

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

“MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTEMICO DE RETENCION Y
EXPORTACION DE SEDIMENTOS, EN LA CUENCA DE INAMBARI -
MADRE DE DIOS”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE

AUTORES:

Bach. FIDHEL SANCHEZ, Jesús
Abdel

Bach. ROJAS TAIPE, LUSDILAN
Lisbeth

ASESOR:

Dr. ALARCÓN AGUIRRE, Gabriel

CO-ASESOR:

Mgtr. PILLACA ORTIZ, Jorge Martin

Puerto Maldonado, setiembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

“MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTEMICO DE RETENCION Y
EXPORTACION DE SEDIMENTOS, EN LA CUENCA DE INAMBARI -
MADRE DE DIOS”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE

AUTORES:

Bach. FIDHEL SANCHEZ, Jesús
Abdel

Bach. ROJAS TAIPE, Lusdilan
Lisbeth

ASESOR:

Dr. ALARCÓN AGUIRRE, Gabriel

CO-ASESOR:

Mgtr. PILLACA ORTIZ, Jorge Martin

Puerto Maldonado, setiembre del 2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi hijo, que es el motivo que me impulsa a seguir el día a día. A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo y nunca dejaron de creer en mí. A mis tíos, primos y abuela que me dieron la inspiración y motivación para seguir adelante en mis proyectos educativos por último y no menos importante a mis amigos presentes y a los que pasaron a mejor vida, que siempre estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas mostrando su apoyo incondicional; para ellos es esta dedicatoria de tesis pues es gracias a ello a quienes les debo el alcanzar mis metas y la persona que soy hoy en día.

Jesús A. Fidhel Sánchez

Agradezco a dios por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y profesional, por haberme dado una familia maravillosa por permitir conocer a mis docentes y amigos. Dedico esta tesis a mis padres Nancy y José porque sin ellos no lo hubiera logrado, les agradezco mucho por el apoyo incondicional por su amor y su paciencia. A mi esposo Gerson por estar apoyándome siempre en todo momento depositando su confianza, su amor y a mi hija Dayra por la enorme felicidad que me brinda y las ganas de seguir esforzándome día a día, enseñándome muchas cosas de la vida aun con su corta edad, ella será mi motivación más grande para seguir con éxito este proyecto.

Lusdilan Lisbeth Rojas Taipe

AGRADECIMIENTO

Primero y, antes que nada, dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por bendecirnos con salud e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestros caminos a todas las personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A nuestra casa de estudios UNAMAD por brindarlos la oportunidad de estudiar y adquirir nuevos conocimientos para desarrollarnos como futuros profesionales.

A nuestro Asesor Dr. Gabriel Alarcón Aguirre, por su tiempo y asesoramiento durante nuestro proceso de revisión y redacción de tesis.

A nuestro Co asesor Ing. Jorge Martin Pillaca Ortiz por instruirnos pasó a paso en el proceso de la elaboración de tesis.

A todos nuestros docentes por sus conocimientos, paciencia y dedicación en sus materias impartidas para formar la calidad de profesionales que somos hoy en día.

A los miembros del jurado Mishari Garcia Roca, Liset Rodriguez Achata y Jorge Garate Quispe, por la orientación, sus conocimientos y aportaciones para el mejoramiento de esta investigación, durante el proceso final de nuestra vida universitario.

Y por último a nuestros familiares por el apoyo incondicional que nos brindan cada día.

TURNITIN_JESUS FIDHEL Y LUSDILAN ROJAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	naturalcapitalproject.stanford.edu Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
6	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	www.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.inta.gob.ar Fuente de Internet	<1%

PRESENTACIÓN

La siguiente investigación se desarrolló en base a los requisitos para adquirir el título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, además de formar parte sobre el aporte para el modelamiento de cuencas hidrográficas basadas en la retención de sedimentos en zonas con alto índice en el impacto antrópico con la ayuda de herramientas de Sistemas de Información Geográficos (SIG). Con lo mencionado anteriormente, brindamos la información obtenida para ser usada como herramienta en el desarrollo y gestión de proyectos multidisciplinarios en la cuenca del Inambari y también se tome como guía para el desarrollo de más estudios relacionados.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue el modelamiento de la exportación y retención de sedimentos en la cuenca Inambari a partir del año 1985 hasta el año 2021 en intervalos de 5 años a excepción del escenario del 2021 que fue el más reciente de acuerdo la Land Cover proporcionado por Mapbiomas 4,0 y recalibrado con coberturas locales de minería, carreteras, etc. El tipo de investigación es descriptivo, correlacional y predictiva de noción no experimental longitudinal en donde se logra estimar la exportación de sedimentos logrando identificar las zonas más susceptibles de pérdida del recurso suelo. Los resultados obtenidos fueron que en el año 0000 (hipotético) los rangos son de 0 a 370,51 dando a conocer, que el escenario ideal donde no hay actividad antropogénica, cuenta con áreas que deberían ser de prioridad para el cuidado; mientras que en el escenario del año 2021 los rangos de exportación varían de 0 a 600,17 demostrando que la actividad antropogénica es de grave influencia según el: "Estándar de clasificación y calificación de la erosión del suelo" (SL 190-2007) siendo el nivel más crítico $150 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

Palabras clave

Pixel, minería aurífera, SDR, land cover, actividad antropogénica, Universal Soil Loss Equation (USLE), escenarios y ecosistémico

ABSTRACT

The purpose of this study was the modeling of the export and retention of sediments in the Inambari basin from the year 1985 to the year 2021 in 5-year intervals, except for the 2021 scenario, which was the most recent according to the Land Cover provided. by Mapbiomas 4.0 and recalibrated with local coverage of mining, roads, etc. The type of research is Descriptive, correlational and predictive of longitudinal non-experimental notion where it is possible to estimate the export of sediments, managing to identify the areas most susceptible to loss of the soil resource. The results obtained were that in the year 0000 (hypothetical) the ranges are from 0 to 370.51 revealing that the ideal scenario where there is no anthropogenic activity, has areas that should be a priority for care; while in the 2021 scenario, the export ranges vary from 0 to 600,17 demonstrating that anthropogenic activity is of serious influence according to: "Soil erosion classification and qualification standard" (SL 190-2007) being the most critical level $150 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$

Keywords

Pixel, gold mining, SDR, land cover, anthropogenic activity, USLE, scenarios and ecosystem

INTRODUCCION

Sudamérica comparado con otros lugares del planeta, cuenta una Amazonía con notable relevancia respecto a la geografía, climas, y recursos naturales, conformantes de la riqueza natural del continente Americano (Baldi, Nosetto y Jobbágy 2008); una definición de la palabra de ecosistema es planteada por Valverde, et al. (2005); quien lo explica como complejos de comunidades bióticas y componentes abióticos que realizan interacciones por intercambios de energía y materia.

Según el SERNANP (2004); el Perú es considerado entre los 10 países con mayor biodiversidad de la Tierra, debido a su diversidad de especies, ecosistemas, genética y cultura llena de conocimientos resaltantes.

Desde que el aprovechamiento de los ecosistemas se descontroló hace décadas, los científicos e investigadores prestaron atención al impacto que ejerce su acción en el equilibrio ecosistémico (Duarte et al. 2006); a medida del incremento de esfuerzos realizados referente al mantenimiento de los recursos naturales han permanecido en menor escala comparando con la dilatación de actividades antropogénicas (Gudynas 1975). La permuta de cobertura terrestre es de las más grandes catástrofes ambientales, resultante de actividades realizadas por el ser humano, que influyen impactos en la distribución y disponibilidad del recurso agua (Mango et al. 2011).

Comprender la influencia paisajística en el flujo estacional de agua y dinámica del suelo es de interés crítico en gestiones de cuencas hidrográficas. La contribución del recurso hídrico es dependiente de un conjunto de factores ambientales como el suelo, clima, pendiente, la vegetación y la trayectoria de flujo; según el enfoque anterior se da mayor importancia al suelo y su cobertura (Sharp et al. 2018).

La retención y pérdida de sedimentos son consideradas ciclos congénitos que gobiernan en la concentración de sedimentos en ríos y quebradas. La actividad de sedimentos es determinada generalmente por el clima (intensidad de lluvias), topografía, propiedades del suelo, vegetación; y factores antropogénicos. Entre las fuentes de sedimentos está implicado la erosión y

deslizamientos de la cobertura terrestre. Los sumideros son los lugares en donde se depositan los deslizamientos por lo general son lugares de planicie, inundación y finales del flujo de corriente. El cambio del uso del suelo y praxis de manejo del mismo modifican la cantidad de salida sedimento en la cuenca (Sharp et al. 2018).

Las agravantes de la retención y distribución de sedimentos son observados a nivel mundial, lo cual afecta también la calidad y la gestión de reservorios de agua (OMM. 2012). Por ende, el estudio de dichos cambios en la cubierta terrestre y su dominio en el cambio del ciclo hidrológico (creciente y escasez) de agua se convierten en argumento de gran relevancia por la indagación de la colectividad científica. Consecuentemente, la permutación del uso de suelo es temática indispensable en la planificación y gestión del recurso hídrico.

La cuenca del Inambari es sede permanente de la minería aurífera, desbosques, entre otras actividades que alteran el comportamiento de la hidrografía siendo variable a través de los años afectando enormemente las distribuciones de sedimentos debido a la erosión y lixiviación de suelos esto a su vez afecta al curso inmediato del cauce del río. Por este motivo realizar modelamientos contribuye en el proceso de comprensión de su comportamiento. Los trabajos realizados en esta categoría de investigación al pasar los años son más ajustados a la realidad y sus aplicaciones más enfocadas a la variabilidad ambiental (Mas et al. 2004).

ÍNDICE

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACION	16
1.1. Descripción del problema	16
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Variables.....	18
1.4.1. Dependientes	18
1.4.2. Independientes	18
1.5. Operacionalización de variables	19
1.6. Hipótesis	20
1.7. Justificación.....	20
1.8. Consideraciones éticas	21
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes De Estudio.....	22
2.1.1. Internacional.....	22
2.1.2. Nacional	24
2.2. Marco teóricas	26
2.2.1. Cuencas hidrográficas.....	26
2.2.2. Parámetros morfológicos de una cuenca.....	27
2.2.3. Evapotranspiración.....	28
2.2.4. Servicios ecosistémicos	28
2.2.5. Servicio ecosistémico de uso de suelos	29
2.2.6. ¿Qué es modelamiento geoespacial?.....	30
2.2.7. ¿Qué es inVEST?	30
2.2.8. Tipos de modelos.....	31
2.2.9. Escenarios	31
2.2.10. Modelamiento de Retención de Sedimentos.....	32
2.3. Definición de términos	33
CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION.....	37
3.1. Tipo de estudio	37
3.2. Diseño del estudio.....	37
3.3 Población y muestra.....	38

3.4. Métodos y técnicas.....	38
3.4.1. Lugar de estudio	38
3.4.2. Parámetros morfométricos	40
3.4.3. Información necesaria para el modelo Invest_{SDR}	41
3.5. Tratamiento de datos	43
3.5.1. Determinación de los parámetros morfométricos	43
3.5.2. Modelamiento de entrega de sedimentos.....	44
3.5.3. Pérdida de suelo anual	44
3.5.4. Relación de distribución de sedimentos	46
3.5.5. Exportación de sedimento.....	48
3.5.6. Capa de drenaje opcional	49
3.5.7. Limitaciones	49
3.5.8. Tratamiento estadístico:.....	50
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	51
4.1. Determinación de parámetros morfométricos de la cuenca del Inambari	51
4.2. Descripción dinámica del uso actual del suelo periódicamente del año 1985 al 2021	55
4.2.1. Uso de suelo del escenario del año 0000	55
4.2.2. Uso de suelo del escenario del año 1985	55
4.2.3. Escenario de uso de suelo del año 1990	57
4.2.4. Escenario de uso de suelo del año 1995	58
4.2.5. Escenario de uso de suelo del año 2000	59
4.2.6. Escenario de uso de suelo del año 2005	60
4.2.7. Escenario de uso de suelo del año 2010	61
4.2.8. Escenario de uso de suelo del año 2015	63
4.2.9. Escenario de uso de suelo del año 2020	64
4.2.10. Escenario de uso de suelo del año 2021	65
4.3. Determinar y describir la exportación periódica de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.....	70
4.3.1 Exportación de sedimentos.....	70
4.4. Determinar y describir la retención periódica de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari	90
4.4.1 Retención de sedimentos	90

4.5. Relacionar el impacto antrópico de la exportación y retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari	101
CONCLUSIONES.....	105
SUGERENCIAS	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXO.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Clasificación de forma	27
Tabla 3. Tabla de parámetros morfométricos.....	51
Tabla 4. Tabla de exportación de sedimentos del año 1985.....	72
Tabla 5. Tabla de exportación de sedimentos del año 1990.....	74
Tabla 6. Tabla de exportación de sedimentos del año 1995.....	76
Tabla 7. Tabla de exportación de sedimentos del año 2000.....	78
Tabla 8. Tabla de exportación de sedimentos del año 2005.....	80
Tabla 9. Tabla de exportación de sedimentos del año 2010.....	82
Tabla 10. Tabla de exportación de sedimentos del año 2015.....	84
Tabla 11. Tabla de exportación de sedimentos del año 2020.....	86
Tabla 12. Tabla de exportación de sedimentos del año 2021.....	88
Tabla 13. Tabla comparativa general de la exportación de sedimentos.....	101
Tabla 14. Tabla comparativa general de la retención de sedimentos.....	102
Tabla 15. Matriz de consistencia.....	116
Tabla 16. Matriz de operacionalización de variables.....	119
Tabla 17. Clasificación de la cobertura vegetal año 2021.....	120
Tabla 18. Clasificación de la cobertura vegetal año 2020.....	120
Tabla 19. Clasificación de la cobertura vegetal año 2015.....	121
Tabla 20. Clasificación de la cobertura vegetal año 2010.....	121
Tabla 21. Clasificación de la cobertura vegetal año 2005.....	122
Tabla 22. Clasificación de la cobertura vegetal año 2000.....	122
Tabla 23. Clasificación de la cobertura vegetal año 1995.....	123
Tabla 24. Clasificación de la cobertura vegetal año 1990.....	123
Tabla 25. Clasificación de la cobertura vegetal año 1985.....	124
Tabla 26. Clasificación de la cobertura vegetal año 0000.....	124
Tabla 27. Tabla de solidos suspendidos.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del ciclo hidrológico.....	26
Figura 2. Evapotranspiración de referencia.....	28
Figura 3. Clasificación de los servicios ecosistémico.....	29
Figura 4. Esquema clasificatorio de escenarios.....	32
Figura 5. Esquema de la “Ecuación universal de pérdida de suelo”	33
Figura 6. Área de Estudio.....	39
Figura 7. Elaboración índices de Erodibilidad y Erosividad.....	42
Figura 8. “Enfoque del modelo”. La relación de distribución de sedimentos y el recorrido de flujo (ecuaciones 3, 4, 5).....	47
Figura 9. Relación del indicador de conexión IC y SDR.....	48
Figura 10. Proceso estadístico del software ArcGIS.....	50
Figura 11. Relación entre la curva hipsométrica y la frecuencia de altitud...52	
Figura 12. Red hidrográfica de la cuenca de Inambari.....	54
Figura 13. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario 0000.....	55
Figura 14. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario 1985.....	56
Figura 15. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 1990.....	58
Figura 16. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 1995.....	59
Figura 17. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2000.....	60
Figura 18. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2005.....	61
Figura 19. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2010.....	62
Figura 20. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2015.....	64
Figura 21. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2020.....	65
Figura 22. Gráfico de torta del uso de suelo del escenario del año 2021.....	66
Figura 23. Crecimiento porcentual de las actividades antropogenica.....	67
Figura 24. Exportación por categoría antropogenica.....	68
Figura 25. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 0000.....	71
Figura 26. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 1985...72	
Figura 27. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1985.....	73
Figura 28. Resumen de exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el escenario 1990.....	74
Figura 29. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1990.....	75

Figura 30. Resumen de exportación de sedimentos por actividad antropogénica 1995.....	76
Figura 31. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1995.....	77
Figura 32. Resumen de exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2000.....	78
Figura 33. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2000....	79
Figura 34. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2005...	80
Figura 35. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2005.....	81
Figura 36. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2010...	82
Figura 37. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2010.....	83
Figura 38. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2015...	84
Figura 39. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2015.....	85
Figura 40. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2020...	86
Figura 41. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2020.....	87
Figura 42. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica 2021...	88
Figura 43. Mapa de exportación sedimentos para el escenario 2021.....	89
Figura 44. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 0000.....	91
Figura 45. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1985.....	92
Figura 46. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1990.....	93
Figura 47. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1995.....	94
Figura 48. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2000.....	95
Figura 49. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2005.....	96
Figura 50. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2010.....	97
Figura 51. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2015.....	98
Figura 52. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2020.....	99
Figura 53. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2021.....	100
Figura 54. Gráfica lineal de pérdida de sedimentos.....	101
Figura 55. Gráfica lineal de retención de sedimentos.....	103
Figura 56. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 0000.....	125
Figura 57. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1985.....	126
Figura 58. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1990.....	127
Figura 59. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1995.....	128
Figura 60. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2000.....	129

Figura 61. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2005.....	130
Figura 62. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2010.....	131
Figura 63. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2015.....	132
Figura 64. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2020.....	133
Figura 65. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2021.....	134

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Descripción del problema

La perturbación ecosistémica debido a eventos naturales o antropogénicas replantean el desempeño de productividad en el ecosistema, degradando el número de servicios que este pueda proveer (Tallis y Polasky 2009). Estas alteraciones son situados entre los principales desafío ambientales, haciendo gran énfasis en el ciclo hídrico (Feng et al. 2015).

La Amazonía es un lugar copioso de recursos hídricos no obstante, la deforestación, la permuta del uso de suelo y disminución de cubierta vegetativa disminuye el tráfico del agua, el aforo de permeabilidad del suelo, la circulación de sedimentos y desembarco anual (Galárraga y Torres 2001). De igual manera afecta en alteraciones del ciclo hídrico además puede afectar en alteraciones de patrones sobre la precipitación, evaporación y liberación una cuenca a nivel local, regional del país (Sant'Anna 2013).

Analizando los conceptos mencionados anteriormente, algo semejante podría estar aconteciendo en el sur oeste del Perú, tomando con énfasis la cuenca del Inambari, drenante de una parte de los ríos descendentes del lado sur oriental de la cordillera de los andes, que a través de los años se ha visto afectada por el minero, agricultores además de la expansión urbana. Según Luque-Ramos (2021) determinó que, en la última década, la extracción minera ilegal perturbo aproximadamente 7 000 ha. de bosques en localidades de Cachee, Huepetuhe, Río Inambari, además en zonas sensibles como la reserva del Manu y Bahuaja Sonene.

El crecimiento de la economía local conlleva a la extracción del material aurífero, agrícola y expansión urbana causando deforestación de bosques y aumento de sedimentos por el lavado de suelos en quebradas o riachuelos.

El dilema se estructura principalmente en la distribución de sedimentos ocasionado por el flujo de agua debido a la pérdida de cobertura boscosa ocasionada por factores antropogénicos, enfocándonos principalmente en la minería aurífera, puesto que es la actividad más recurrente en la cuenca del Inambari, por ello es de importancia la utilización de nuevas alternativas con la función de apoyar a los sistemas de resolución en gestiones del recurso natural, contribuyendo con procesos que vinculen métodos químicos, hídricos y biológicos en un grado de contribución a la toma de decisiones, con objetivo de satisfacer las necesidades humanas.

Con el uso del software InVEST se prevé generar modelos aplicando información de la cubierta del suelo en circunstancias ambientales, a través del modelo se podrá representar la distribución de sedimentos acopiado y exportados en el periodo de análisis.

Según las revisiones bibliográficas se ha comprobado que la información con respecto a la pérdida de sedimento en el departamento de Madre de Dios es escasa, también se espera que los resultados obtenidos puedan ser de utilidad por los Gobiernos locales para la gestión de proyectos para una mejor toma de decisiones.

Sobre el principio anteriormente aludido el proyecto de investigación plantea responder la siguiente incógnita: ¿En qué medida los cambios realizados por el hombre en la cobertura terrestre afectan en el servicio ecosistémico “SDR” en la cuenca del Inambari?

1.2. Formulación del problema

¿Cómo será el modelamiento del servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca del Inambari?

¿Cómo es la morfometría de la cuenca del Inambari?

¿Cuáles serán los escenarios más afectados, según la dinámica del uso actual de suelo, del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari?

¿Cuánta es la cantidad de exportación de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari?

¿Cuánto es la capacidad de retención de sedimentos que tiene la cuenca de Inambari del año 1985 al 2021?

¿Cuál es la relación entre la exportación y la retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Modelar el servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca del Inambari.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros morfométricos de la cuenca del Inambari como línea base para la descripción periódica.
- Analizar y describir la dinámica del uso actual del suelo periódicamente en los escenarios del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.
- Modelar y describir la dinámica de la exportación de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.
- Modelar y describir la dinámica de la retención de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.
- Relacionar el impacto antrópico entre la exportación y retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari.

1.4. Variables

1.4.1. Dependientes

- Exportación y retención de sedimentos.

1.4.2. Independientes

- Perturbación antrópica

- Perturbación natural

1.5. Operacionalización de variables

En la siguiente tabla se detalla la operacionalización de variables identificadas.

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE				
DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Modelamiento del servicio ecosistémico de Retención y exportación de sedimentos	Provee información que nos permite monitorear los movimientos de sedimento que se dan en la cuenca.	(tons·ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Fórmula universal de disminución de suelo (RUSLE)	47
VARIABLE DEPENDIENTE				
DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
Perturbación antrópica	Actividades realizadas por el ser humano en el área de estudio	Agricultura Minería Carreteras Áreas sin vegetación natural	Cambio de cobertura de suelo	45
Perturbación natural	Fenómenos naturales causantes de pérdida de sedimentos	Cobertura vegetal Pendientes Erosividad Erodibilidad	Cambio de cobertura de suelo	44

1.6. Hipótesis

H_a- La actividad antropogénica afecta en gran magnitud al servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca de Inambari.

H₀- La actividad antropogénica no afecta en gran magnitud al servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca de Inambari.

1.7. Justificación

El agua como recurso natural es fundamental para los ecosistemas, además la contención y erosión de sedimentos geológicos son procedimientos naturales regidos por la aglutinación de sedimentos en surtidores de agua. Los cuales influyen en el sustento de comunidades nativas o centros poblados ubicados en la cuenca del río Inambari.

