjos



Fotografía 32 y 33. Incisión, aflorando el sustrato, provocado por extracciones en el cauce.



Fotografía 34 y 35. Captación y canalización de agua para riego.

Anexo G. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Naranjillo



Fotografía 36 y 37. Puente vial, invasión de la llanura de inundación y déficit hídrico.



Fotografía 38 y 39. Puentes viales e invasión de la llanura de inundación.



Fotografía 40 y 41. Retención de sedimentos, puente vial e incisión lateral por déficit sedimentario.



Fotografía 42 y 43. Retención del cauce e incisión lateral.



Fotografía 44. Canalización del cauce

Anexo H. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Serranoyacu



Fotografía 45 y 47. Condición de referencia para restauración.

Anexo I. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Avisado



Fotografía 48 y 49. Incisión de laderas por desnaturalización.



Fotografía 50 y 51. Ribera desestructurada con plantas invasoras y puente vial.

Anexo J. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Yuracyacu



Fotografía 52 y 53. Puente, incisión lateral, reducción del cauce por escombros y fondo de lecho destruido.



Fotografía 54 y 55. Área característico para sembríos de arroz, puente vial y presencia de plantas invasoras.



Fotografía 56 y 57. Desnaturalización hidrológica, puente vial y defensas longitudinales



Fotografía 58 y 59. Retención del cauce y fondo de lecho destruido.



Fotografía 60 y 61. Puente vial, incisión lateral y alteración de fondo del lecho del cauce.

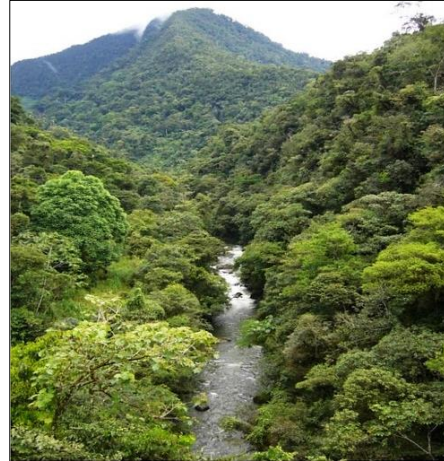


Fotografía 62 y 63. Incisión por desnaturalización y extracción de material sólido.



Fotografía 64 y 65. Canalización del cauce.

Anexo K. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Yanayacu



Fotografía 66 y 67. Condición de referencia de referencia y cauces encajados que limitan la accesibilidad.

Anexo L. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Cachiyacu



Fotografía 68 y 69. Cauces que limitan la accesibilidad y se aprovechan pequeños valles.

Anexo M. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Tioyacu



Fotografía 70 y 71. Condición de referencia de referencia y se aprovechan pequeños valles.

Anexo N. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Huascayacu



Fotografía 72 y 73. Escombros de un puente inservible, puente y corriente de agua detenida.



Fotografía 74 y 75. Puente en deterioro, puente vial y presencia de plantas invasoras.



Fotografía 76. Invasión de la llanura de inundación.



Fotografía 77. Desviación del cauce para riego.

Anexo O. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca del río Indoche



Fotografía 78 y 79. Las actuaciones en el cauce han provocado la deposición de finos.



Fotografía 80 y 81. Corredor ribereño maduro y extenso, con síntomas de incisión.



Fotografía 82. Puente vial y peatonal.

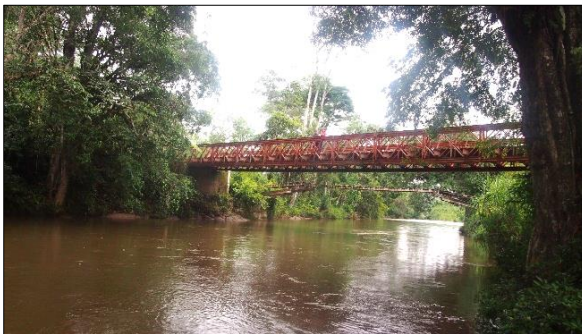


Fotografía 83. Puente vial y ribera deteriorada.

Anexo P. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca alta del Alto Mayo



Fotografía 84 y 85. Desviación el cauce natural, barreras longitudinales y déficit hídrico.

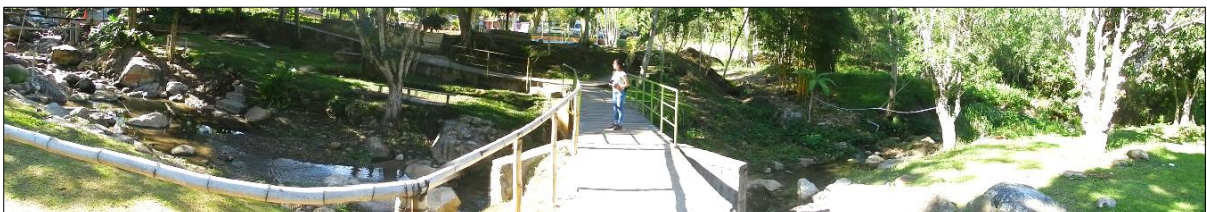


Fotografía 86 y 87. Puente y toma de puntos de control

Anexo Q. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca media del Alto Mayo



Fotografía 88 y 89. Puente vial y recreo turístico.



Fotografía 90. Invasión de la llanura de inundación y fondo del lecho del río destruido.



Fotografía 91 y 92. Puente vial y peatonal, y aplicación de la ficha IHG.

Anexo R. Evaluación de los sectores funcionales de la Subcuenca media del Alto Mayo



Fotografía 93. Ribera desestructurada e invasión de la llanura de inundación.



Fotografía 94. Invasión de la llanura de inundación.



Fotografía 95. Fondo del lecho del río destruido.