Por estos motivos las consecuencias de cambios sobre la cubierta vegetal y alteraciones climáticas en la disponibilidad del agua causan interés y requerimiento de investigación en el departamento. La proposición de este estudio hídrico va centrada en la cuenca Inambari sobre la llanura Amazónica de los departamentos de Madre de Dios, Puno y Cusco.

De igual forma es imperioso examinar alternativas sobre la ocupación del suelo y alteraciones climáticas, para adquirir información de probables alteraciones en la disposición hídrica y lograr una óptima percepción de la respuesta hídrica de la cuenca en base a limitantes futuras. Toda la indagación lograda es importante para formar políticas que argumenten a la dinámica del bien hídrico ligadas a la variabilidad climática. También, proyectar a futuro el revestimiento y uso del suelo, el agua y efectuar determinadas estrategias para implementar proyectos nuevos como el levantamiento de represas. Esta orientación permite a los gestores de proyectos tomar en cuenta consecuencias ligadas a sus decisiones (Tallis y Polasky 2009).

Esta clase de análisis son basadas en políticas que desarrolla la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos del ANA que se ha constituido

la exigencia de elaborar instrumentos de gestión y estrategia Nacional para mejorar la calidad del recurso hídrico (ANA 2015). Esto se consigue por medio de una dirección de entendimiento de la dinámica de cuencas en base a modelos de desplazamiento de sedimentos.

1.8. Consideraciones éticas

De acuerdo a las normas de conducta buena en la investigación se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se utilizará información cartográfica certificada, publicada y reajustada para evitar errores en los resultados del modelo ajustando los resultados lo más posible a la realidad.
- Los softwares usados en la investigación contaran con sus respectivas licencias y autorizaciones.
- Se respetarán las normas impuestas por el laboratorio de la UNAMAD "CETARGEN" y sus respectivos encargados.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes De Estudio

2.1.1. Internacional

Según Núñez-Lara y Molina-Forero (2017) El desgaste y conservación de sedimentos forman parte de los procesos naturales que se dan en la agrupación de sedimentación en corrientes de agua. Esta dinámica es determinada por el clima, particularidades del suelo, vegetación, topografía y factores antropogénicos. El uso del suelo y cambios de las prácticas de antropogénicas son fundamentales al momento de calcular la pérdida de sedimentos arrastrados por la cuenca. La dimensión del efecto está regido principalmente a través de fuentes del sedimento, su distribución espacial y sumideros. El resultado del modelo del programa SIG INVEST calcula la carga de sedimento, que se entrega en la corriente en una escala anual, así también el volumen del sedimento erosionado y retenido a través de la vegetación.

Según Bouguerra y Jebari (2017); Gracias a su clima y características físicas, Túnez ofrece muchas condiciones favorables para la erosión hídrica inicial. Este fenómeno amenaza gravemente los recursos naturales de tierra y agua. Este estudio tiene como objetivo identificar las áreas más vulnerables para ayudar a los gerentes a implementar planes de manejo efectivos. Las capas temáticas y los parámetros están incluidos en el SDR (coeficiente de transporte de sedimentos) de InVEST (Evaluación Integrada de Servicios Ambientales y Compensación). Los resultados calcularon la pérdida de suelo y producción de sedimentos y los comparó con datos de observación. Con el eje de la presa como salida principal, la cuenca del río Le Maire se divide en 17 subcuencas. Los resultados mostraron que aproximadamente el 60% de la

cuenca perdió más de 5 ton/ha/año de suelo. Los mapas de erosión del suelo muestran que el riesgo de erosión del suelo aumenta con la pendiente, especialmente en tierras agrícolas. Las subcuencas se priorizaron en función del riesgo de erosión del suelo. Los resultados mostraron que en la cuenca nro. 16 tuvo la mayor pérdida de suelo de 65 ton/ha/año. Las áreas submarinas con un alto riesgo de erosión del suelo deben tener prioridad en la planificación de la protección.

Según Zhu y Zhang (2019). El distrito Maiji en la ciudad de Tianshui se encuentran regiones transitorias semiáridas y semihúmedas que son ecosistemas frágiles, por ende, son de interés científico y práctico el análisis y de sus factores y características influyentes de la erosión. Basándonos en modelos GIS, RS e InVEST-SDR, esta investigación simula la erosión en año 2015 y analiza efectos de diversos a factores influyentes en la erosión del suelo. Los resultados fueron: 1) En el año 2015, la erosión del AOI (Área de Interés) fue leve, en espacial la parte noreste del AOI estando más erosionado que en otras regiones; 2) El impacto que brinda la cobertura vegetal en la erosión presentan un patrón bimodal; 3) El efecto de la topografía en la erosión tienen valores críticos en 1300 msnm y 30 grados.

De acuerdo a Guo et al. (2023). Con el fin de proporcionar una base científica para la prevención y el control de la pérdida de suelo y agua en la región del río Huaihe, este estudio utilizó el modelo InVEST-SDR para evaluar los cambios temporales y espaciales de la erosión y la conservación del suelo y el agua en el río Huaihe región en 2010, 2015 y 2020. , y utilice bosques de muestra y geodetectores para estimar y cuantificar los impulsores, respectivamente. Los principales resultados son los siguientes. (1) De 2010 a 2020, la erosión y conservación del suelo en la región del río Huaihe se intensificaron gradualmente, pero la tendencia de distribución geográfica no cambió todos los años. (2) Los bosques aleatorios y los geodetectores muestran que los cambios en la pérdida y retención del suelo están influenciados principalmente por la pendiente y la precipitación. (3) La pendiente y topografía son los factores principales que afectan la erosión. La pérdida de suelo y la retención de suelo varían ampliamente entre los

diferentes usos de la tierra. Los bosques juegan un rol vital en la conservación del suelo y el agua.

2.1.2. Nacional

Según Robiglio et al. (2014). Perú cuenta con la 4^{ta} área de bosque tropical con mayor extensión en el mundo, del mismo modo enfrenta una alta tasa de deforestación empeorando paulatinamente. En el año 2008, con el fin de contrarrestar esta amenaza, el gobierno anuncia su ideología de mitigar la deforestación para el año 2021. Por medio de revisiones bibliográficas y entrevistas, el presente estudio determinad por dos años de disposición para la organizar tendencias REDD+ tomando en cuenta seis principios fundamentales. Surgiendo patrones mixto resultantes. No obstante, se logró avances relevantes con iniciativas de nivel local y nacional. Tres desafíos principales persisten: (1) brindar más participación y coordinación a las entidades gubernamentales afiliadas con la gestión de REDD+, (2) mejor entendimiento por parte de conductores y agentes que aprovechan los RRNN y (3) añadir políticas REDD+ en planes regionales y nacionales, influyentes en el entendimiento del cuidado y diseño de planes de incentivos. La planificación de uso de cobertura del suelo se plantea como el fin de fomentar la plática para conciliar los puntos de vista en conflicto por las partes interesadas y resolver las disputas que estas generen.

Según Cabrejos (2016), el estudio se hizo a través del uso del modelamiento geoespacial, con uso de programas SIG, el reconocimiento de áreas de erosión y/o frágiles; posteriormente se cuantifico con el uso de la fórmula Universal de Desgaste de Suelos (USLE), Finalmente se propuso alternativas aceptables de conservación en zonas amenazadas por erosión hidrológica. El estudio se basó en adjuntar información física y digital, requiriendo información como land cover, precipitación, suelos, fisiografía, pendiente, geología e información socio-económica. Con dicha información se ejecutó el procesamiento de imágenes de satelitales y modelamiento espacial que consistió en el intercambio de la parte social, biótica y física dispensando una cuantificación y ponderación de todas las variantes dependiendo del grado de repercusión para la investigación; posteriormente, se realizó el modelo

cuantificado, con todas las variables comprometidas del modelo de la ecuación USLE. Como resultado; se logró identificar que el área que presenta mayor incidencia erosiva son aquellas encontradas en los lugares más altos de las zonas de trabajo y las riberas de ríos presentan los niveles más bajos.

Según Arteaga y Ochoa (2022), en la parte baja de la cuenca transfronteriza Catamayo (Ecuador)-Chira (Perú) se encuentra el embalse multifuncional Poecho, prioritario para la expansión económica al norte del país; Sin embargo, debido al mal uso del recurso suelo de la cuenca, la presa se saturó de sedimentos y residuos. La determinación gerencial de embalse de elevar el nivel del agua no consideró trabajar con agricultores y pobladores de la cuenca para encontrar opciones de manejo sustentable de la tierra. bajo el siguiente contexto, el objetivo del estudio es simular prácticas de manejo y conservación de suelos para estimar la cantidad de sedimentos usando la “Tasa de Transporte de Sedimentos” (SDR) haciendo uso del software “InVEST 3.9.0” recomendando praxis adecuadas en condiciones reales de la cuenca. Además, se modeló la generación de sedimentos a partir de cambios en el uso de la tierra de las últimas 3 décadas. Este estudio proporciona una herramienta de gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) para equilibrar a los usuarios (beneficiarios) y proveedores de agua que han degradado sus suelos. Como resultado, la “GIRH” puede transcurrir de una propuesta a procesos críticos impulsores de políticas y acuerdos para generar aguas limpias y abundante a los países participantes. De igual manera, se apoya la gestión y sostenimiento de las cuencas hidrográficas y sus recursos asociados para incrementar el bienestar económico y social de ambos países de manera equilibrada.

(Gutierrez Pacco, Supo Espinoza y Alvarez Tapara 2023) indican que; la Cuenca de Huancane-Puno, Perú, tiene una superficie de 3631,18 km² y sus ecosistemas brindan servicios productivos, algunos de los cuales están subvalorados, por lo que el objetivo fue aplicar el modelo INVEST (SDR) a la Cuenca de Huancane. La metodología desarrollada es una aplicación del “software InVEST”, para la utilización del modelo es importante procesar las variables del modelo “INVEST (SDR)”, por ejemplo: el “DEM”, erosión pluvial

“factor R”, erosión del suelo “factor K”, uso del suelo “factor C” y medidas de apoyo “factor P”. Obtenido de la relación rojo-verde, el valor de retención más alto es 5738.44 ton/año, y el coeficiente de descarga de sedimentos es la pendiente, pero cuando la pendiente es $< 5\%$, es el dominante en áreas agrícolas con alta retención de sedimentos (zonas de retención de sedimentos). En conclusión, las simulaciones en retención de sedimentos de la cuenca de Huancané arrojaron resultados satisfactorios, aumentando el conocimiento del ecosistema

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cuencas hidrográficas

Un principio vital del estudio en ciclo hidrológico se denomina cuenca hidrográfica. Es un área captadora natural de agua procedente generalmente de precipitaciones, en rumbo por redes de drenaje a un desfogue único (Monsalve 1999).

Se entiende como ciclo del agua a la representación del flujo del agua en la superficie del planeta (Figura 1); se considera como la disposición en un área, envuelta por un margen que recibe agua en carácter de precipitación, trabaja íntimamente en ella la escorrentía y acumulación generando sus correspondiente pérdidas (evaporación y evapotranspiración) (Chow y Maidment 1994).



Figura 1. Representación del ciclo hidrológico (Eoearth 2010).

2.2.2. Parámetros morfológicos de una cuenca

Son características particulares con las que cuenta una unidad hidrográfica que aporta la mayor información con el fin de brindar una línea base para una investigación de mayor precisión.

- **Parámetros generales.** - En esta categoría se agrupan aspectos fundamentales de la cuenca contribuyendo con características mínimas esenciales conocer una idea del comportamiento y naturaleza de la cuenca. Incluyen: (área, longitud, perímetro, ancho y desnivel altitudinal)
- **Parámetros específicos**
 - ❖ Parámetros de forma. - La forma de la una cuenca determina el comportamiento hidrológico por ello ciertos parámetros tratan de estimar sus particularidades morfológicas a través de coeficientes o indicadores como (Coeficiente de Compacidad y Factor de Forma de Horton)

Tabla 2. Clasificación de forma

CLASE DE FORMA	INDICE DE COMPACIDAD (K_c)	FORMA DE LA CUENCA
Clase I	1,0 a 1,25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1,26 a 1,50	Oval - redonda a oval oblonga
Clase III	1,51 a más de 2	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

- ❖ Parámetros de relieve. - Son de relevancia debida que el relieve cuenta con mayor influencia sobre la forma; por lo tanto, podemos decir mientras mayor sea la pendiente la escorrentía producida es en lapsos menores de tiempo. Los fundamentales son: pendiente promedio de la cuenca (j), pendiente promedio del cauce (J), histograma de frecuencias altimétricas (H) y curva hipsométrica.
- ❖ Características de drenaje.- Se refiere al curso o trayectoria que guardan los cauces entre sí de las corrientes naturales dentro de ella (López y Aguirre 1987), La densidad de drenaje es caracteriza de manera cuantitativa por la red hidrográfica, a través de la relación del grado entre la clase de red y el material predominante de la zona (Gaspari 2002)

Los parámetros descriptos basan su precisión en el análisis SIG, cuyo objetivo final es la creación de una de línea base digital de morfología de la cuenca, que posteriormente se usara en el procedimiento inicial para la descripción del proyecto.

2.2.3. Evapotranspiración

Es la agrupación de procesos en el cual el agua cambia a estado gaseoso (Figura 2). Este desarrollo es fundamentalmente la evaporación desde la superficie de la cobertura terrestre, vegetación y cuerpos de agua (Chow y Maidment 1994).

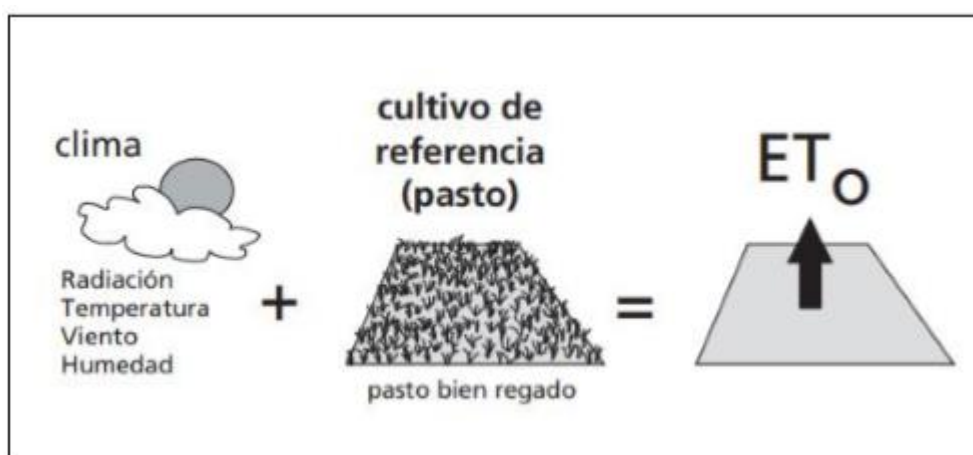


Figura 2. Evapotranspiración de referencia (FAO 2006).

2.2.4. Servicios ecosistémicos

Contribuyen a la factibilidad de la vida, al proporcionar servicios y bienes de maras indirectas o directas, con la finalidad de ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales (FAO 2017); Es interpretado como ecosistema al embrollado dinámico de sociedades de seres vivientes e inertes, interrelacionadas como un unidad funcional (Valverde et al. 2005)



Figura 3. Clasificación de los servicios ecosistémicos (MEA. 2005).

(Figura3); Dicha interrelación es de fundamental para los humanos mas no se logra sin generar consecuencias, por este motivo se examina contar con una conducción sustentable de los servicios y recursos que ofrece el ecosistema, sin afligir o desbaratar el ecosistema (Kosmus y Renner 2012).

2.2.5. Servicio ecosistémico de uso de suelos

El suelo, es un recurso natural (RRNN) finito y no renovable que brinda una gama de servicios ecosistémicos y/o ambientales, uno de estos es su contribución en los ciclos bio-geoquímicos de elementos químicos como nitrógeno (N) y carbono (C) entre otros, que ininterrumpidamente y producto de la energía, cambian de sistemas orgánicos a componentes inorgánicos del planeta. No obstante los servicios de mayor renombre son aquellos que son utilizados para la producción de materia prima y alimentos de la sociedad son dependientes (CONABIO 2016; Milena et al. 2009; Montanarella 2015).

Además, se puede afirmar que el suelo tiene influencia considerable en el medio en el que se encuentra y afecta sobre dinámicas económicas y sociales de poblaciones humanas habitantes del territorio, comunidades que participan de diferente categoría de usos sobre el suelo y de esa manera afectan desgastándolo (Gardi et al. 2014). La cronología histórica cuenta cómo el suelo y los seres humanos crecieron de la mano, por otra parte es omitido cuando el enfoque es en los recursos de la naturaleza (Burbano 2013). Es por este motivo, que hoy en día se dice "Debe haber un manejo respetuoso del suelo, no solo para incrementar la producción de alimentos sino para preservar los servicios ecosistémicos y regular el clima" (FAO - ITPS 2015).

2.2.6. ¿Qué es modelamiento geoespacial?

Según SIGMUR (2005) la labor de todo programa es el proceso de información a través de instrucciones, en un lenguaje informático con la capacidad de cambiar símbolos dando como resultado situaciones específicas en mundo real; en el caso SIG se representan como pixeles y variables geoespaciales.

La capacidad del ser humano se desenvuelve sin problemas a pesar de su vago e inconcluso conocimiento; no obstante, esta situación no ocurre en computadoras, en este particular caso dichas descripciones realistas que se usan no contienen errores ni ambigüedades. Es por ello que el lenguaje informático sigue reglas estrictas en su lógica y entrega un resultado preciso de la situación en el mundo real simbolizado a través de pixeles (SIGMUR 2005).

2.2.7. ¿Qué es inVEST?

InVEST “Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs”, es una agrupación de modelos usados para generar cartografía y valorar bienes y servicios del ecosistema que suplementan la existencia humana. Si son suministrados favorablemente, dichos ecosistemas originan flujos de servicios vitalicios para los seres humanos, que incluyen la adquisición de bienes (alimentos), procedimientos de sustento vital (saneamiento del agua) conjuntamente de escenarios de vida (conservación) por ende amparo de opciones (pluralidad genética). Pese a su significancia, dicho fundamento natural se entiende pobremente, poco regulado y hay casos donde se contempla apresuradas atenuaciones y empobrecimiento (Sharp et al. 2018).

InVEST proporciona el alcance de tomar decisiones, evalúa retribuciones cuantificadas y afiliadas con opciones de dirección e identifica áreas en las que hay variaciones del recurso natural, gesta desarrollo y fomenta la permanencia de la humanidad. Hoy en día, el software cuenta con 18 modelos diferentes de “servicios ecosistémicos” proyectados para ecosistemas, costeros, marinos, de agua dulce y terrestres, conjuntamente de un grupo de

"herramientas auxiliares" con el fin de enfocar y procesar datos de ingreso para interpretar y visualizar resultados (Sharp et al. 2018).

2.2.8. Tipos de modelos

- Efecto del borde del carbono del bosque.
- Secuestro de carbono y almacenamiento.
- Carbono costero azul.
- Rendimiento estacional de agua.
- Proporción de distribución de nutrientes.
- Distribución de sedimentos.
- Vistas sin obstrucciones: disponibilidad de condición escénica.
- Visita: turismo y recreación.
- Obtención de energía de olas.
- Obtención de energía eólica marítima.
- Producción acuícola marítima.
- Pesquerías.
- La productividad de cultivos.
- Rendimiento de agua estacional.

2.2.9. Escenarios

Los escenarios son definidos como "Una secuencia de eventos descritos que corresponden a una realidad pasada o presente, así como también a una situación potencial futura" (UNOPS 2017). Estas variantes logran afectar o beneficiar la disposición en un porvenir sobre la explicación del escenario, estos son de procedencia antrópica o natural (Mahmoud et al. 2009).

Mahmoud et al. (2009), precisa de modo genérico 2 tipos de escenas; anticipatorios y exploratorios.

Los Escenarios explorativos detallan el escenario a futuro en base a procesos cambiantes fundamentados y extrapolaciones pretéritas (Figura 4), a la vez estos se dividen en "Escenarios Proyectivos", que usan predisposiciones en períodos pretéritos; o "Escenarios Prospectivos", que preludian cambios próximos distintos en base al pasado (McCarthy et al. 2001); Entretanto, un

Escenario Anticipatorio es proyectado como uno en donde se asignan visiones planteadas o evitadas un futuro, en respuesta toma de decisiones y políticas; entonces, pueden ser planteados por usuarios de criterio científico o participantes involucrados en gestión y perfección de políticas (Mahmoud et al. 2009).



Figura 4. Esquema clasificatorio de escenarios (Mahmoud et al. 2009).

2.2.10. Modelamiento de Retención de Sedimentos

Existen diversidad de estudios en los cuales se analizó el uso del suelo y disputas que tienen implicancia con el agua existente en áreas diversas. Según las investigaciones, las nacientes de agua y su uso constante generan conflictos en la población, tomando énfasis en los campesinos y la existencia normas limitantes en el uso de suelos y el paulatino avance agrícola sin mencionar el establecimiento áreas conservacionales prohibiendo la agricultura y la ganadería (Vargas-Gaitán 2016).

Los cambios experimentados en ecosistemas por motivos antrópicos afectan directamente la comodidad humana por ende los servicios obtenidos; Se discrepa que el requerimiento humano sobre los ecosistemas aumentara de manera drástica en décadas siguientes. Dicho problema contrasta directamente con la degradación, año a año mostrada de manera más dramática resaltando la capacidad para conceder servicios. Se alega que aproximadamente un 40% de suelos agrícolas a nivel mundial se degradaron durante la segunda fracción del siglo pasado (FAO 2017).

El modelo de entrega de sedimentos, es de carácter espacial explícitamente de modo que labora en resolución del ráster sobre el “Modelo de Elevación Digital” (DEM). Por cada píxel, el modelo calcula cantidades de desgaste del suelo anual de un píxel (Figura 5), posteriormente correlaciona la entrega de sedimento (DEG), que brinda la distribución de deterioro del suelo que efectivamente llega al flujo de corriente. Cuando el sedimento alcanza el curso de la corriente, conjeturamos que finaliza en el desfogue de la cuenca, es por este motivo no se modelan los procedimientos de la corriente. Este punto de vista fue planteado por (Borselli, Cassi y Torri 2008) e influencio una atracción exponencial en la última década (Cavalli, Trevisani y Marchi 2008; López-Vicente et al. 2013; Sougnez, Wesemael y Vanacker 2011).

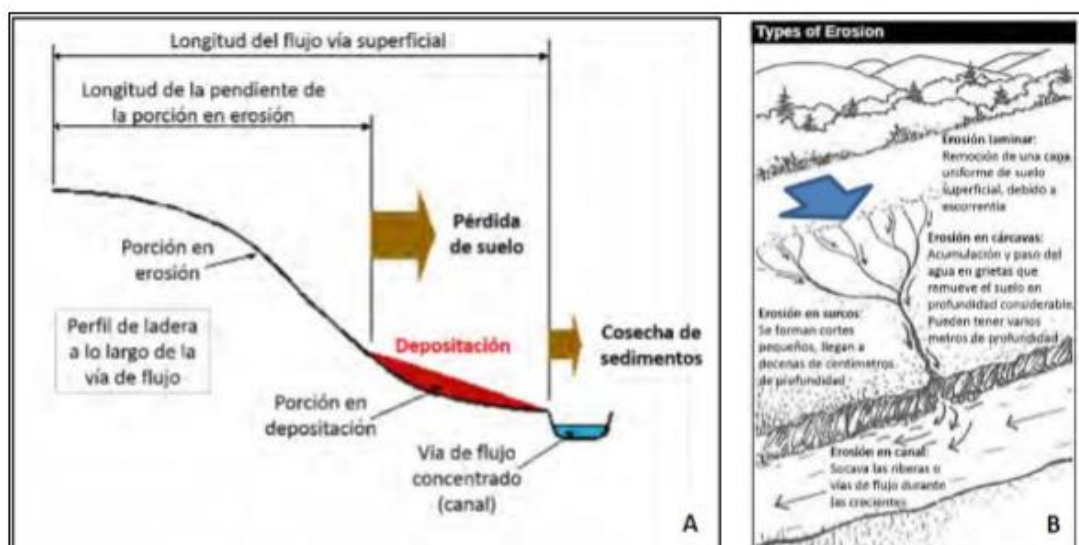


Figura 5. Esquema de la “Ecuación universal de pérdida de suelo” (Anne-Gondor 2014).

Para precisar la retención, el deterioro del potencial del suelo y distribución de sedimentos (Figura 5 A y B), el modelo calcula la pérdida de suelos por medio de la Fórmula General de (USLE).

2.3. Definición de términos

Precipitación. - Es toda forma de hidrometeoro caído de las nubes y alojándose en la superficie terrícola. Dicho fenómeno engloban lloviznas, lluvia, granizo, nieve, aguanieve, excluyendo virga, rocío y neblina siendo modos de condensación (Méndez 2016).

Píxel.- Son elementos componentes de una fotografía o imagen, dispuestos por celdas en columnas y filas (Labrador, M, Évora y Arbelo 2012).

Alteraciones antropogénicas.- Alteración ocasionada por la acción del hombre sobre el medio (Barreiro y Roche 2000).

Modelamiento.- Son herramientas que cuantifican servicios relacionados, con el fin de estimar una aproximación real del entorno (Vigerstol y Aukema 2011).

Escenarios.- Son sucesiones de acontecimientos detallados correspondientes a realidades pretéritas o presentes, así también como a una disposición con potencial futuro (UNOPS 2017).

Software InVEST.- “Valoración Integrada de los Servicios Ecosistémicos y Compensaciones” (InVEST).

TEEB.- “La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad” (TEEB).

Recursos naturales (RRNN).- Sistemas de ecosistemas o transiciones netas, de carácter abióticos o bióticos, irascible a ser explotados por la actividad humana (Barreiro y Roche 2000).

Sistemas de información geográficas (SIG).- Sistemas que facilitan examinar, enseñar y descifrar hechos reales de un área determinada (Olaya 2014).

Imágenes satelitales.- Imagen capturada a través de un sensor midiendo energía a partir de bandas espectrales a más (Labrador, M., Évora y Arbelo 2012).

Ordenamiento Territorial OT.- Política de un estado o proceso político, administrativo y técnico la cual contribuye para toma de elecciones establecidas por actores económicos, sociales, técnicos y políticos, para el ordenamiento adecuado y uso sostenible territorial (MINAM 2010).

Bosques no inundables.- Este bosque es tiene una plataforma con una pendiente de 0-15 % y tiene una altitud sobre los 10 m de altitud respecto al nivel hidrográfico, en su mayoría alejadas de fuentes de agua, estas

plataformas pueden ser onduladas, planas, o disectadas (representa un proceso erosivo) esta produce disecciones en distintos grados de intensidad (MINAM 2014).

Bosques inundables.- La cobertura boscosa de bosques inundables son susceptible a inundaciones debido a su relieve “debajo de los 5 m de altura respecto al nivel de las aguas” con pendientes inferiores a 2 % y establecido por suelos aluviónicos frescos, originados por el arrastre de materiales por las unidades hidrográficas que discurren (MINAM 2014).

Humedales.- Se refiere a una amplia variedad de hábitats, que comparten características en común como suelos escasos material orgánico, pésimo drenaje y ácidos, los cuales se inundan durante la temporada de lluvias y tienden a secarse parcialmente durante la temporada seca; Esta clase de cobertura se conforma principalmente por plantas de carácter herbáceas y poáceas según la zona sobre la que emerjan, la especie representante son las palmeras representada por la especie *Mauritia flexuosa* (MINAM 2014).

Praderas.- Las praderas son un tipo de bioma caracterizado en principio por climas templados y sobre todo una vegetación conformada sobre todo por matorrales, hierbas y escasos árboles, que ocupan terrenos planos u ondulados; según sus propiedades del suelo tiene una textura areno-limosa con un bajo porcentaje de material orgánico; brindando una cobertura al suelo menor al 35%, su altura máxima no supera el 1,5 metros de altura (MINAM 2014).

Bosque montano.- Es un ecosistema andino principalmente representado por bosques mixtos de árboles caducifolios y coníferas, en un clima frío-templado, con temperaturas rondando los 8°C-15°C. Son regiones que han cedido paso a la agricultura y ganadería (MINAM. 2014).

Carreteras no pavimentadas. - Son vías de accesibilidad o caminos que están conformados por grava o suelo afirmado en el terreno natural para el tránsito de vehículos y personas.

Carretas pavimentadas. - Son vías de accesibilidad o carreteras afirmadas con superficies conformadas por mezclas de concreto o asfalto.

Agricultura.- Según Tello (2013); es un sistema concebido a través del cambio un ecosistema natural, manejado por la actividad antropogénica por medio de la labranza y cultivo del suelo además se incluyen trabajos que se asocian a tratamientos del terreno y sus coberturas de vegetales. Las ocupaciones agrícolas suelen designarse a producir alimentos.

Área sin vegetación natural. - Son áreas de suelo desnudo o semidesnudo, que pueden o no ser afectadas por la actividad antropogénica, no obstante, no cuentan con cobertura vegetal significativa.

Minería. - Son coberturas de suelo que fueron intervenidas por el hombre (actividades antropogénicas) con la finalidad de la extracción del material aurífero.

Según Pillaca (2018), “se determinan cuatro tipos de cobertura después de la actividad antropogénica”, que son: suelo desnudo (arena, arenilla, escasa materia orgánica), montículos de cascajo (piedras menores a tres pulgadas de diámetro y limo), regeneración natural (suelo desnudo pero con cobertura vegetal de arbolillos de topa y otras especies) y pozas de minería (cuerpos de agua formados por el suelo removido para buscar oro).

Río, lago u océano. - Es parte de la cobertura terrestre que está compuesta por H₂O en su estado líquido, los ambientes hidrográficos más importantes de la cuenca del Inambari son los ríos, lagos y quebradas los cuales escurren por las zonas de menor relieve topográfico.

Glaciar. - Es un ecosistema andino, ubicado entre los 4 500-5 000 msnm. Representado por suelos descubiertos y crio turbados, con mínima presencia de vegetación crio turbada (sin ser superior de los 30 cm), siendo en superioridad asteráceas, gramíneas, líquenes, entre otras; su principal características son los glaciares “son masas de hielo” acumulados en los pisos más altos del país (MINAM. 2014).

CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de estudio

La presente investigación es de clase Descriptiva, Correlacional y Predictiva.

Es Tipo Descriptivo, porque se seleccionan a una agrupación de variables midiendo cada una independientemente, con la finalidad de describirlas buscando comprender los atributos de mayor importancia del fenómeno (Cohen, Manion y Morrison, 2010).

Tipo correlacional, porque "Intenta asociar grados de relación a través de hipótesis y de técnicas de estadística para lograr la relación" (Cohen, Manion y Morrison, 2010).

Tipo predictiva, porque es basada en determinación de teorías e hipótesis de modo que el enfoque se centra en el análisis de prácticas empleado por los participantes" (Cohen, Manion y Morrison, 2010).

3.2. Diseño del estudio

La actual investigación es centrada en la noción de investigación no experimental longitudinal.

La investigación es considerada no experimental porque consiste e observar los fenómenos sin intervenir en su desarrollo ni manipular variables, es decir, se observa un echo tal como es en su ambiente natural y se colectan los datos para analizar (Pereyra 2022); y es considerada diacrónica o longitudinal debido a que analiza los cambios de un lugar específico a través del tiempo.

3.3 Población y muestra

En la siguiente investigación se utilizó el tipo de muestreo no probabilístico de conveniencia debido a los datos disponibles. Los datos usados en la investigación son de fácil acceso además debido a que el investigador no considera usar una muestra representativa sino usa toda la población debido a la validez y certificación de los datos (Otzen y Manterola 2017).

- **Población.** - Se conforma por 9 unidades hidrográficas, comprendiendo en su territorio en 3 departamentos, ocupando Madre de Dios la mayor superficie con 72% y menor proporción los departamentos de Cusco y Puno.
- **Muestra.** - Se determina por la cuenca del Inambari ubicada en el departamento de Madre de Dios, según el ANA (2015) consta una superficie de 2 023 922,15 ha, (20 239.22 km²) y un perímetro de 1 429,96 km.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio

La superficie de estudio de la cuenca del Inambari, ubica en el Sureste departamento de Madre de Dios, Puno y Cusco, Perú; abarcando un área de (Cuenca Inambari) 2 023 922,15 ha, (20 239,22 km²) y un perímetro de 1 422,96 km, según Goulding et al., (2010) la topografía del terreno influye en dinámica biofísica, social y económica.

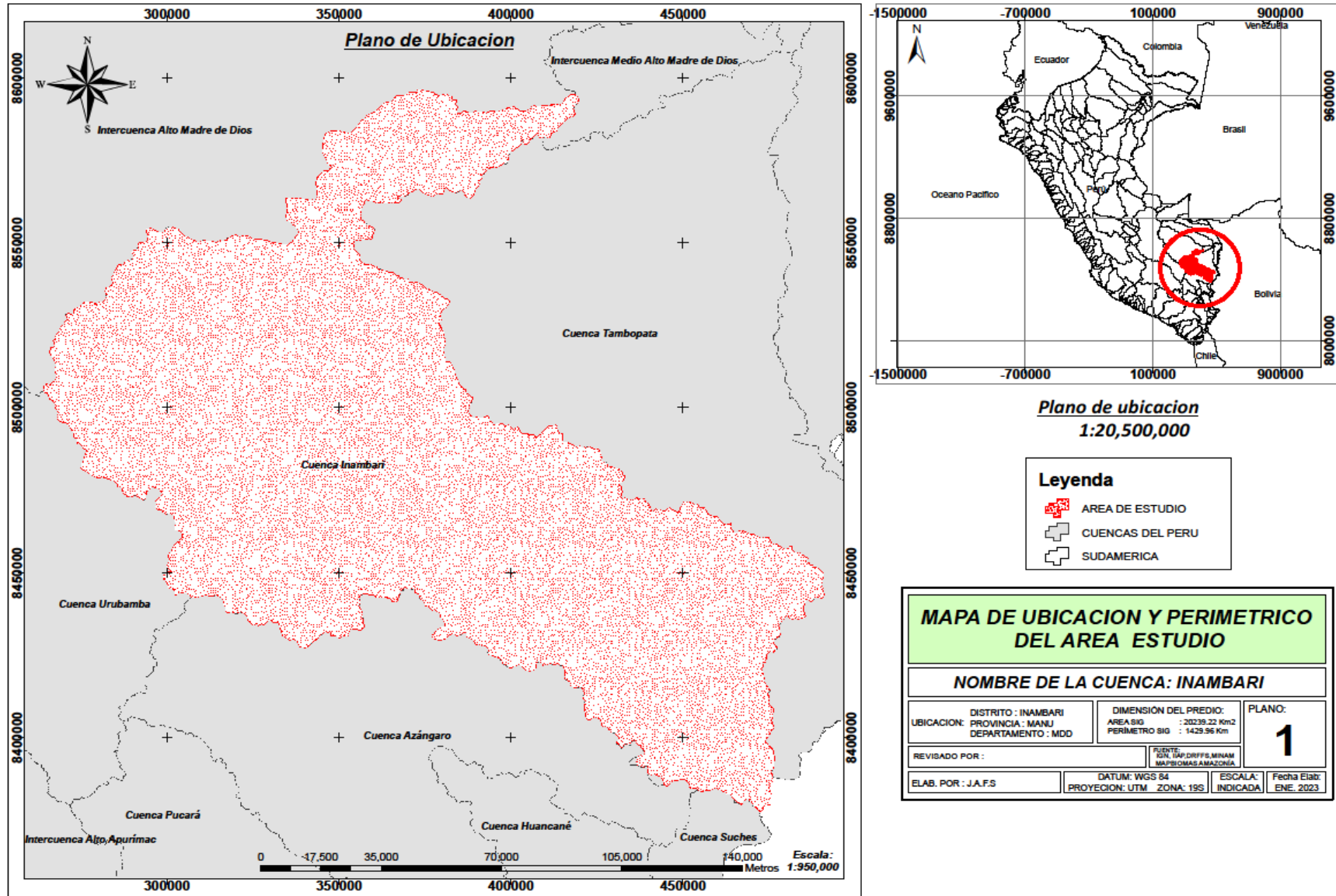


Figura 6. Área de Estudio.

- El suelo según el MINAM (2017) la característica que prima en los suelo abandonado por extracción aurífera, es común en la mayoría las zonas; debido que mantienen patrones similares como:
 - ❖ Compactación de suelos debido al transporte de vehículos pesados.
 - ❖ Deforestación.
 - ❖ Lixiviación edáfica.
 - ❖ Estragos en los ecosistemas.
 - ❖ Formación de montículos de cascajo y cuerpos de agua artificiales.
 - ❖ Empobrecimiento de micro-fauna, materia orgánica (Mo) y fertilidad edáfica.
- El clima del área de estudió presenta tendencias de relieve y húmedas, de acuerdo a la clasificación de “Thornthwaite” (SENAMHI 2011). El grado de temperatura promedio es aproximadamente 30°(Goulding et al. 2010), según SENAMHI (2011) "Las precipitaciones superan los 2 000 mm anuales lo cual ocasiona la lixiviación de los suelos arcillosos".

"Las temperaturas máximas llegan a ser de 38°C y se presentan regularmente en los meses de setiembre a octubre, la precipitación anual oscila entre 1 600 mm a 2 400 mm" (Reserva Nacional Tambopata 2011).

- El mayor porcentaje de flora encontrada en el área de abandono por la extracción del material aurífero son aquellas que se encuentran en etapas de Brinzales y Latizales. En cuanto a las especies de mayor abundancia encontramos poblaciones de pantas colonizadoras, estas son las más adaptables, además conceden materia orgánica al suelo para una base de establecimiento en otras especies (SAJAMI 2017).

3.4.2. Parámetros morfométricos

Las peculiaridades físicas de las cuencas están correlacionadas estrechamente con su comportamiento de los caudales los cuales son transitados por ella. “Los parámetros Morfométricos” integran conjuntos de estimaciones y cálculos realizados; en su mayoría de los casos al inicio de estudios que sean adyacentes al control sobre una cuenca.

Conforme a Gaspari (2012) los estudios morfométricos son conjuntos de estudios de variables drenaje, superficie, y relieve que posibilitan brindar peculiaridades físicas de la cuenca, permitiendo realizar semejanzas entre cuencas, de tal modo ayuda en la explicación del análisis hidrológico y en la descripción de estrategias para su manejo.

3.4.3. Información necesaria para el modelo Invest_{SDR}

- **Espacio de trabajo.** - Carpeta de salida de los datos del modelo. Tener en cuenta el espacio del disco y que la escritura de los permisos sean correctos (Sharp et al. 2018).
- **Modelo de elevación digital (DEM).**- Los modelos de elevación digital serán obtenidos mediante la página web “<https://earthexplorer.usgs.gov/>”; posteriormente se realizará el pre procesamiento del DEM y se comparan las salidas de resultados. El DEM debe extenderse sobrepasando el área de interés (unidades: metros) (Sharp et al. 2018).
- **Índice de erosividad de la precipitación (R).** - (Ráster), con valores de erosión para cada celda. Dicha variable es dependiente de la intensidad y durabilidad de las lluvias del área de estudio. Mientras más vigor y durabilidad de la precipitación, el potencial de erosión es mayor. En caso de su ausencia, existen ecuaciones para generarlo “unidades: $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot(\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{yr})^{-1}$ ” (Sharp et al. 2018); Los cuales serán extraídos de la página web [www.climatedatalibrary](http://www.climatedatalibrary.com). También se puede procesar de manera manual en un software GIS a través del método de la figura 7.
- **Erodibilidad del suelo (K).**- (Ráster), con valores de erosionabilidad para toda celda. La erosionabilidad, es la medida en cuanto a la susceptibilidad de partículas de suelo en la erosión por lluvia y escorrentía “Unidades: $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}\cdot(\text{ha}\cdot\text{MJ}\cdot\text{mm})^{-1}$ ” (Sharp et al. 2018). También se puede

procesar de manera manual en un software GIS a través del método de la figura 7.

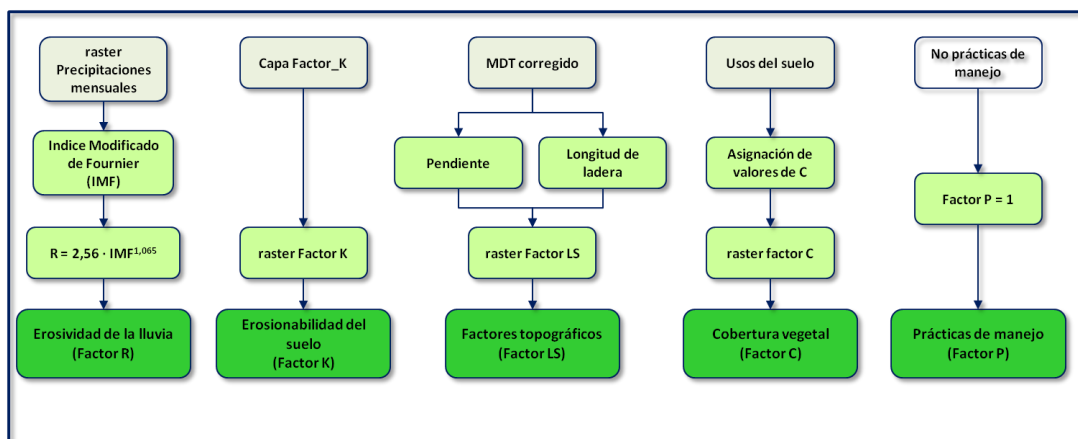


Figura 7. Elaboración índice de Erodibilidad y Erosividad.

- **Cobertura del suelo (LULC).**- “Ráster” de código LULC "Todos los valores en este ráster deben tener entradas correspondientes en la tabla Biofísica" (Sharp et al. 2018),.

Las coberturas de suelos se obtendrán de la página web: “<https://code.earthengine.google.com/toolkit-download>” Y fueron ajustadas en relación a la investigación.

- **Cuencas.** - (Shapefile), Esta capa de cuencas hidrográficas contribuye a un punto de área interés por analizar. Un campo de entero debe ser llamado “ws_id” (Sharp et al. 2018). Se obtendrá a través de la delimitación en Idrisi.
- **Tabla biofísica.** - Tabla que contiene información sobre el uso del suelo (Fuente propia). Las filas son de cobertura del suelo mientras que las columnas se definen de la manera siguiente:
 - ❖ lucode: valores enteros y únicos por clase LULC (1 para bosque, 3 para pastizales, etc).
 - ❖ usle_c: factor de gestión para coberturas, valores flotantes entre “0 y 1”.
 - ❖ usle_p: Es el factor de praxis de sostén de datos USLE, valores flotantes entre “0 y 1”.

- **Acumulación de flujo umbral.** - El número de celdas ascendente que debe fluir hacia una celda anterior a considere fracción de una secesión, se usa para organizar secuencias a partir del DEM. Este umbral influye en la manifestación de conexión hídrica y la resultante del desprendimiento de sedimentos: cuando el movimiento del flujo llega a un afluente, la exportación de sedimento se suspende por llegar al desfogue de la cuenca. Es de importancia seleccionar este valor con cuidado “valor entero, sin comas ni puntos 1 000” (Sharp et al. 2018).
- **Kb y IC0.**- Parámetros de calibración que influyen en la forma relación de conectividad hidrológica y el porcentaje de pérdida de suelo. Los valores por defecto son $k_b=2$ y $IC_0=0,5$ (Sharp et al. 2018).
- **SDRmax.**- SDR mayor que alcanza un píxel, en función a la estructura del terreno. "Específicamente la fracción de proporción de la parte superior del suelo fina como la arena gruesa 1 000 μm " (Vigiak et al. 2012). Dichos indicadores pueden ser usados en calibraciones de investigaciones avanzadas. Donde el valor predeterminado es 0,8 (Sharp et al. 2018).

3.5. Tratamiento de datos

3.5.1. Determinación de los parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos se realizan a través del software Idrisi en base de un “Modelo de elevación digital” (DEM), primeramente, se realiza la delimitación de la cuenca a través del método acumulativo debido a la base de datos que se maneja; Se inserta el DEM y se fija el lugar de desfogue de la cuenca con un archivo tipo vector (punto). Después se realiza los cálculos de los parámetros morfométricos, también a través del software Idrisi con los insumos del DEM y la delimitación de cuencas generada anteriormente a través de la herramienta intégrate wáter management, ciclo hidrológico (Parámetros).

Como resultado tendremos los parámetros de la cuenca los cuales se utilizarán como línea base para la investigación.

3.5.2. Modelamiento de entrega de sedimentos

El modelo de distribución de sedimentos es de carácter explícitamente espacial, se ejecuta según la resolución del DEM. Según el píxel, el modelo estima la pérdida de suelo en 1 año, después estima la relación de distribución de sedimento (DEG). Cuando el sedimento arriba en la corriente, aceptamos que desembocara en el desfogue de la cuenca, por ende, no se modela ningún proceso en la corriente. Dicho enfoque fue planteado por (Borselli, Cassi y Torri 2008). Y recibió interés ascendente en la última década (Cavalli, Trevisani y Marchi 2008; López-Vicente et al. 2013; Sougnez, Wesemael y Vanacker 2011).

Una vez abierto el software se crea la ruta de salida de los resultados, posterior mente se arrastran los insumos correspondientes para cada atributo de la tabla de comandos (DEM, erosividad, erodibilidad, land cover, la delimitación de la cuenca, Umbral de acumulación, etc.) y finalmente se ejecuta el modelo.

Como resultado tendremos el servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos los cuales serán interpretados posteriormente.

Debido a la facilidad de uso de software no es necesario tener una metodología compleja, sino el trabajo radica en la digitalización correcta de los escenarios (Land cover) para un adecuado resultado. Puesto que el software está diseñado para ejecutar las ecuaciones y algoritmos prediseñados sobre las capas insertadas.

A continuación, se explica en brevedad como influyen los algoritmos y ecuaciones sobre las capas insertadas.

3.5.3. Pérdida de suelo anual

Según Bhattarai y Dutta (2006) es el volumen pérdida del suelo durante 1 año en el píxel. i_{uslei} ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), basada en la ecuación de pérdida de suelo universal revisada (Ecuación. 1).

$$usle_i = R_i \cdot K_i \cdot LS_i \cdot C_i \cdot P_i, \dots (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

- R_i es erosividad por precipitaciones “unidades: $MJ \cdot mm (ha \cdot hr)^{-1}$ ”.
- K_i es la erosionabilidad del suelo “unidades: $ton \cdot ha \cdot hr (MJ \cdot ha \cdot mm)^{-1}$ ”.
- LS_i es el coeficiente de la pendiente longitud (sin unidades).
- C_i es el coeficiente del manejo de cultivos (sin unidades).
- P_i es el coeficiente de praxis de soporte (Renard et al. 1997).

Los LS_i se proporcionan a través del método ejecutado por (Desmet y Govers 1996) en una área bidimensional (Ecuación. 2):

$$LS_i = S_i \frac{(A_{i-in} + D^2)^{m+1} - A_{i-in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot X_i^m \cdot (22.13)^m} \dots (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

- S_i es un factor de pendiente en las celdas de la cuadrícula i calculado de la función de pendiente de radianes θ .
 $S = 10,8 \cdot \sin(\theta) + 0,03$, dónde $\theta < 9\%$.
 $S = 16,8 \cdot \sin(\theta) - 0,50$, dónde $\theta \geq 9\%$.
- A_{i-in} es el área contribuyente (m^2) de una celda de la cuadrícula y se estima a través de la metodología de "dirección de flujo" d-infinito.
- D es el tamaño lineal de celda en la cuadrícula (m).
- $X_i = |\sin \alpha_i| + |\cos \alpha_i|$ donde α_i es la trayectoria respecto a la celda de cuadrícula i .
- mm es "el factor exponente de la longitud" de RUSLE.

Con el fin de evitar sobreestimaciones del coeficiente LS en ecosistemas irregulares, las distancias en pendientes amplias son limitadas a valores de (333 m) (Desmet y Govers 1996; Renard et al. 1997).

La valoración de m , la potencia en extensión del coeficiente LS, es basado en "USLE" clásico, como es explicado por (Oliveira et al. 2013).

- $m=0,2$ para pendientes $\leq 1\%$.
- $m=0,3$ para $1\% < \text{pendiente} \leq 3,5\%$.
- $m=0,4$ para $3,5\% < \text{pendiente} \leq 5\%$.
- $m=0,5$ para $5\% < \text{pendiente} \leq 9\%$.
- $m=\beta/(1+\beta)$ donde $\beta = \sin\theta/0,0986/(3\sin\theta^{0,8} + 0,56)$ para pendiente $> 9\%$.

3.5.4. Relación de distribución de sedimentos

Paso 01.- Se basa en la investigación de Borselli, Cassi y Torri (2008), el modelamiento calcula en primer lugar el factor de “conectividad IC” para todos los píxeles. El factor de conectividad explica la coherencia hídrica del sedimento paisajístico y en sumideros. Valores altos de IC advierten la probabilidad que la fuente de erosión sea un sumidero (esté más conectado), lo cual ocurre cuando la cobertura vegetal es escasa o en pendientes altas. Valores bajos de IC (menor conectividad) son asociados con áreas de vegetación densa y pendientes poco pronunciadas.

IC es la función de área pendiente arriba por cada píxel (D_{up}) y el camino del flujo entre el píxel y el flujo inmediato (D_{dn}). Si las áreas de pendiente ascendente son amplias, tienen pendientes bajas y buena cobertura vegetal “factor *USLE C* bajo”, cuando el D_{up} es mínimo, indica potencial menor del sedimento a llegando al lecho hidrológico. Del mismo modo, si el recorrido de la pendiente que desciende entre los píxeles y el flujo es extensa, tiene pendientes bajas y buena cobertura vegetal, D_{dn} será bajo (Borselli, Cassi y Torri 2008).

IC es calculado de la siguiente forma (Ecuación 3):

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) \dots (\text{Ecuación 3})$$

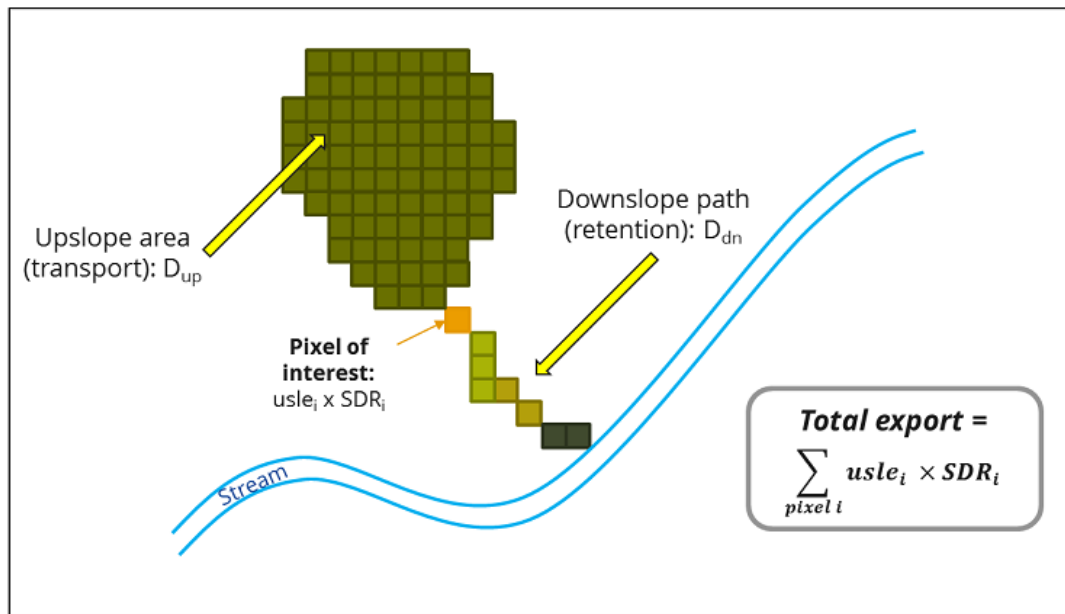


Figura 8. “Enfoque del modelo”. La relación de distribución de sedimentos y el recorrido de flujo (ecuaciones 3, 4, 5) (Sharp et al. 2018).

D_{up} es el parte de la pendiente ascendente se define como (Ecuación. 4):

$$D_{up} = \bar{C} \bar{S} \sqrt{A} \dots (\text{Ecuación 4})$$

Dónde \bar{C} es promedio C Factor del área contribuyente ascendente. S es la gradiente de la pendiente en promedio al área que aporta a la pendiente que asciende (m/m) y “ A ” es la superficie contribuyente al ascenso (m^2). El área contribuyente de la pendiente ascendente es expresada a través del “Algoritmo de flujo D-infinito” (Tarboron 1997).

El elemento en declive. D_{dn} se expresa por (Ecuación. 5):

$$D_{dn} = \sum_i \frac{d_i}{C_i S_i} \dots (\text{Ecuación 5})$$

Dónde d_i representa la distancia recorrida del flujo en la extensión del píxel i dependiendo de la trayectoria de mayor inclinación en descenso (m) (ver Figura 8), C_i y S_i son C factor y el declive de la pendiente del píxel i , correspondientemente. Otra vez, el recorrido del flujo en la pendiente descendiente es determinada por el algoritmo de flujo D-infinito (Tarboron 1997).

Con el fin de evitar valoraciones infinitas para IC , los valores de pendiente S toman valores mínimo de $0,005 \text{ m / m}$ si son por debajo del umbral y un divisorios mayores de 1 m / m con el fin de restringir la desviación por valores altos de IC en pendientes con un alto grado de inclinación (Cavalli, Trevisani y Marchi 2013).

Paso 02.- La relación entre el SDR para todo *píxel.i* luego de derivase del indicador de conductividad IC siguiente (Vigiak et al. 2012) (Ecuación. 6):

$$SDR_i = \frac{SDR_{max}}{1 + \exp\left(\frac{IC_0 - IC_i}{k}\right)} \dots (\text{Ecuación 6})$$

Dónde SDR_{max} es el SDR máximo teórico, establecido en un valor promedio de "0,8" (Vigiak et al. 2012), además IC_0 y k son criterios de calibración que explican la manera de relación SDR- IC (función creciente). El resultado de IC_0 y k en el SDR se muestra en la figura 9:

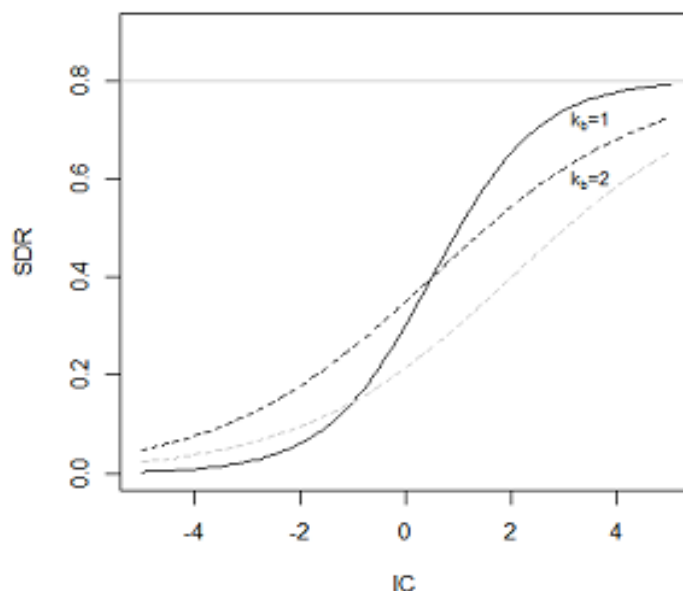


Figura 9. Relación del indicador de conexión IC y SDR (Sharp et al. 2018).

3.5.5. Exportación de sedimento

El traslado de sedimentos del píxel explicado por $i E_i$ (unidad: $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$), es la proporción suelo erosionado del píxel que ingresa en la corriente. Este proceso es explicado por (Ecuación. 7):

$$E_i = usle_i \cdot SDR_i \dots (\text{Ecuación 7})$$

La atracción final de sedimentos exportados. E (unidades: $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$) se da por (Ecuación. 8):

$$E = \sum_i E_i \dots (\text{Ecuación 8})$$

EE es usado con propósitos de calibrar, las uniones con diferentes orígenes de sedimentos; si encontramos datos utilizables.

3.5.6. Capa de drenaje opcional

En ocasiones, el índice de conectividad no es representativo de rutas de reales del flujo si no, son influenciadas por conectividades artificiales (los sedimentos de áreas urbanas o carreteras se transmiten hacia arroyos de poca retención). La capa de drenajes identifica píxeles conectados artificialmente en secuencias, sin importar su posición geográfica (distancia de la red de corriente).

3.5.7. Limitaciones

- Una de las limitaciones es la confianza en la “USLE” (Renard et al. 1997). La fórmula empleada tiene alcances limitados, solo representa erosiones en rangos y surcos. Otros ingresos de sedimento son las erosiones de riberas, barrancos y erosiones masivas. Según Wilkinson et al. (2014). “Proporciona una buena descripción de los procesos de erosión de quebradas y arroyos, con posibles enfoques de modelización”. Las erosiones masivas se representan en el modelo, no obstante puede ser fuente de importancia en áreas de alta pendiente o en criterios específicos; Según conocimientos locales, es posible adecuar la ecuación USLE mediante el cambio de entradas R, K, C, P con el fin de reflejar hallazgos locales (Sougnez, Wesemael y Vanacker 2011).
- El modelo es susceptible por los parámetros de “k e IC0”, que no se basan físicamente. La fuentes anteriores enfocadas en modelos usados a partir de InVEST (Cavalli, Trevisani y Marchi 2013; López-Vicente et al. 2013; Sougnez, Wesemael y Vanacker 2011; Vigiak et al. 2012) ofrecen orientar

con la finalidad de establecer dichos parámetros, no obstante el que interactúa debe interpretar estas limitaciones para no sobre estimar valores del modelo.

- Debido su simplicidad y los parámetros, los resultados son susceptibles a los datos de entrada. Los errores empíricos de la ecuación USLE tendrá, grandes efectos en las predicciones. “Se recomiendan los análisis de sensibilidad para investigar cómo los intervalos de confianza en los parámetros de entrada afectan las conclusiones del estudio” (Sharp et al. 2018).

3.5.8. Tratamiento estadístico:

El tratamiento estadístico empleado, debido a ser un ráster fue a través de la herramienta “Zonal Statistics as Table” por medio del software ArcGIS 10.5, el cual consiste en calcular la estadística por zona definida en función de los valores de otro conjunto de datos (Pixel). La herramienta calcula resultados para el área en función al pixel de la zona ingresada.

La herramienta calcula los principales datos estadísticos aplicados al ráster especificado como resultante entrega una tabla formato Libro de Excel 97-2003 y no como un ráster.

En la siguiente figura, el ráster muestra los datos de entrada que definen los pixeles. La capa (Ráster) contiene la entrada para la cual se estiman las estadísticas de la zona. En este ejemplo, se detecta el valor máximo de entrada para cada zona.

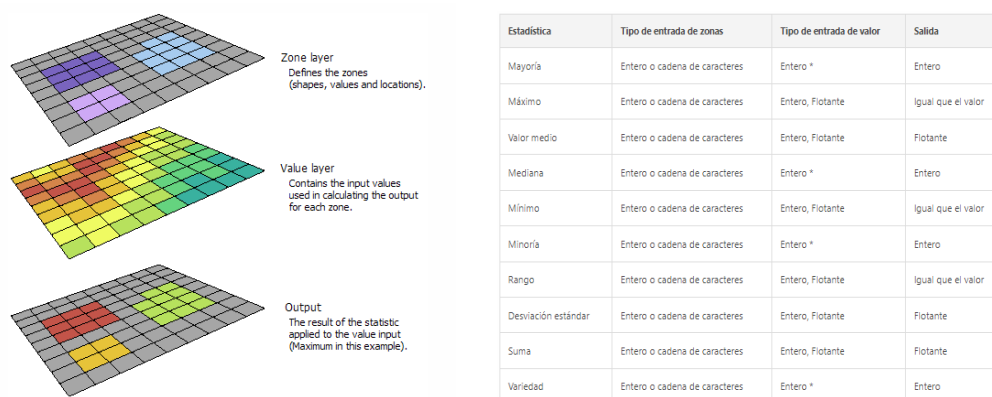


Figura 10. Proceso estadístico del software ArcGIS.

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

4.1. Determinación de parámetros morfométricos de la cuenca del Inambari

De acuerdo a los resultados del procesamiento de datos en el software IDRISI selva; se determina los parámetros morfométricos de la cuenca Inambari.

Tabla 3. Parámetros morfométricos

PARAMETROS MORFOMETRICOS				
N°	Símbolo	Descripción	Registro	Unidades
1	ClvRgn	Cuenca Inambari	1,00	-
2	A_km2	Superficie	20 239,22	km2
3	P_km	Perímetro	1 429,96	km
4	Em_m	Elevación media	2 720,20	m.s.n.m
5	Pm_g	Pendiente media	7,75	Grados
6	Pm_p	Pendiente media	13,83	Porcentaje
7	Kc	Coeficiente de compacidad	2,84	Muy alto
8	Rci	Relación circular	0,12	-
9	Rh	Relación hipsométrica	1,17	-
10	Lc_km	Longitud del eje del rio principal	409,56	Km
11	La_km	Longitud directa del rio principal	201,63	Km
12	Sh	Coeficiente de sinuosidad hidráulico	2,03	-
13	Emx_m	Altitud inicial	4 407,27	m.s.n.m
14	Emn_m	Altitud final	211,82	m.s.n.m
15	Sc_p	Pendiente promedio del rio principal	1,04	-
16	Tc_Kirpich_h	Tiempo de concentración de Kirpich	39,54	hrs
17	Tc_CHPW_h	Tiempo de concentración de CHPW	39,75	hrs

La cuenca Inambari tiene un área (A_{km^2}) de 20 239,22 kilómetros cuadrados (2 023 922,15 ha.) un perímetro de (P_{km}) de 1 429,96 kilómetros; cuenta una elevación media (Em_m) de 2 720,20 metros sobre el nivel del mar, además de una pendiente media (Pm_g) de 7,75°; su coeficiente de compacidad (Kc) es de 2,84 siendo muy alto por lo tanto se dice que es una cuenca de tipo oval oblonga a rectangular oblonga (alargada) por lo tanto se intuye que sus tributarios son cortos y de un cauce fuerte y la cuenca es propensa a un desborde o inundaciones lo cual se refleja en su relación circular (Rci) con un índice de 0,12 dato que da a entender que es una cuenca muy accidentada, en referencia a la relación hipsométrica (Rh) cuenta con una relación de 1,17; en relación a la forma de la curva hipsométrica se encuentra en una fase de equilibrio demostrando que es una cuenca en estado maduro, dicha curva hipsométrica se muestra reflejada en la figura 11.

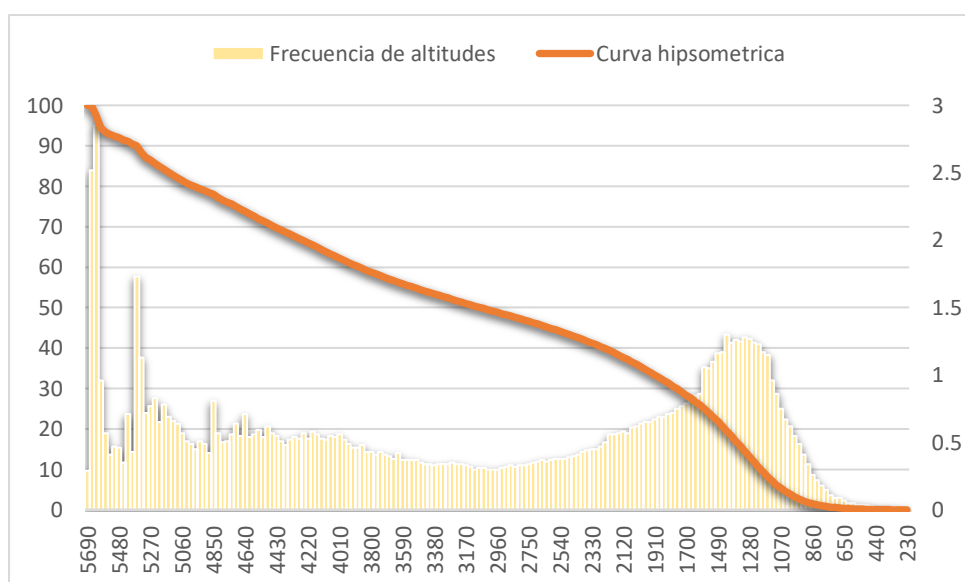


Figura 11. Relación entre la curva hipsométrica y la frecuencia de altitud.

La longitud del cauce principal (Lc_{km}) de la cuenca Inambari es de 409,56 km mientras que la longitud directa (La_{km}) es de 201,63 km; tiene un coeficiente de sinuosidad (Sh) alto 2,03, siendo meandriforme, con un cauce único. La altura inicial (Emx_m) de la cuenca es de 4 407,27 m.s.n.m y una altitud final (Emn_m) de 211,82 m.s.n.m; el promedio de la pendiente del cauce principal (Sc_p) es de 1,04 grados; el tiempo de concentración de

Kirpich ($Tc_Kirpich_h$) es de 39,54 horas mientras que el tiempo de concentración de CHPW (Tc_CHPW_h) es de 39,75 horas.

Entre las principales unidades hidrográficas que conforman la cuenca del Inambari tenemos Río Araza con una extensión de 136,39 km, Río Esquilaya con una extensión de 86,93 km, Río Huari Huari con una extensión de 170,10 km, Río Limbani con una extensión de 71,65 km, Río San Gaban con una extensión de 126,36 km y finalmente Río Inambari con una extensión de 272,87 km; todas las unidades pertenecen a la categoría 4 según la clasificación de arroyos empleada por Pfafstetter realizada por el Autoridad Nacional del Agua. Según el A.N.A. (2018) La codificación del curso de agua clasificado consistió en la combinación del código de la categoría ECA-Agua asignada y el código Pfafstetter, enlazado mediante un sub guion. Esta codificación proporciona doble información en un solo dato, la relación entre el curso de las categorías se asigna a cada curso de agua (curso principal, tramo del curso y tributario) de tipo río y quebrada tomando en consideración las características hidrográficas. En la figura 12 se aprecia las principales unidades hidrográficas que conforman la cuenca del Inambari y sus respectivos órdenes.

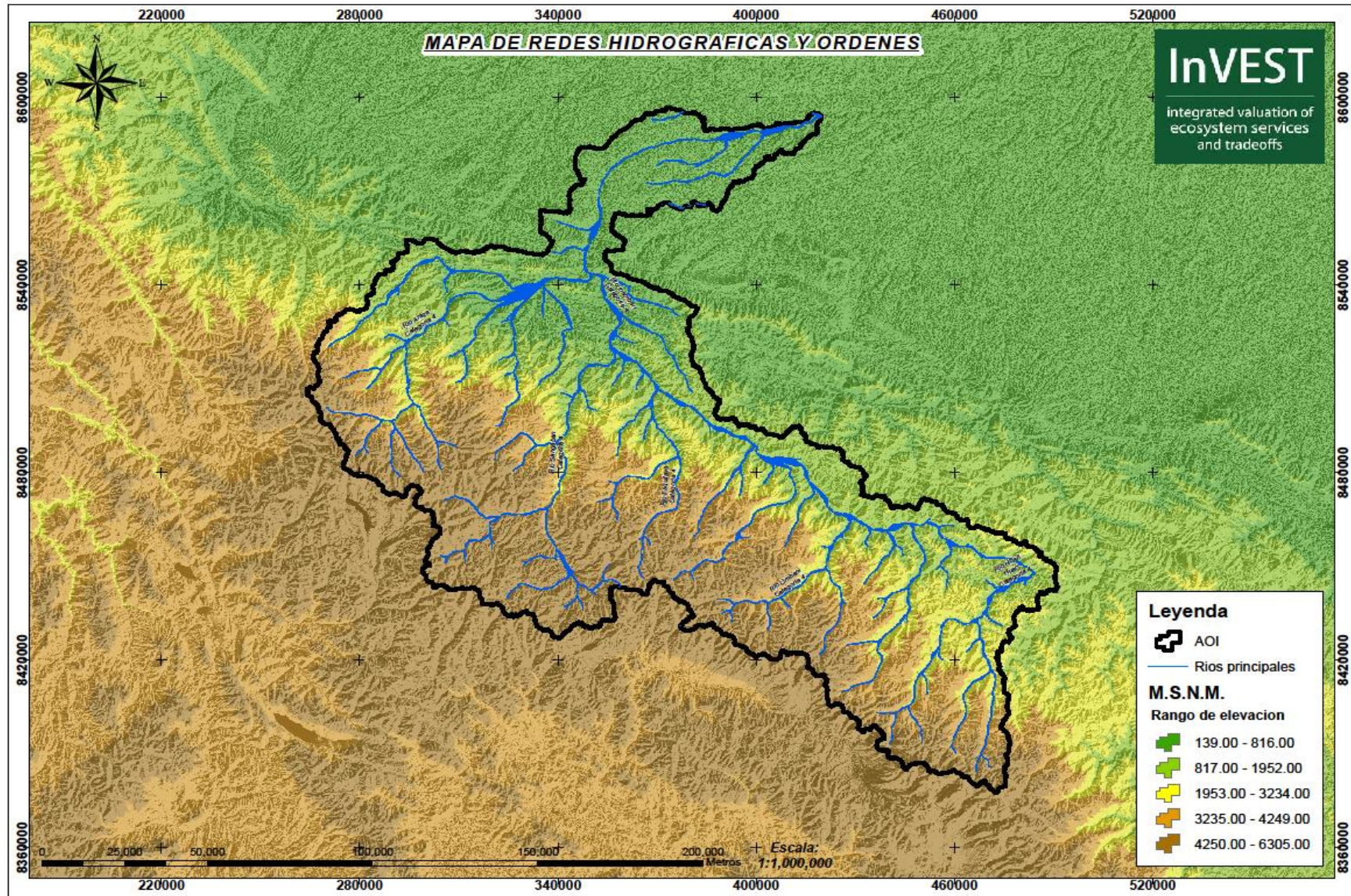


Figura 12. Red hidrográfica de la Cuenca de Inambari

4.2. Descripción dinámica del uso actual del suelo periódicamente del año 1985 al 2021

4.2.1. Uso de suelo del escenario del año 0000

Al ser un escenario ficticio y con fines de comparar los datos de pérdida de sedimentos con el escenario más actual, año 2021 se eliminaron los datos causados por la actividad antrópica y se reemplazó por el tipo de cobertura más cercana; dejando como cobertura dominante el bosque no inundable con el 51,29% de la superficie del área de estudio, seguidamente se encuentra la cobertura de praderas con el 25,46% de cobertura, posteriormente se encuentran las áreas sin vegetación natural con 12,11% de cobertura, consecutivamente tenemos el bosque de montaña con una superficie de 4,85%, seguidamente se encuentra a las áreas compuestas por ríos, lagos u océanos que con 1,68% del área al igual que la cobertura de glaciares y finalmente como cobertura menos representativa se encuentran los bosque inundable con un 0,23% de la superficie, dichos datos se pueden apreciar en la tabla 26 y la figura 54 de los anexos.

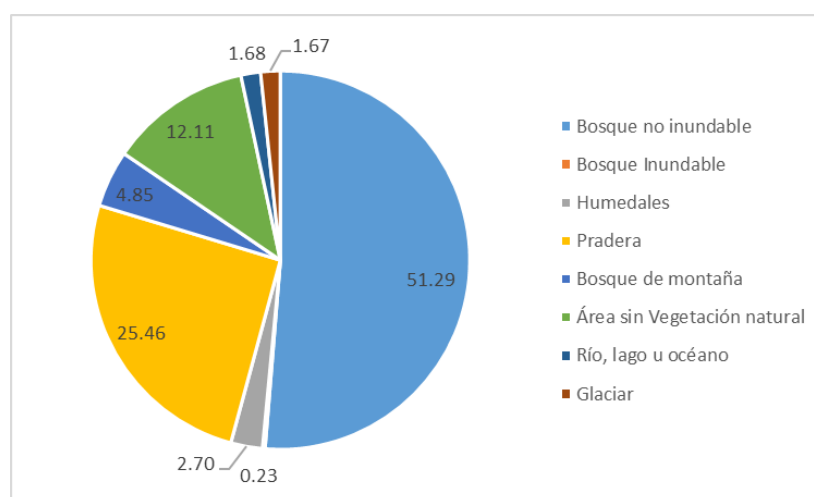


Figura 13. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 0000.

4.2.2. Uso de suelo del escenario del año 1985

En el caso del escenario del año 1985, es un escenario real que se dio a través de estudios en base a procesos de teledetección. Como en el escenario anterior y todos los escenarios la cobertura más representativa son los

bosques no inundables ubicado al noroeste del área de estudio ocupando el 48,55% de la cobertura de uso de suelo, además se nota una reducción de 3,95% en referencia al escenario hipotético, seguidamente se encuentra la cobertura de praderas ubicada en la parte central de la cuenca ocupando el 37,57% con una reducción de 13,43% siendo una reducción notable al caso anterior, posteriormente se encuentra el área sin vegetación representando el 4.20%, seguidamente encontramos a la primera cobertura causada por actividades antropogénicas que es la actividad agrícola abarcando un 2,18% del área de estudio, consecutivamente se presenta a la cobertura de pastizales que cuenta una superficie de 1,61%, seguido esta la cobertura de glaciares con 1,36% ubicada al oeste de la cuenca en el departamento de cusco, luego se encuentran la cobertura de ríos, lagos u océanos con el 1,27% de superficie, posteriormente esta la cobertura de bosque de montaña con 1,21% siendo la transición entre la selva alta y la cordillera, continuando tenemos a la cobertura de bosques inundables con una superficie del 1,17% ubicadas al noreste de la llanura amazónica , continuando tenemos la cobertura de humedales con el 0,71% y final mente 3 coberturas causadas por la actividad antropogénica las cuales son las carreteras con el 0,14%, la actividad minera con un 0,02 y finalmente la urbanización con el 0,01%; Estos datos se pueden apreciar en la tabla 25 y figura 57 de los anexos.

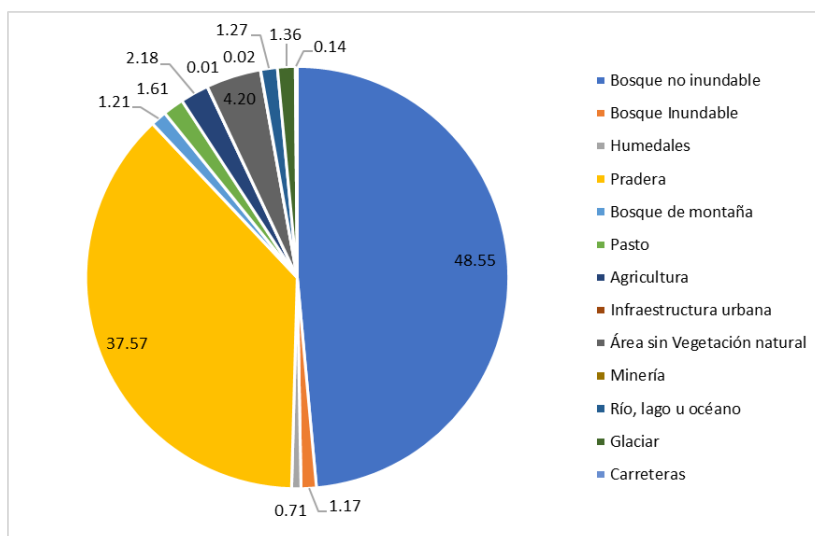


Figura 14. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 1985.

4.2.3. Escenario de uso de suelo del año 1990

En representación del escenario del año 1990, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 48,55% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,59%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 5,74%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 2,16% distribuida por toda el área de estudio se nota una reducción de 0,02% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,59%; seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,18% de la superficie ocupada se ubica en la parte noreste, en la desembocadura de la cuenca, posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,17% de superficie, seguidamente tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 1,07%, notando que hubo una pérdida glacial de 0,29% causa de los efectos del cambio climático; consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0,93% y finalmente tenemos a las coberturas menos representativas del escenario 1990 que son los humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,79% y tres coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,14%, seguido de la Minería con el 0,09% habiendo un aumento de 0,07% referido al escenario anterior y finalmente las zonas urbanas que ocupan el con 0,01% siendo la cobertura menos representativa; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 24 y figura 58 en los anexos.

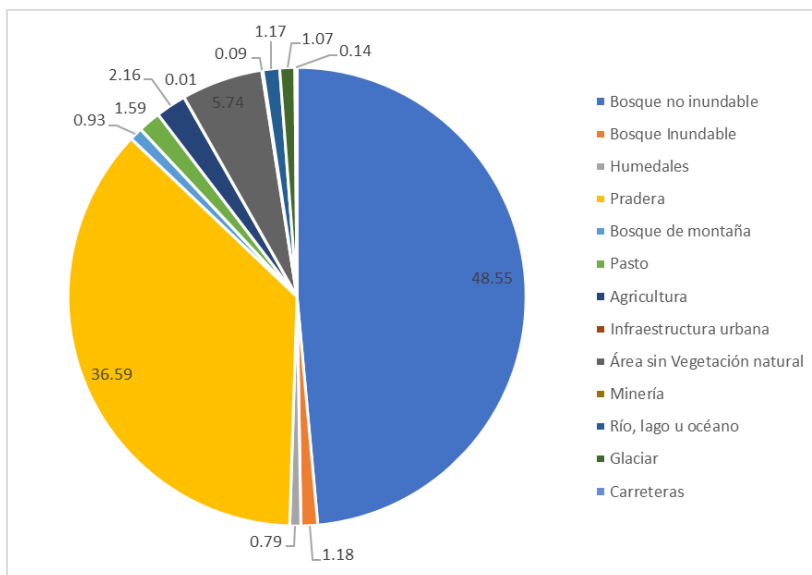


Figura 15. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 1990.

4.2.4. Escenario de uso de suelo del año 1995

En representación del escenario del año 1995, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 48,33% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,34%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6.13%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 2,22% distribuida por toda el área de estudio se nota un crecimiento de un 0,06% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,60%; seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,19% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste, en la desembocadura de la cuenca, posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,17% de superficie, consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 1,01%, seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0.96%, notando que hubo una pérdida glaciar de 0,10% causa de los efectos del cambio climático y finalmente tenemos a las coberturas menos representativas del escenario 1995 que son los humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,77% además de tres coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,14%, seguido de la

Minería con el 0,12% habiendo un aumento de 0,04% referido al escenario anterior y finalmente las zonas urbanas que ocupan el con 0,01% siendo la cobertura menos representativa; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 23 y figura 59 en los anexos.

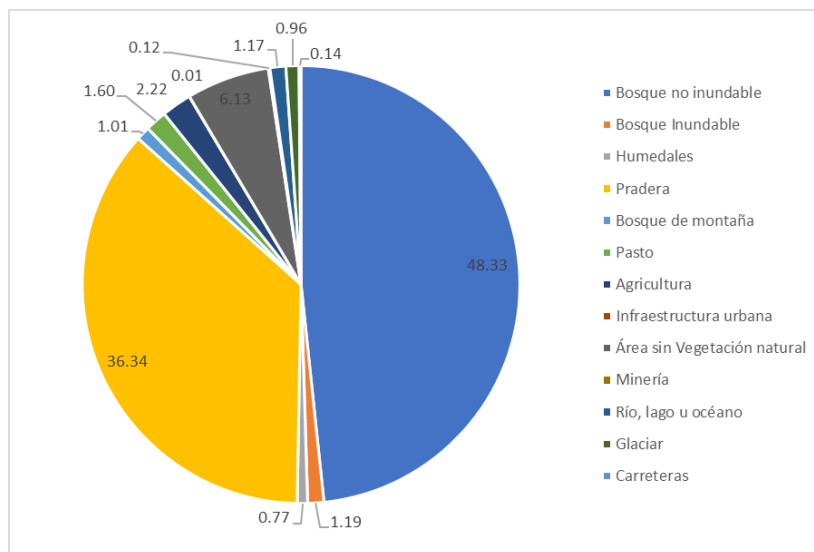


Figura 16. Gráfico de torta de distribución de superficie uso de suelo del escenario del año 1995.

4.2.5. Escenario de uso de suelo del año 2000

En representación del escenario del año 2000, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 48,55% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,32%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6,01%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 2,03% distribuida por toda el área de estudio se nota un disminución de un 0,19% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,80%; seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,23% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste, en la desembocadura de la cuenca, posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,21% de superficie, consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0,96%, seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0,89%, notando que hubo una pérdida glaciar de 0,08%

causa de los efectos del cambio climático y finalmente tenemos a las coberturas menos representativas del escenario 2000 que son los humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,70% además de tres coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,14%, seguido de la Minería con el 0,14% habiendo un aumento de 0,02% referido al escenario anterior y finalmente las zonas urbanas que ocupan el con 0,02% siendo la cobertura menos representativa; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 22 y figura 60 en los anexos.

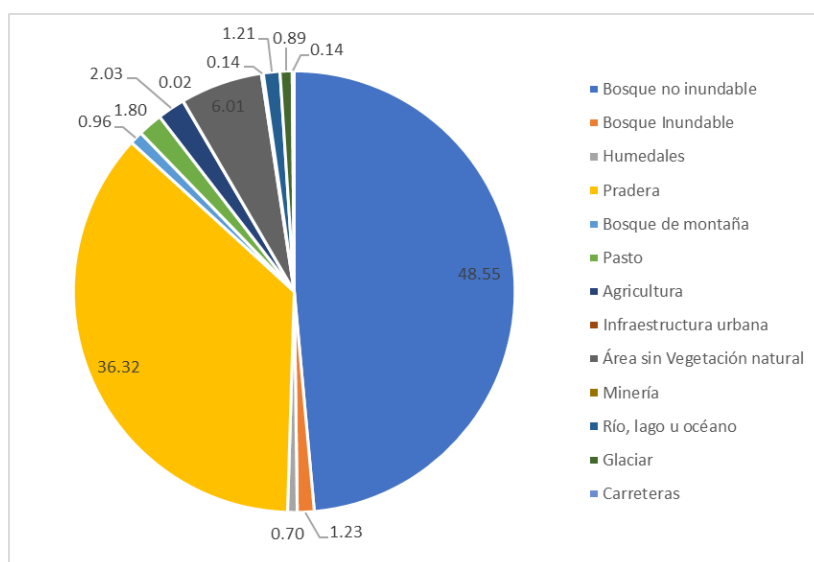


Figura 17. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 2000.

4.2.6. Escenario de uso de suelo del año 2005

En representación del escenario del año 2005, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 48,11% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,19%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6,24%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 2,43% distribuida por toda el área de estudio se nota un aumento de un 0,41% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,74%; posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,19% de superficie, seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,19% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste, en la

desembocadura de la cuenca, consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0.96% al igual que en el escenario anterior, seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0.80%, notando que hubo una pérdida glaciaria de 0,09% causa de los efectos del cambio climático y finalmente tenemos a las coberturas menos representativas del escenario 2005 que son los humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,73% además de tres coberturas antropogénicas que son la Minería con el 0,18% habiendo un aumento de 0,04% referido al escenario anterior después se encuentran las carreteras con el 0,14% y finalmente las zonas urbanas que ocupan el con 0,02% siendo la cobertura menos representativa; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 21 y figura 61 en los anexos

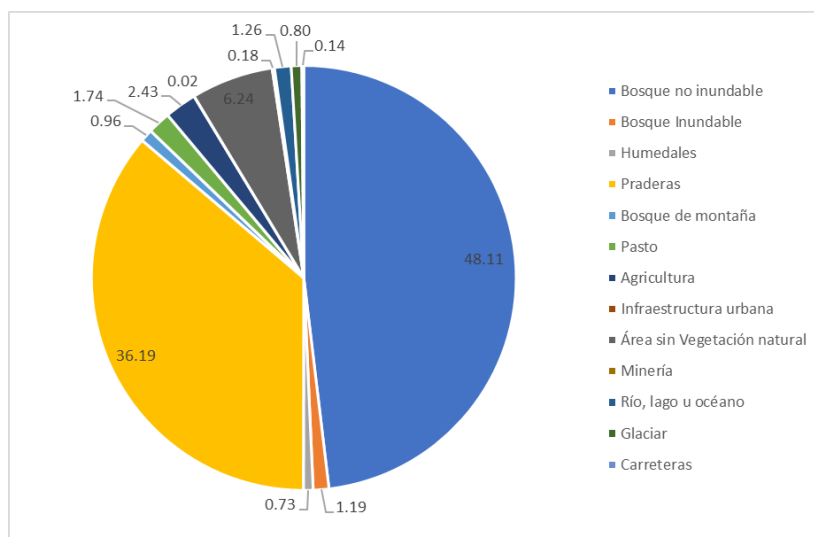


Figura 18. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 2005.

4.2.7. Escenario de uso de suelo del año 2010

En representación del escenario del año 2010, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 47,65% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,02%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6.38%; luego tenemos la

cobertura de agricultura con un 2,71% distribuida por toda el área de estudio se nota un aumento de un 0,28% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,71%; posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,27% de superficie, seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,05% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste, en la desembocadura de la cuenca, consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0.92%, consecutivamente tenemos a la cobertura de humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,83%, finalmente tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0.74%, notando que hubo una pérdida glacial de 0,06% causa de los efectos del cambio climático además de tres coberturas antropogénicas que son la Minería con el 0,54% habiendo un aumento de 0,36% referido al escenario anterior después se encuentran las carreteras con el 0,14% y finalmente las zonas urbanas que ocupan el con 0,02% siendo la cobertura menos representativa; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 20 y figura 62 en los anexos.

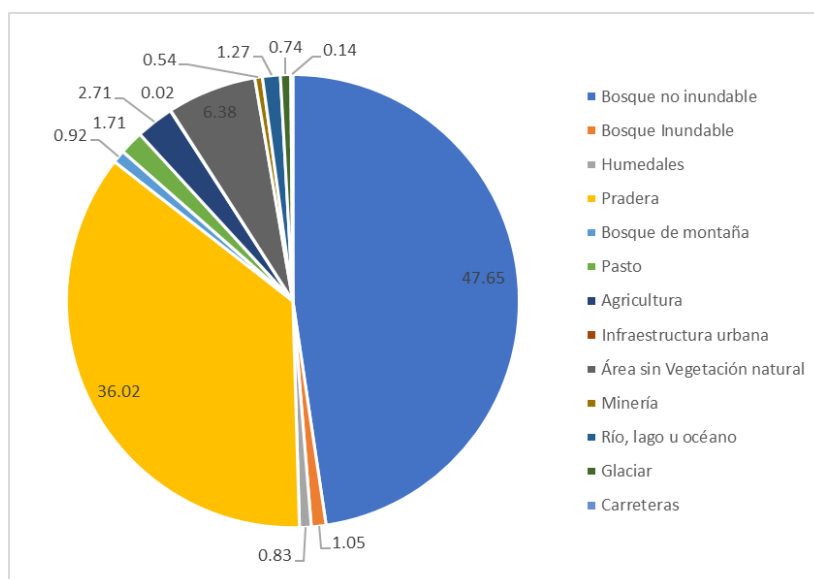


Figura 19. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 2010.

4.2.8. Escenario de uso de suelo del año 2015

En representación del escenario del año 2015, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 47,25% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,30%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6.26% igualando al escenario anterior; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 2,73% distribuida por toda el área de estudio se nota un aumento de un 0,02% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,70%; posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,41% de superficie, seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 1,07% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste, en la desembocadura de la cuenca, consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0.83%, consecutivamente tenemos a la cobertura de humedales ubicados al noreste de la área de estudio con 0,81%, en el escenario 2015 notamos que la cobertura de minería da un salto grande ubicándose en la décima posición de superficie abarcada con el 0,75% habiendo un aumento de 0,21% referido al escenario anterior; seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0.71%, notando que hubo una pérdida glacial de 0,03% causa de los efectos del cambio climático además de dos coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,16% y las zonas urbanas que ocupan el con 0,04% y finalmente siendo la cobertura menos representativa aparece la clase Silvicultura con una superficie de 0.0001%; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 19 y figura 63 en los anexos.

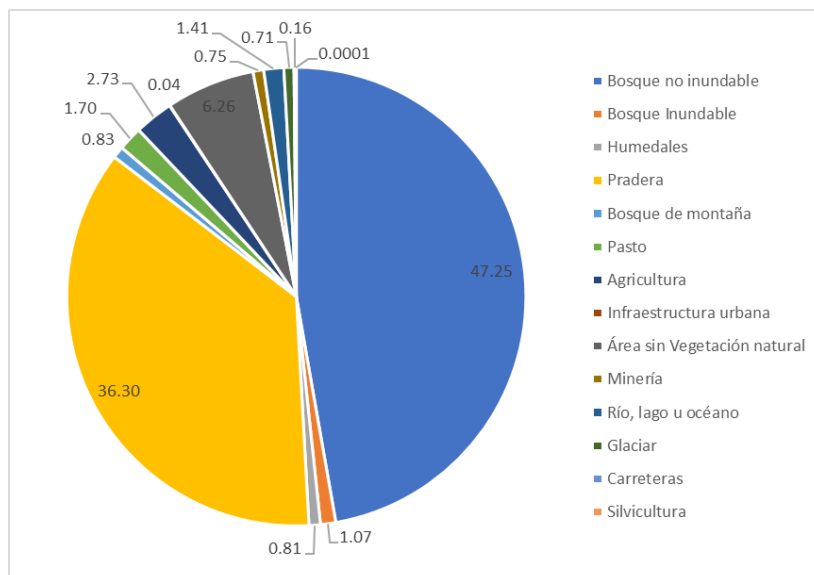


Figura 20. Gráfico de torta del porcentaje superficial del uso de suelo del escenario del año 2015.

4.2.9. Escenario de uso de suelo del año 2020

En representación del escenario del año 2020, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 46,30% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,43%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6.34%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 3,25% distribuida por toda el área de estudio se nota un aumento de un 0,52% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,75%; posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,50% de superficie, en el escenario 2020 notamos que la cobertura de minería sigue ascendiendo ubicándose en la séptima posición de superficie abarcada con el 0,97% habiendo un aumento de 0,22% referido al escenario anterior; seguido tenemos a la cobertura de bosque inundable con el 0,94% de la superficie ocupada, se ubica en la parte noreste en la desembocadura de la cuenca, seguidamente tenemos a la cobertura de humedales ubicados al noreste de la área de estudio con una superficie de 0,83%; consecutivamente nos encontramos con la cobertura de Bosques de montaña con una superficie de 0,83% al igual que el escenario anterior; seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una

superficie del 0,65%, notando que hubo una pérdida glaciaria de 0,07% causa de los efectos del cambio climático, además de dos coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,16% y las zonas urbanas que ocupan el con 0,05% y finalmente siendo la cobertura menos representativa aparece la clase Silvicultura con una superficie de 0.001%; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 18 y figura 64 en los anexos.

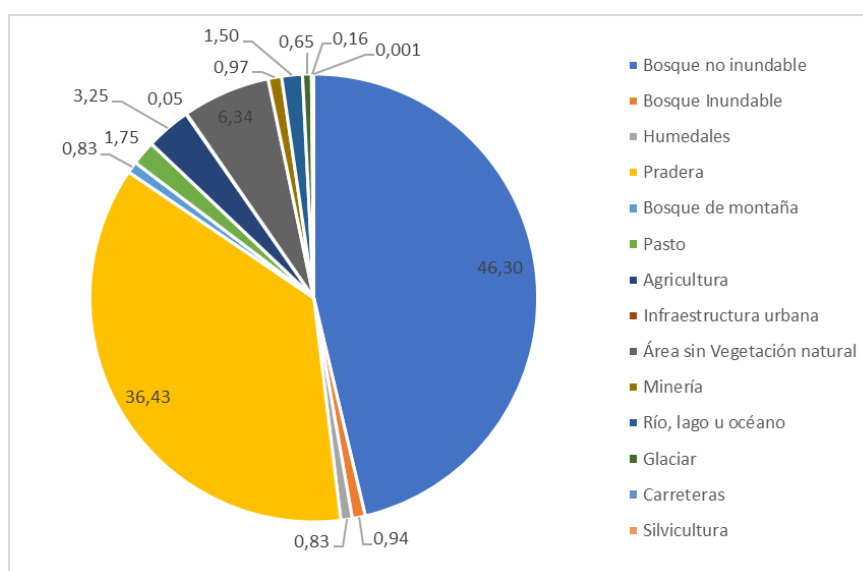


Figura 21. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 2020.

4.2.10. Escenario de uso de suelo del año 2021

En representación del escenario del año 2021, la cobertura más representativa es el bosque no inundable ubicado al noroeste del área de estudio abarcando el 45,44% de la superficie, consecutivamente se encuentran las praderas con un área de 36,36%; posteriormente se encuentra la cobertura de área sin vegetación natural con un 6,46%; luego tenemos la cobertura de agricultura con un 3,78% distribuida por toda el área de estudio se nota un aumento de un 0,53% referente al escenario anterior; luego se encuentra distribuida la cobertura de pastos con una superficie de 1,88%; posteriormente tenemos a la cobertura de ríos lagos u océanos con un 1,60% de superficie, en el escenario 2021 notamos que la cobertura de minería llega a su apogeo según el estudio con una superficie de 1,04% habiendo un

aumento de 0,07% referido al escenario anterior; seguido tenemos a la cobertura de bosque montaña con el 0,92% de la superficie ocupada, seguido se encuentra la cobertura de Bosques inundables con el 0,90% de superficie que se ubican en la parte noreste en la desembocadura de la cuenca, seguidamente tenemos a la cobertura de humedales ubicados al noreste de la área de estudio con una superficie de 0,77%; seguido tenemos a los glaciares ubicados al oeste de la cuenca, abarcando las cabeceras de cuenca con una superficie del 0,64%, notando que hubo una pérdida glacial de 0,01% causa de los efectos del cambio climático, además de dos coberturas antropogénicas que son las carreteras con el 0,16% y las zonas urbanas que ocupan el con 0,05% y finalmente siendo la cobertura menos representativa aparece la clase Silvicultura con una superficie de 0,001%; Los datos correspondientes a este escenario encontramos en la tabla 17 y figura 65 en los anexos.

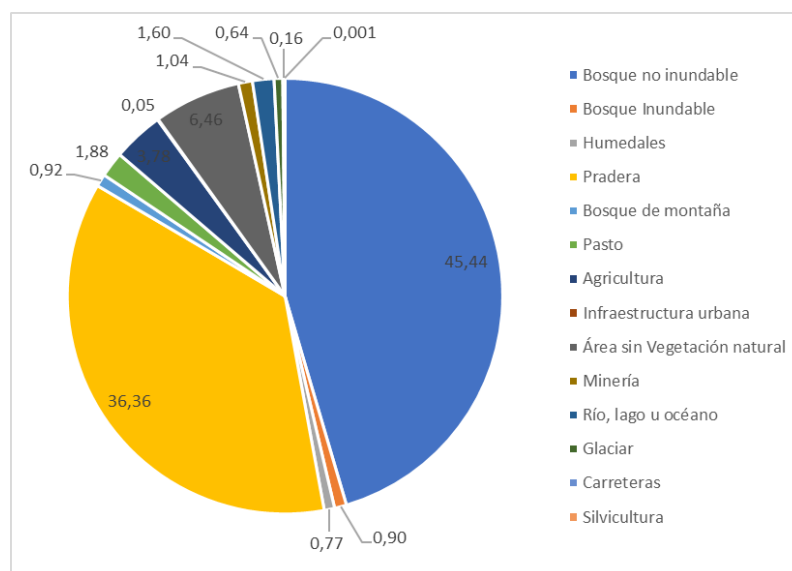


Figura 22. Gráfico de torta de distribución de superficie de uso de suelo del escenario del año 2021.

En cuanto a la descripción se aprecia el crecimiento porcentual de las coberturas de suelo empleadas en la investigación debido a la actividad antropogénica las cuales se aprecian en la figura 23.

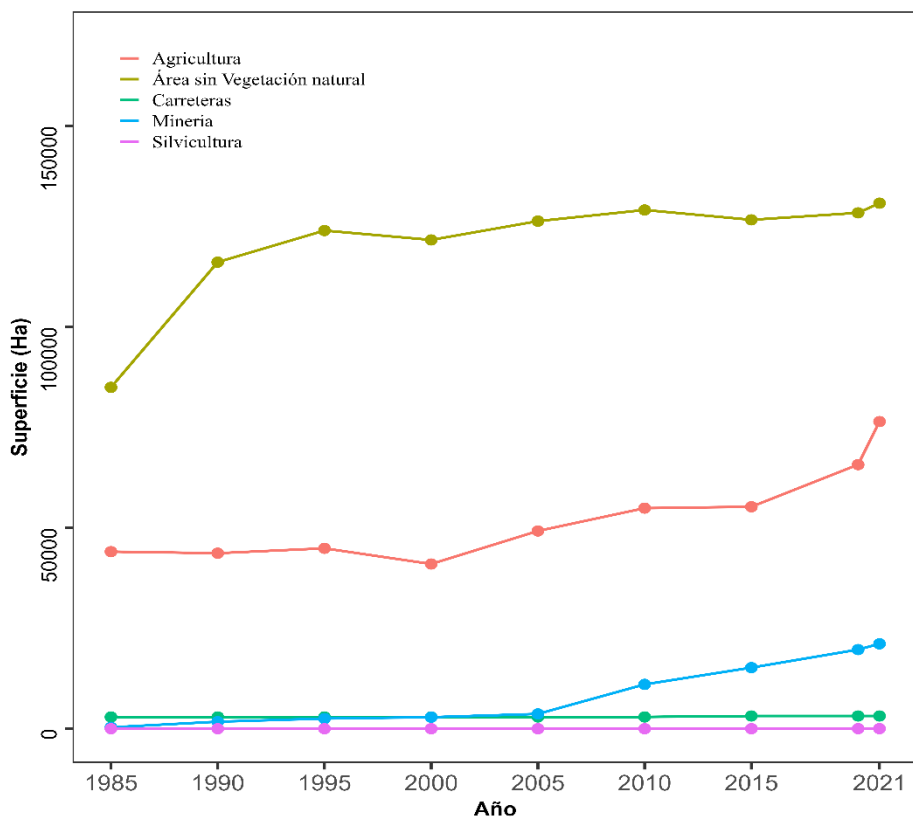


Figura 23. Crecimiento porcentual de las actividades antropogénicas.

La mayor pérdida de cobertura vegetal es generada por las áreas sin vegetación natural (media = 120877.38 ha), seguida de la actividad agrícola (media = 52790.05 ha); mientras que las carreteras, la minería aurífera y actividades silviculturales son áreas con baja pérdida de cobertura vegetal, sin embargo, son las más llamativas (media = 3006.43 ha, media = 8688.93 ha y media = 4.38 ha) respectivamente.

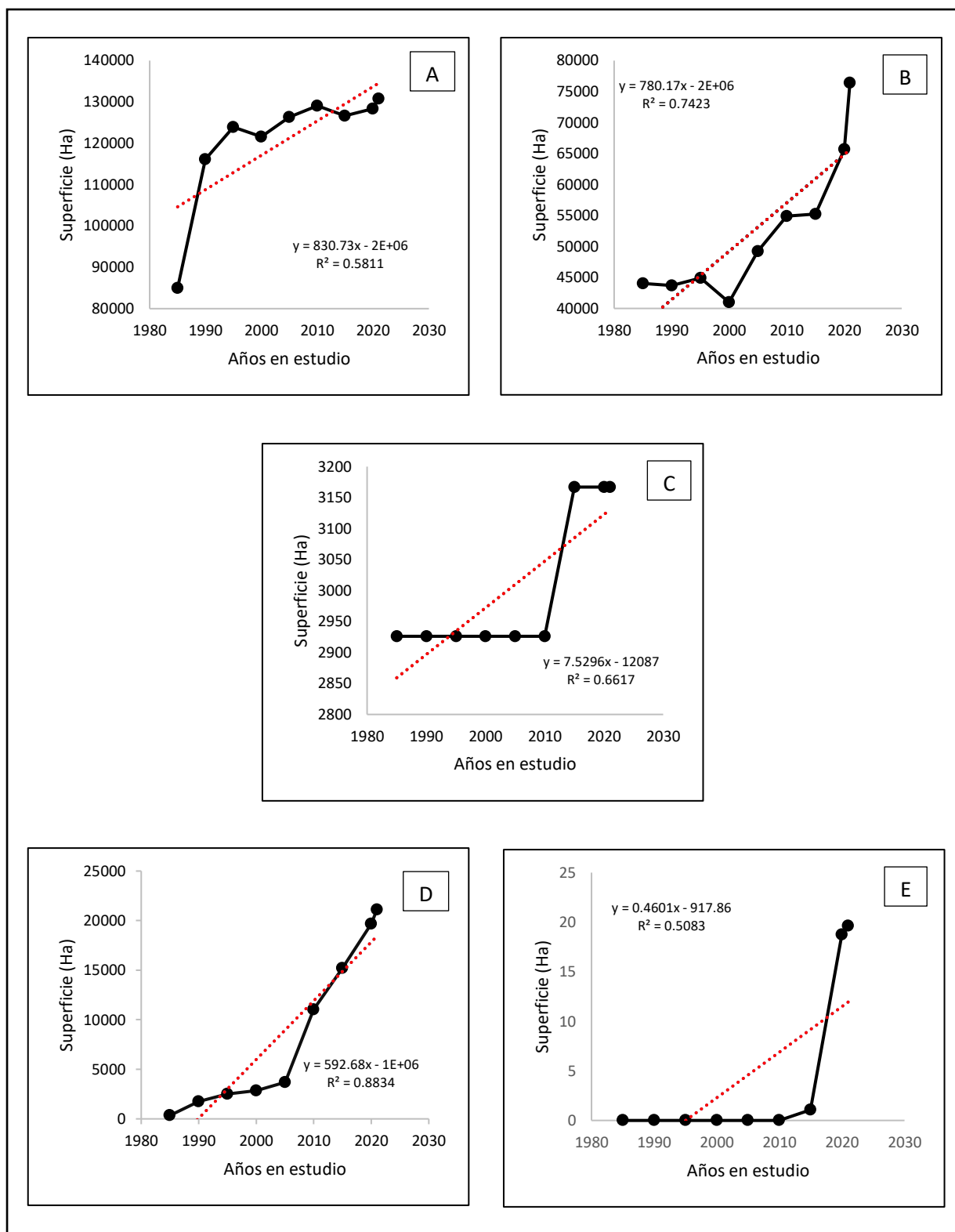


Figura 24. Perdida de cobertura boscosa por categorías antropogénicas.

Para el área sin vegetación, se puede observar un constante aumento de pérdida de cobertura vegetal a excepción de dos periodos de evaluación (2000 y 2015) sin embargo, según la gráfica se observa un notorio incremento a partir del año 1990; siendo el año 2021, la mayor pérdida de cobertura vegetal (Figura 24-A) el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.58 lo que indica que aproximadamente el 58% de la variabilidad en la pérdida de cobertura vegetal puede ser atribuida a la variación en el tiempo. Para la actividad agrícola, se observó una constante en la pérdida de cobertura vegetal en los 3 primeros escenarios, hasta el año 1995. posteriormente hubo una disminución en el periodo del escenario (2000); finalmente para el periodo (2005-2021) el incremento es exponencial (Figura 24-B) el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.74 lo que indica que aproximadamente el 74% de la variabilidad en la pérdida de cobertura vegetal puede ser atribuida a la variación en el tiempo. Para las carreteras, no se observó algún incremento o disminución de pérdida de cobertura vegetal para los 6 primeros escenarios seguidamente a partir del escenario 2015 hay un aumento exponencial para luego mantenerse equilibrado hasta el escenario 2021 (Figura 24-C) el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.66 lo que indica que aproximadamente el 66% de la variabilidad en la pérdida de cobertura vegetal puede ser atribuida a la variación en el tiempo. Para la minería aurífera, la mayor pérdida de cobertura vegetal se generó en los años 2020 y 2021. Mientras que la menor pérdida fue en el escenario 1985 (Figura 24-D) el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.88 lo que indica que aproximadamente el 88% de la variabilidad en la pérdida de cobertura vegetal puede ser atribuida a la variación en el tiempo y finalmente la menor pérdida de cobertura vegetal es por la actividad antrópica Silvicultural la cual empieza en el escenario 2015 y su apogeo es en el escenario 2021 (Figura 24-E) el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.51 lo que indica que aproximadamente el 51% de la variabilidad en la pérdida de cobertura vegetal puede ser atribuida a la variación en el tiempo.

La información conseguida permite priorizar el grado de erosión para el enfoque de acciones que permitan conservar los suelos en zonas que presentan riesgo mayor, enfocándose en la preservación del recurso; de acuerdo a los resultados de las figuras 25 a la 43 se obtuvo que, para la cuenca del Inambari, los rangos críticos de exportación de sedimentos (superan las $150 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) se hallan en menor medida, mientras que los rangos bajos se encuentran en mayor proporción, De acuerdo con el "Estándar de clasificación y calificación de la erosión del suelo" (SL 190-2007) fórmula do por el Ministerio de Recursos Hídricos de China en 2007.

4.3. Determinar y describir la exportación periódica de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.

4.3.1 Exportación de sedimentos

Los resultados obtenidos a través del software InVEST, nos proporciona los ráster dinámicos los cuales se pueden interpretar a través de herramientas GIS donde se estiman las principales pruebas estadísticas.

- **Exportación de sedimentos año 0000**

Para el escenario ficticio del año 0000 se estima una exportación de sedimentos en rangos donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 370,51 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en una superficie de 2 023 921,61 ha cuenta con una media de exportación de $0,095 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, desviación estándar de $0,767 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de $2\ 144\ 453,24 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento exportado en el escenario ficticio en el cual se demuestra que a pesar de la falta de actividad antropogénica la dinámica de exportación de sedimentos es un ciclo natural el cual está ligado a la pérdida de cobertura vegetal, fisiografía del área, índices de erosividad entre otros factores.

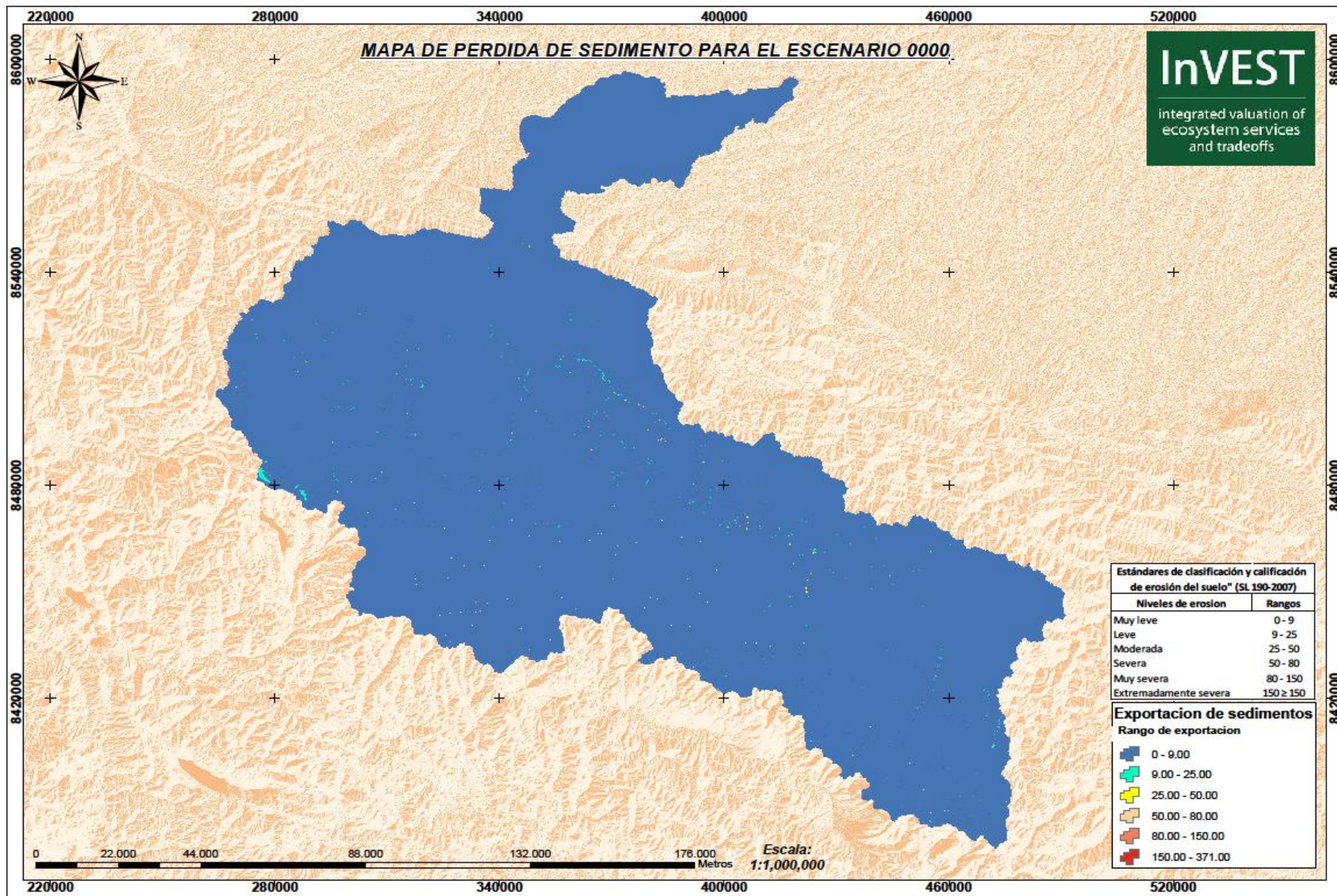


Figura 25. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 0000.

- **Exportación de sedimentos año 1985**

Para el escenario del año 1985 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 392,95 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,110 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,260 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 2 523 149,05 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 1985. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; En la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 981 819,96 t representando el 38,91%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 584 176,34 t representando el 23,15%, seguido de la cobertura de carreteras con 5 034,49 t representando el 0,20%; seguidamente esta la cobertura de minería con 1 140,26 t representando el 0,05% y finalmente el área de urbanización con 617,05 t representando el 0,02% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 950 360,95 t representando el 37.67%.

Tabla 4. Tabla de exportación de sedimentos del año 1985

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 1985			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	981819,96	38,91
2	Áreas sin vegetación natural	584176,34	23,15
3	Carreteras	5034,49	0,20
4	Minería	1140,26	0,05
5	Urbanizacion	617,05	0,02
6	Áreas naturales	950360,95	37,67
TOTAL		2523149,05	100,00

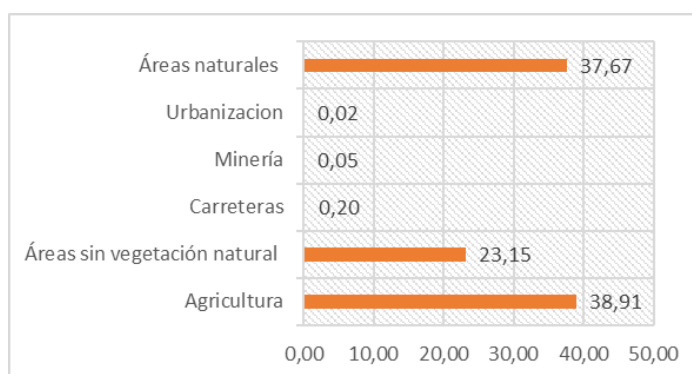


Figura 26. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el año 1985.

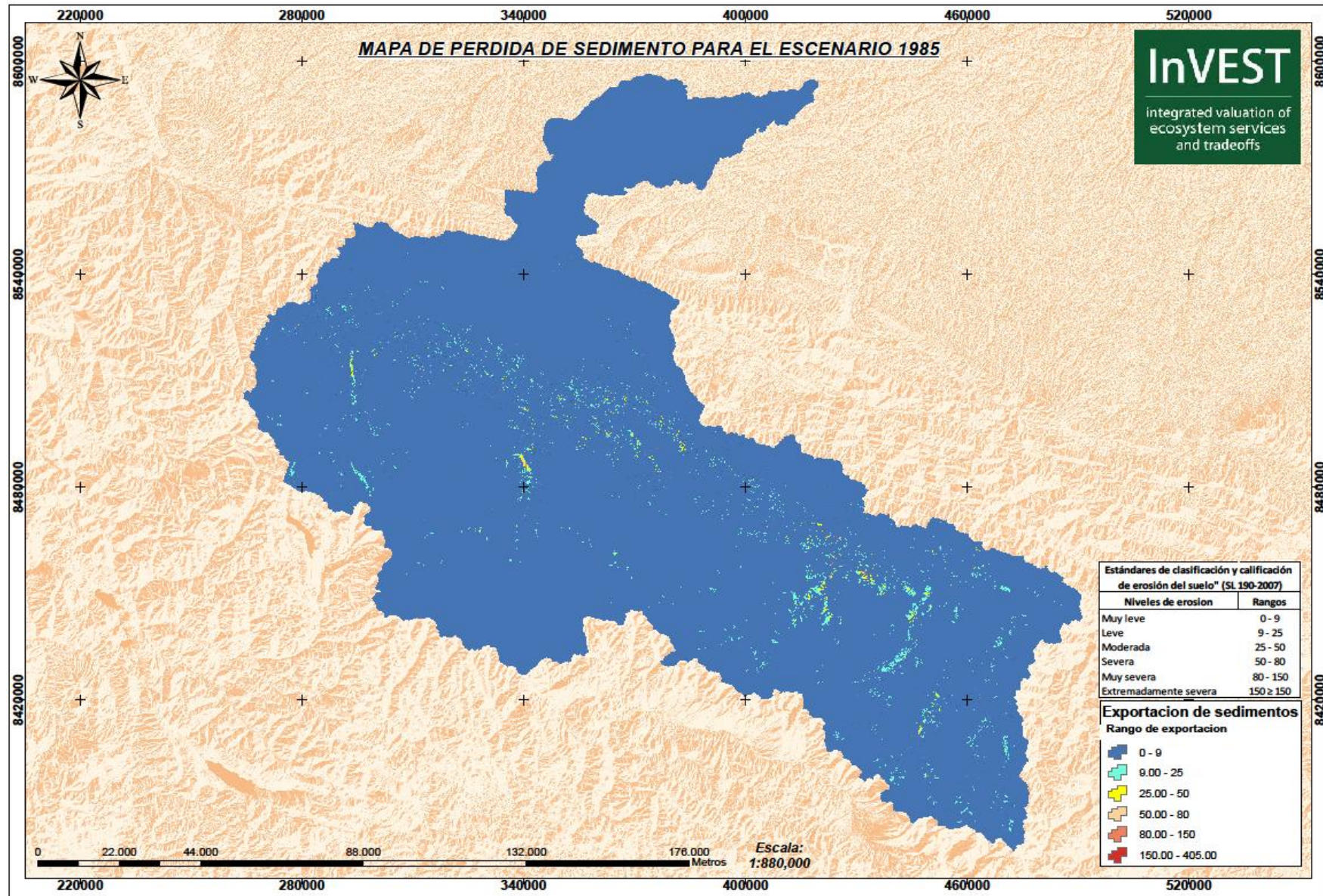


Figura 27. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1985

- **Exportación de sedimentos año 1990**

Para el escenario del año 1990 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 452,88 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,196 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,815 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 410 763,53 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 1990. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; En la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 860 840,85 t representando el 19,52%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 628 325,67 t representando el 14,25%; seguidamente esta la cobertura de minería con 7 300,78 t representando el 0,17%; seguido de la cobertura de carreteras con 3 960,90 t representando el 0,09% y finalmente las áreas de urbanización con 2 206,92 t representando el 0,05% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 908 128,40 t representando el 65.93%.

Tabla 5. Tabla de exportación de sedimentos del año 1990.

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 1990			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	860840,85	19,52
2	Áreas sin vegetación natural	628325,67	14,25
3	Minería	7300,78	0,17
4	Carreteras	3960,90	0,09
5	Urbanizacion	2206,92	0,05
6	Áreas naturales	2908128,40	65,93
TOTAL		4410763,53	100,00

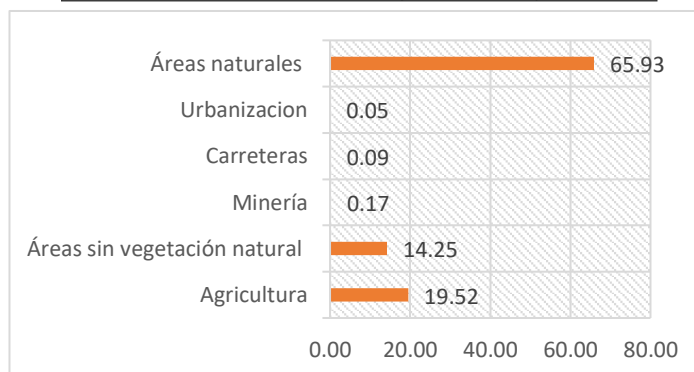


Figura 28. Resumen de exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el escenario del año 1990.

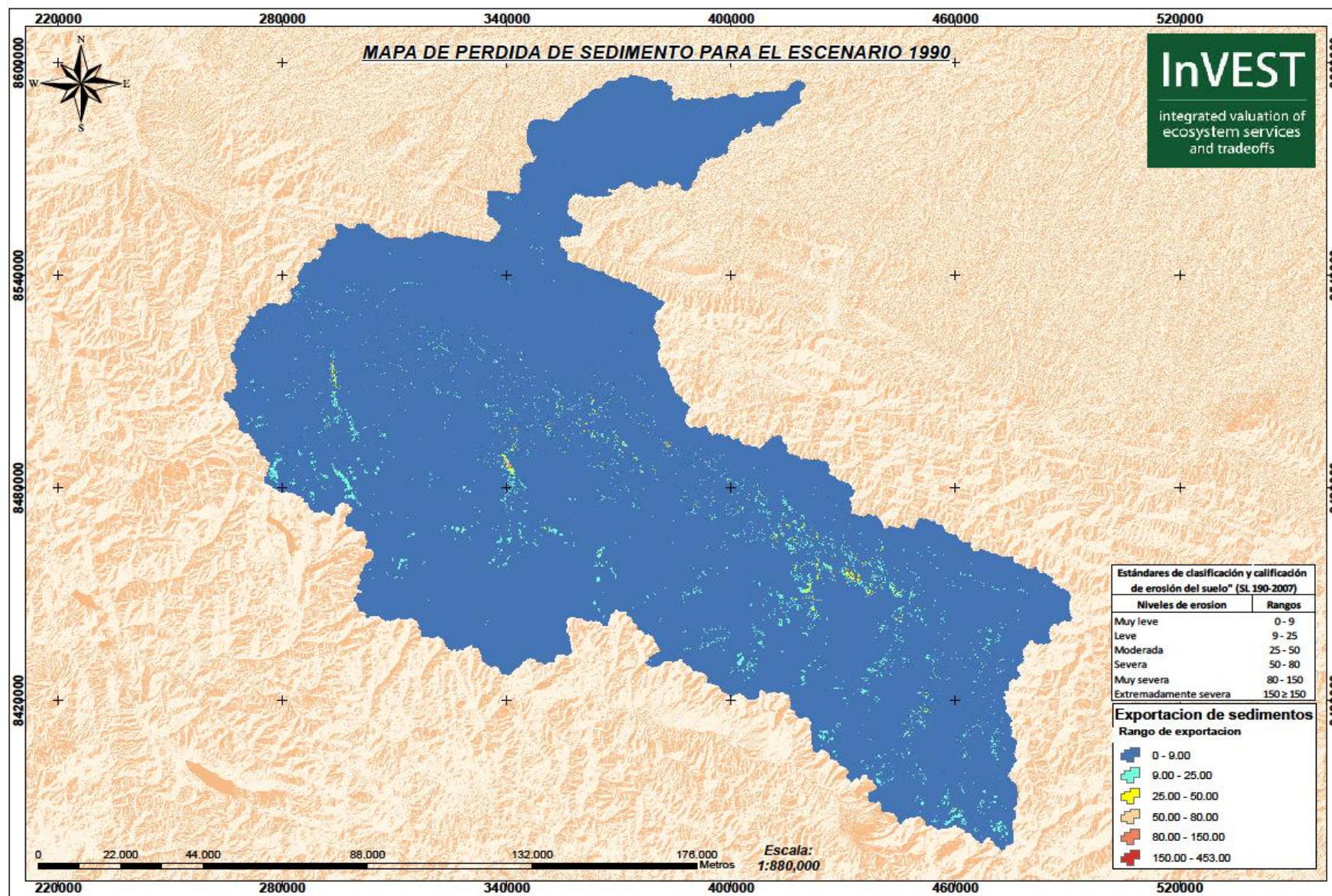


Figura 29. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1990.

- **Exportación de sedimentos año 1995**

Para el escenario del año 1995 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 519,10 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,179 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,542 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 034 742,87 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 1995. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; en la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 858 110,06 t representando el 21,27%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 600 341,04 t representando el 14,88%; seguidamente esta la cobertura de minería con 10 855,43 t representando el 0,27%; seguido de la cobertura de carreteras con 2 287,77 t representando el 0,06% y finalmente las áreas de urbanización con 238,26 t representando el 0,01% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 562 910,31 t representando el 63,52%.

Tabla 6. Tabla de exportación de sedimentos del año 1995

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 1995			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	858110,06	21,27
2	Áreas sin vegetación natural	600341,04	14,88
3	Minería	10855,43	0,27
4	Carreteras	2287,77	0,06
5	Urbanizacion	238,26	0,01
6	Áreas naturales	2562910,31	63,52
TOTAL		4034742,87	100,00

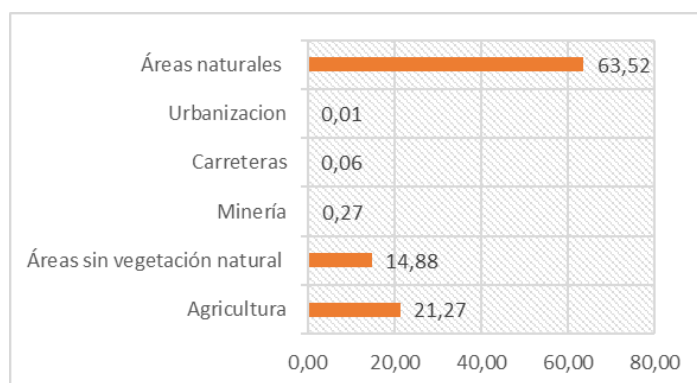


Figura 29. Resumen de exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el escenario del año 1995.

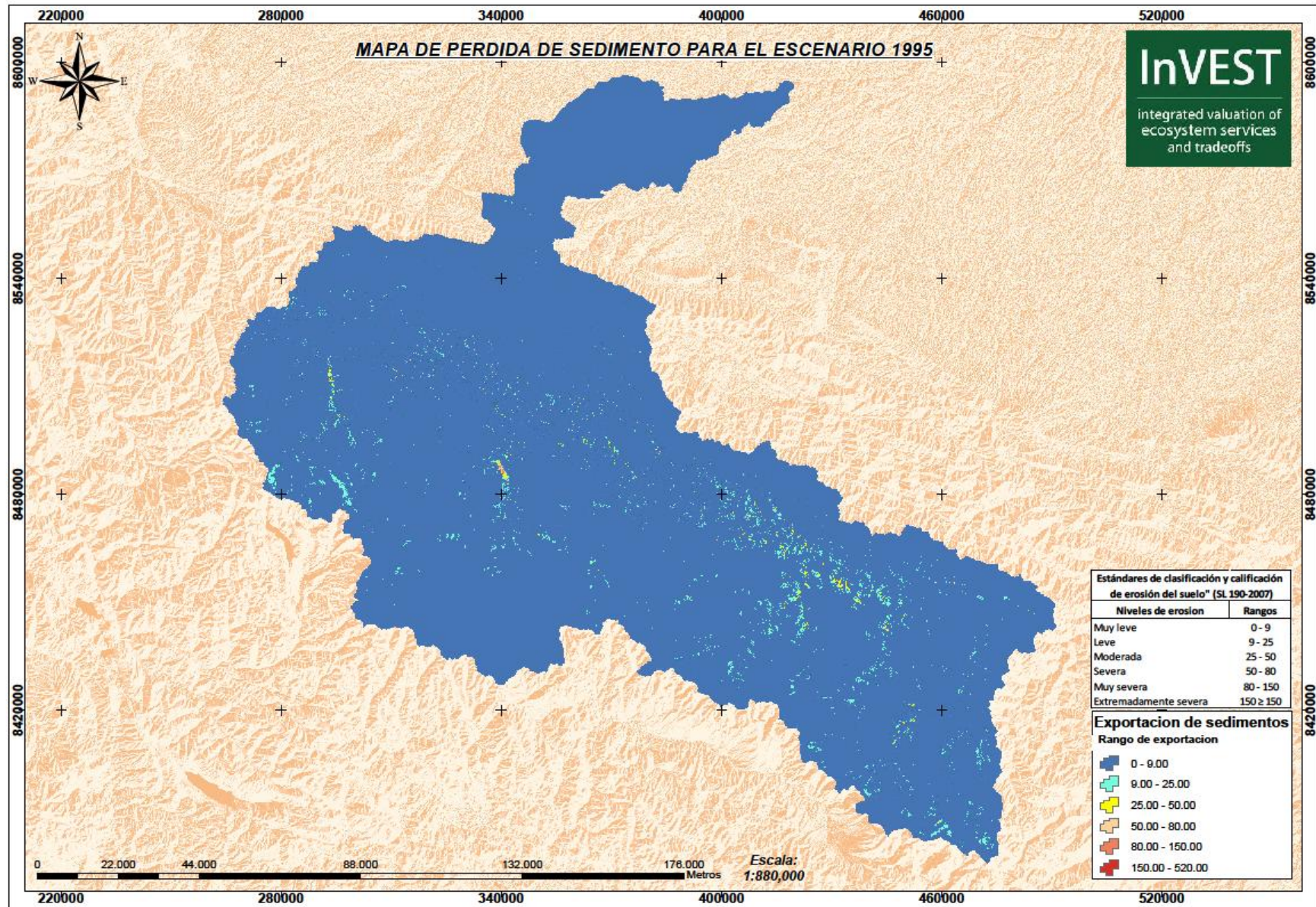


Figura 31. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 1995.

- **Exportación de sedimentos año 2000**

Para el escenario del año 2000 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 549,09 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,210 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,818 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 727 571,84 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2000. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; En la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 996 248,61 t representando el 21,07%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 692 280,25 t representando el 14,64%; seguidamente esta la cobertura de minería con 30 514,98 t representando el 0,65%; seguido de la cobertura de carreteras con 7 362,95 t representando el 0,16% y finalmente las áreas de urbanización con 5 325,10 t representando el 0,11% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 995 839,95 t representando el 63,37%.

Tabla 7. Tabla de exportación de sedimentos del año 2000

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2000			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	996248,61	21,07
2	Áreas sin vegetación natural	692280,25	14,64
3	Minería	30514,98	0,65
4	Carreteras	7362,95	0,16
5	Urbanizacion	5325,10	0,11
6	Áreas naturales	2995839,95	63,37
TOTAL		4727571,84	100,00

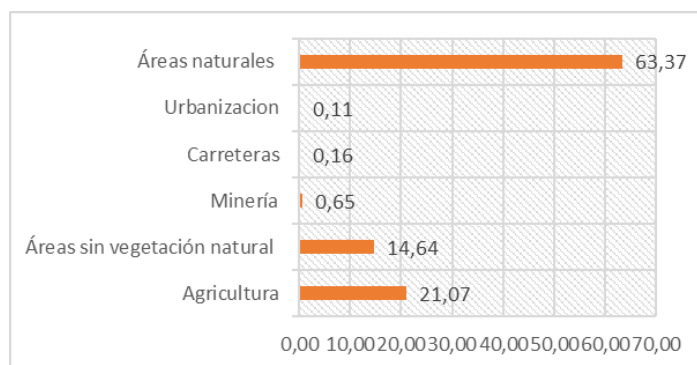


Figura 32. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el escenario del año 2000.

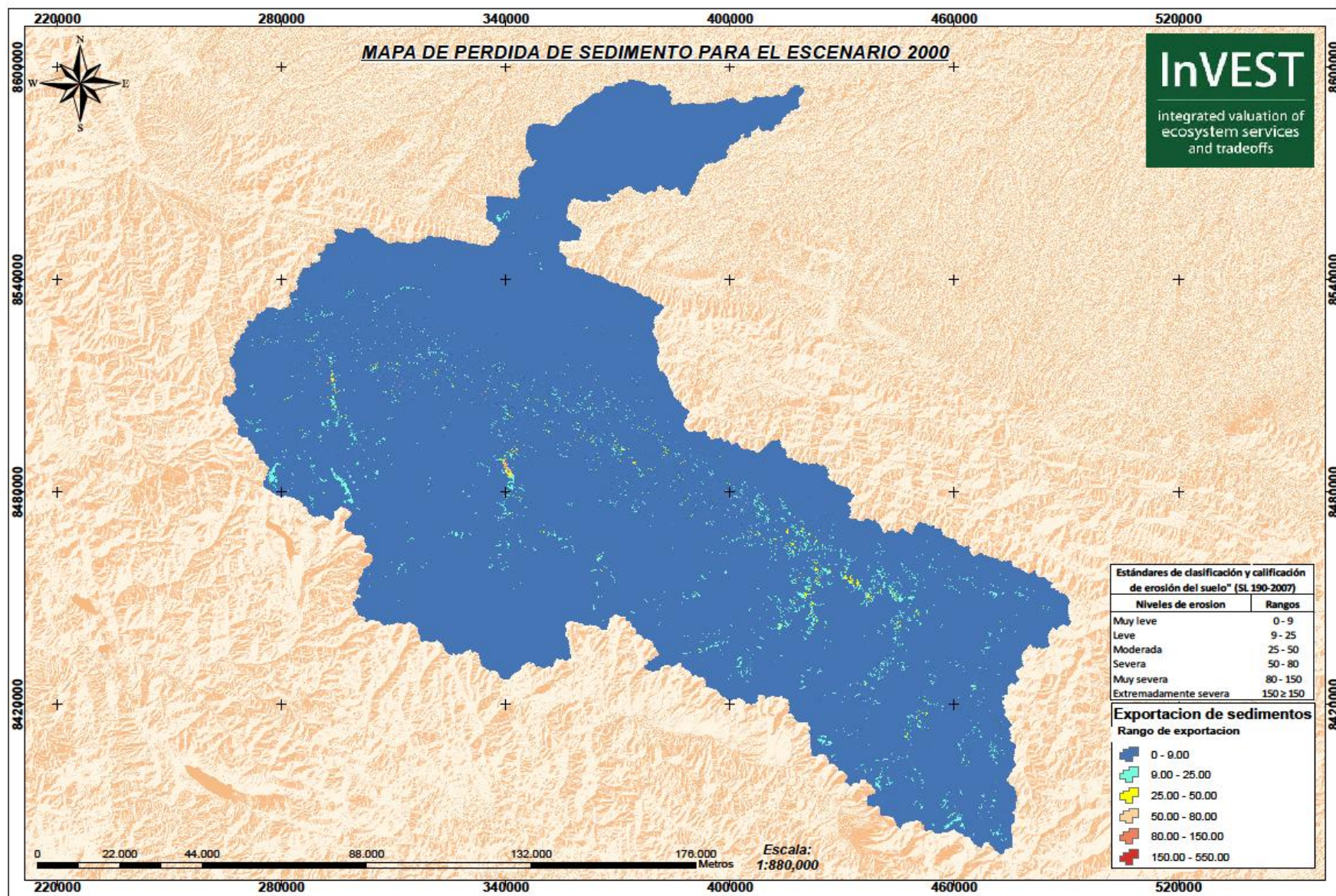


Figura 33. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2000.

- **Exportación de sedimentos año 2005**

Para el escenario del año 2005 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 547,95 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,186 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,643 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 3 111 201,97 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2005. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; En la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 853 339,92 t representando el 27,43%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 731 306,52 t representando el 23,51%; seguidamente esta la cobertura de minería con 28 875,38 t representando el 0,93%; seguido de la cobertura de carreteras con 7 456,09 t representando el 0,24% y finalmente las áreas de urbanización con 6 615,03 t representando el 0,21% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 1 483 609,03 t representando el 47,69%.

Tabla 8. Tabla de exportación de sedimentos del año 2005

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2005			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	853339,92	27,43
2	Áreas sin vegetación natural	731306,52	23,51
3	Minería	28875,38	0,93
4	Carreteras	7456,09	0,24
5	Urbanizacion	6615,03	0,21
6	Áreas naturales	1483609,03	47,69
TOTAL		3111201,97	100,00

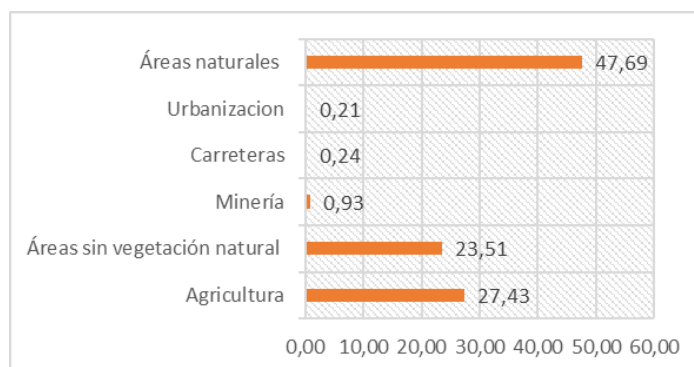


Figura 34. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica del escenario del año 2005.

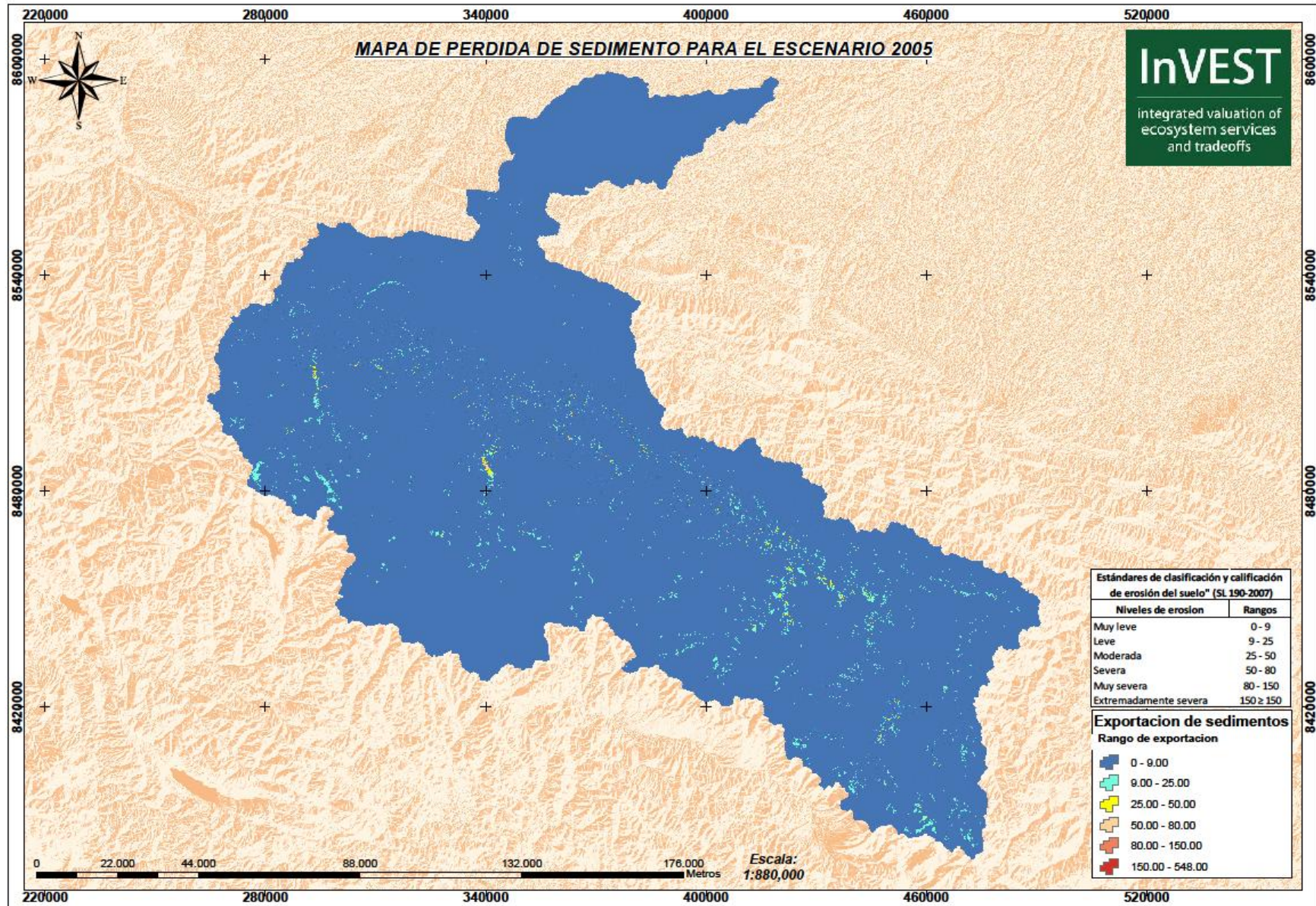


Figura 35. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2005.

- **Exportación de sedimentos año 2010**

Para el escenario del año 2010 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 573,27 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,179 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,674 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 016 805,13 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2010. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; en la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 849 932,05 t representando el 21,16%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 732 710,74 t representando el 18,24%; seguidamente esta la cobertura de minería con 51 156,24 t representando el 1,27%; consecutivamente se encuentra el área de urbanización con 8 220,26 t representando el 0,20% y finalmente la cobertura de carreteras con 7 272,15 t representando el 0,18% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 367 513,69 t representando el 58,94%.

Tabla 9. Tabla de exportación de sedimentos del año 2010

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2010			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	849932,05	21,16
2	Áreas sin vegetación natural	732710,74	18,24
3	Minería	51156,24	1,27
4	Urbanizacion	8220,26	0,20
5	Carreteras	7272,15	0,18
6	Áreas naturales	2367513,69	58,94
TOTAL		4016805,13	100,00

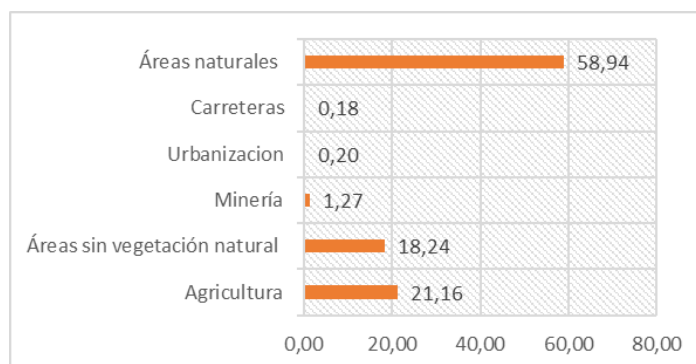


Figura 36. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el año 2010.

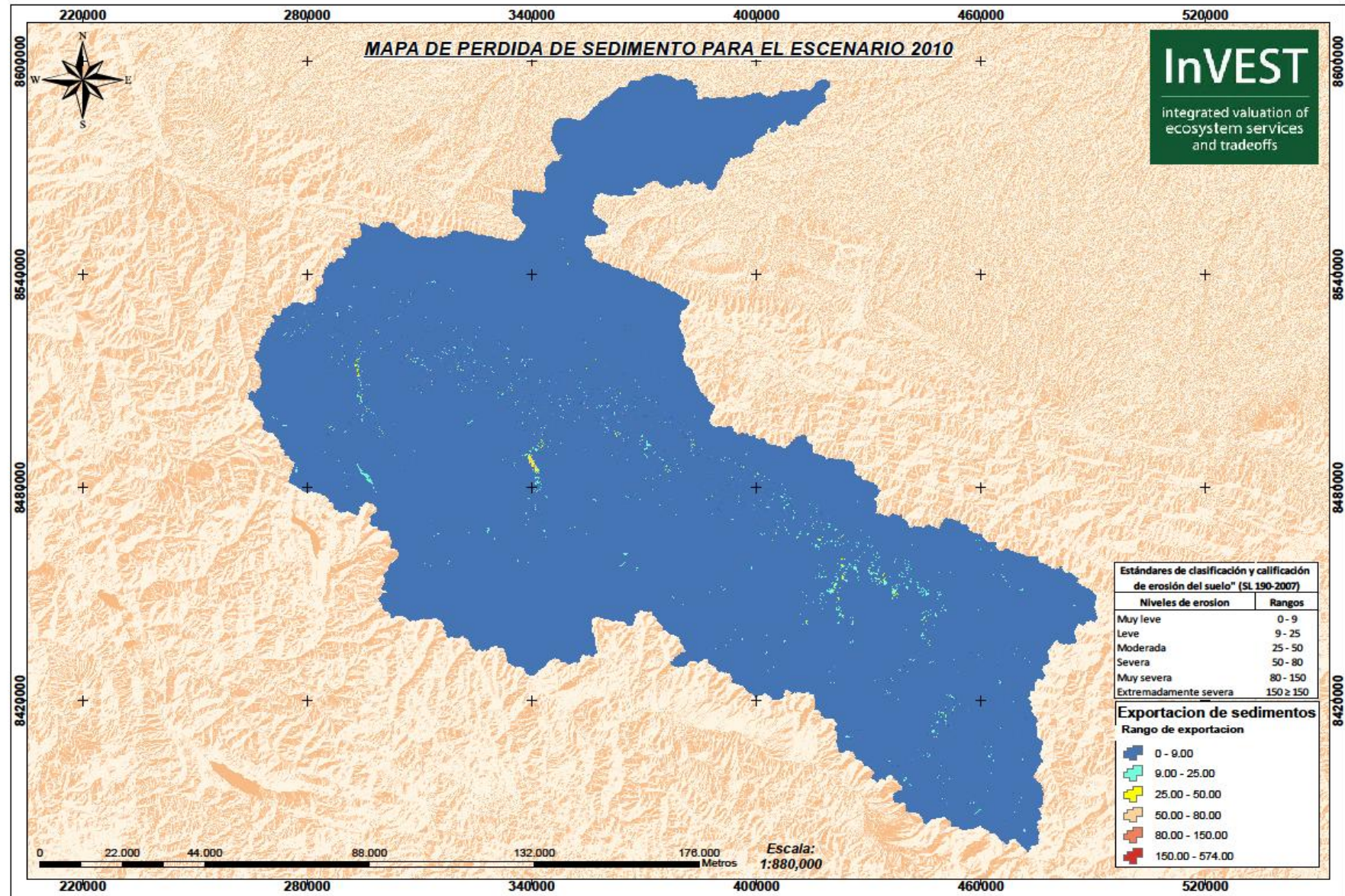


Figura 37. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2010.

- **Exportación de sedimentos año 2015**

Para el escenario del año 2015 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 450,44 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de 0,182 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de 1,662 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 082 565,02 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2015. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; en la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 843 093,10 t representando el 20,65%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 709 945,38 t representando el 17,39%; seguidamente esta la cobertura de minería con 87 229,79 t representando el 2,14%; seguido de la cobertura de carreteras con 18 441,14 t representando el 0,45%; consecutivamente se encuentra la cobertura de urbanización con 11 534,93 t representando el 0,28% y finalmente el área de silvicultura con 0,03 t representando el 0,000001% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 412 320,64 t representando el 59,09%.

Tabla 10. Tabla de exportación de sedimentos del año 2015

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2015			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	843093,10	20,65
2	Áreas sin vegetación natural	709945,38	17,39
3	Minería	87229,79	2,14
4	Carreteras	18441,14	0,45
5	Urbanizacion	11534,93	0,28
6	Silvicultura	0,03	0,000001
7	Áreas naturales	2412320,64	59,09
TOTAL		4082565,02	100,00

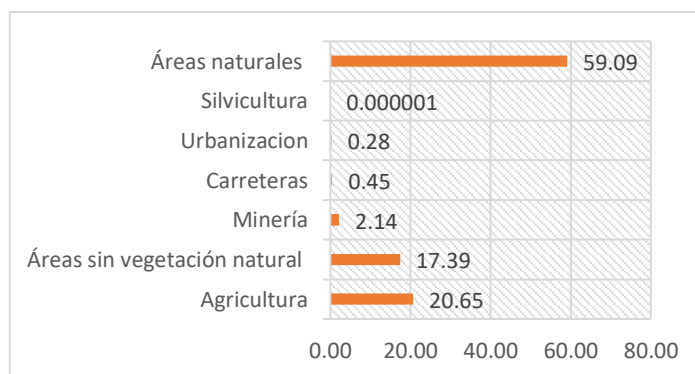


Figura 38. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el año 2015.

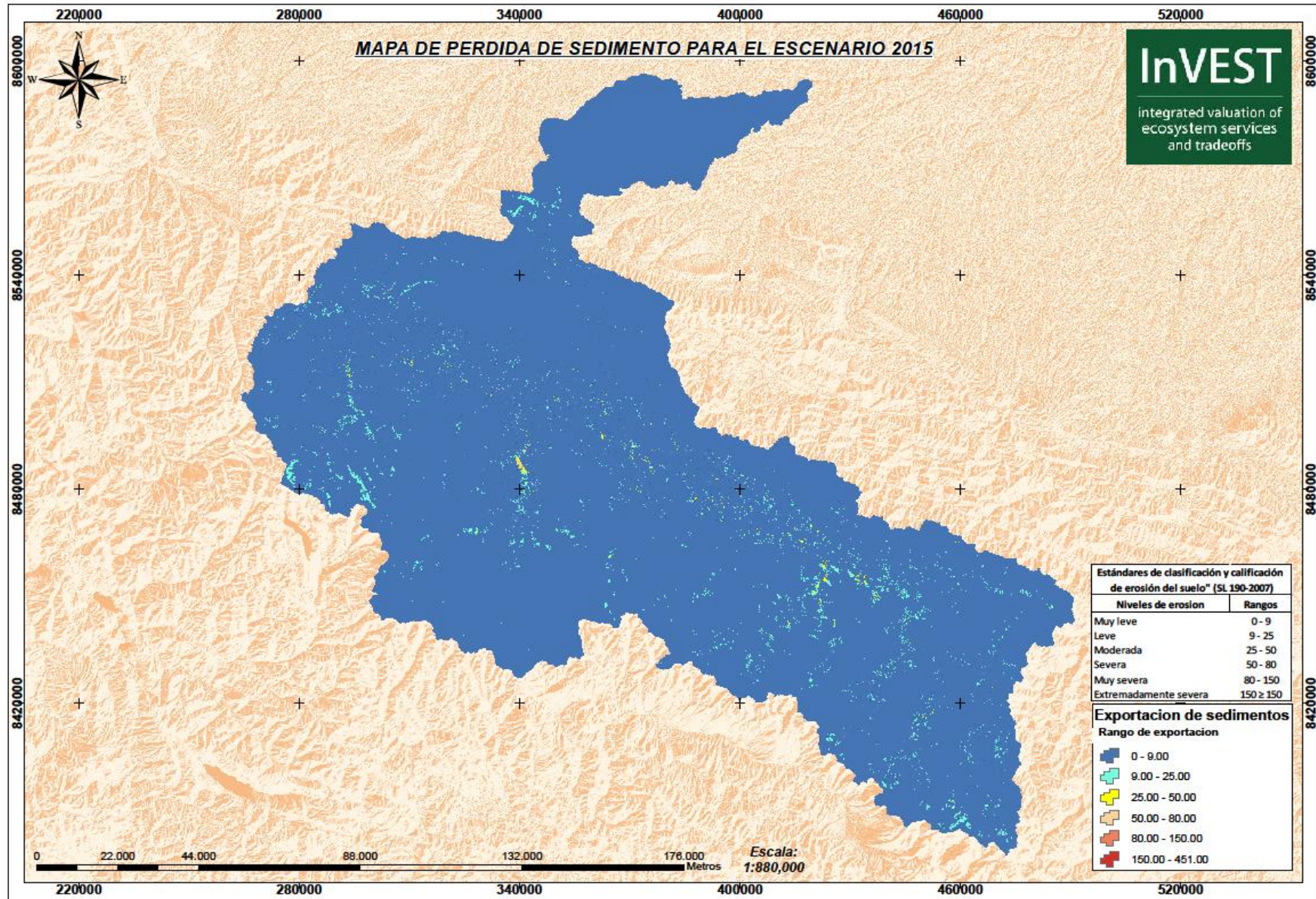


Figura 39. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2015.

- **Exportación de sedimentos año 2020**

Para el escenario del año 2020 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 561,09 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $0,139 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $1,470 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 3 123 774,37 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2020. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; en la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 1 040 931,18 t representando el 33,32%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 882 793,33 t representando el 28,26%; seguidamente esta la cobertura de minería con 126 289,06 t representando el 4,04%; seguido de la cobertura de carreteras con 11 329,28 t representando el 0,36%; consecutivamente se encuentra la cobertura de urbanización con 4 218,67 t representando el 0,14% y finalmente el área de silvicultura con 3,01 t representando el 0,0001% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 1 058 209,83 t representando el 33,88%.

Tabla 11. Tabla de exportación de sedimentos del año 2020

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2020			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	1040931,18	33,32
2	Áreas sin vegetación natural	882793,33	28,26
3	Minería	126289,06	4,04
4	Carreteras	11329,28	0,36
5	Urbanizacion	4218,67	0,14
6	Silvicultura	3,01	0,0001
7	Áreas naturales	1058209,83	33,88
TOTAL		3123774,37	100,00

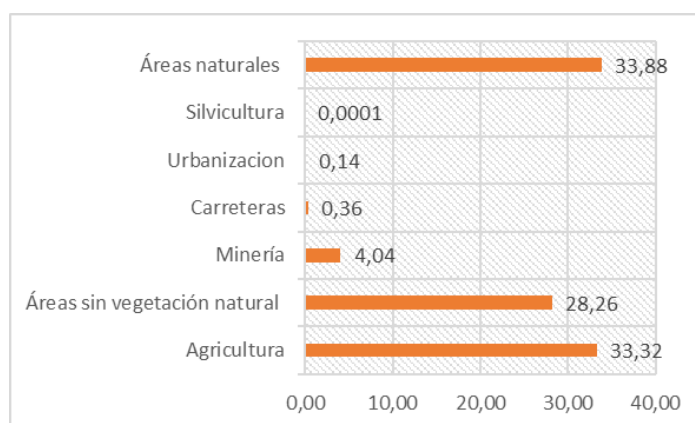


Figura 40. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el año 2020.

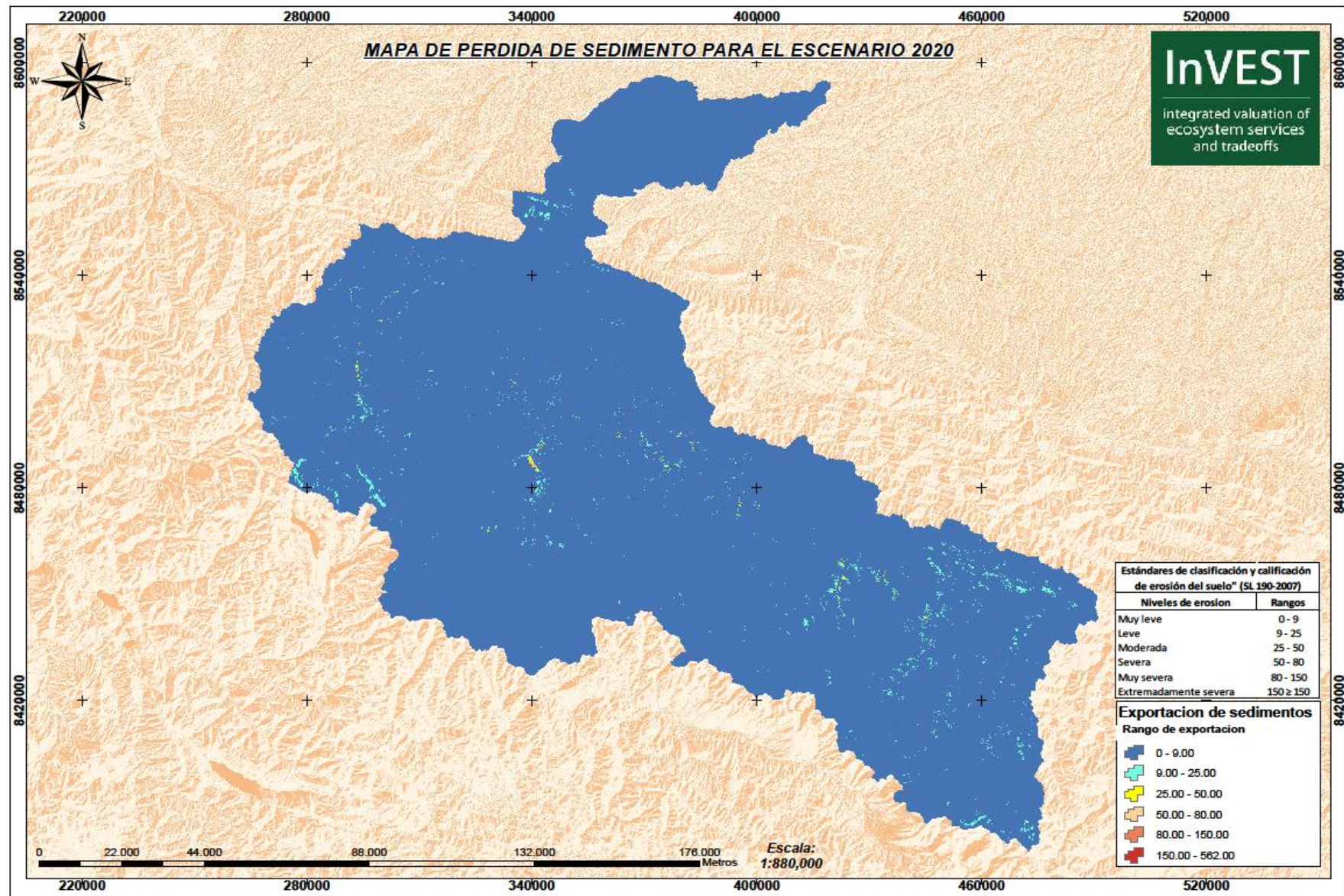


Figura 41. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2020.

- **Exportación de sedimentos año 2021**

Para el escenario del año 2021 se estiman pérdidas de suelo en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 600,17 toneladas de sedimento exportado por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de 0,184 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de 1,689 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ y una suma total de 4 132 768,76 toneladas de sedimento exportado referente al escenario del año 2021. De los cuales la exportación de sedimentos generado por actividades antropogénicas en un año natural fue; En la cobertura de agricultura hubo una pérdida de 869 681,71 t representando el 21,04%; después se encuentran las áreas sin vegetación natural 700 769,90 t representando el 16,96%; seguidamente esta la cobertura de minería con 109 660,44 t representando el 2,65%; consecutivamente se encuentra la cobertura de urbanización con 13 696,25 t representando el 0,33%; seguido de la cobertura de carreteras con 4 177,23 t representando el 0,10% y finalmente el área de silvicultura con 0,93 t representando el 0,00002% no obstante, en las áreas de cobertura natural también se registró una pérdida de 2 434 782,30 t representando el 58,91%.

Tabla 12. Tabla de exportación de sedimentos del año 2021

CUADRO DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS 2021			
N°	LANDCOVER	EXPORTACION	PORCENTAJE
1	Agricultura	869681,71	21,04
2	Áreas sin vegetación natural	700769,90	16,96
3	Minería	109660,44	2,65
4	Urbanizacion	13696,25	0,33
5	Carreteras	4177,23	0,10
6	Silvicultura	0,93	0,00002
7	Áreas naturales	2434782,30	58,91
TOTAL		4132768,76	100,00

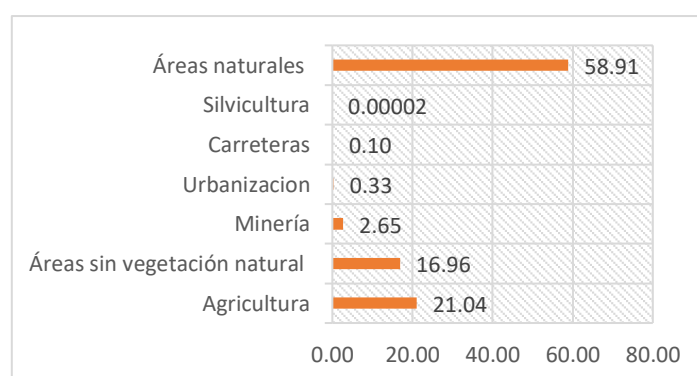


Figura 42. Exportación de sedimentos por actividad antropogénica para el año 2021.

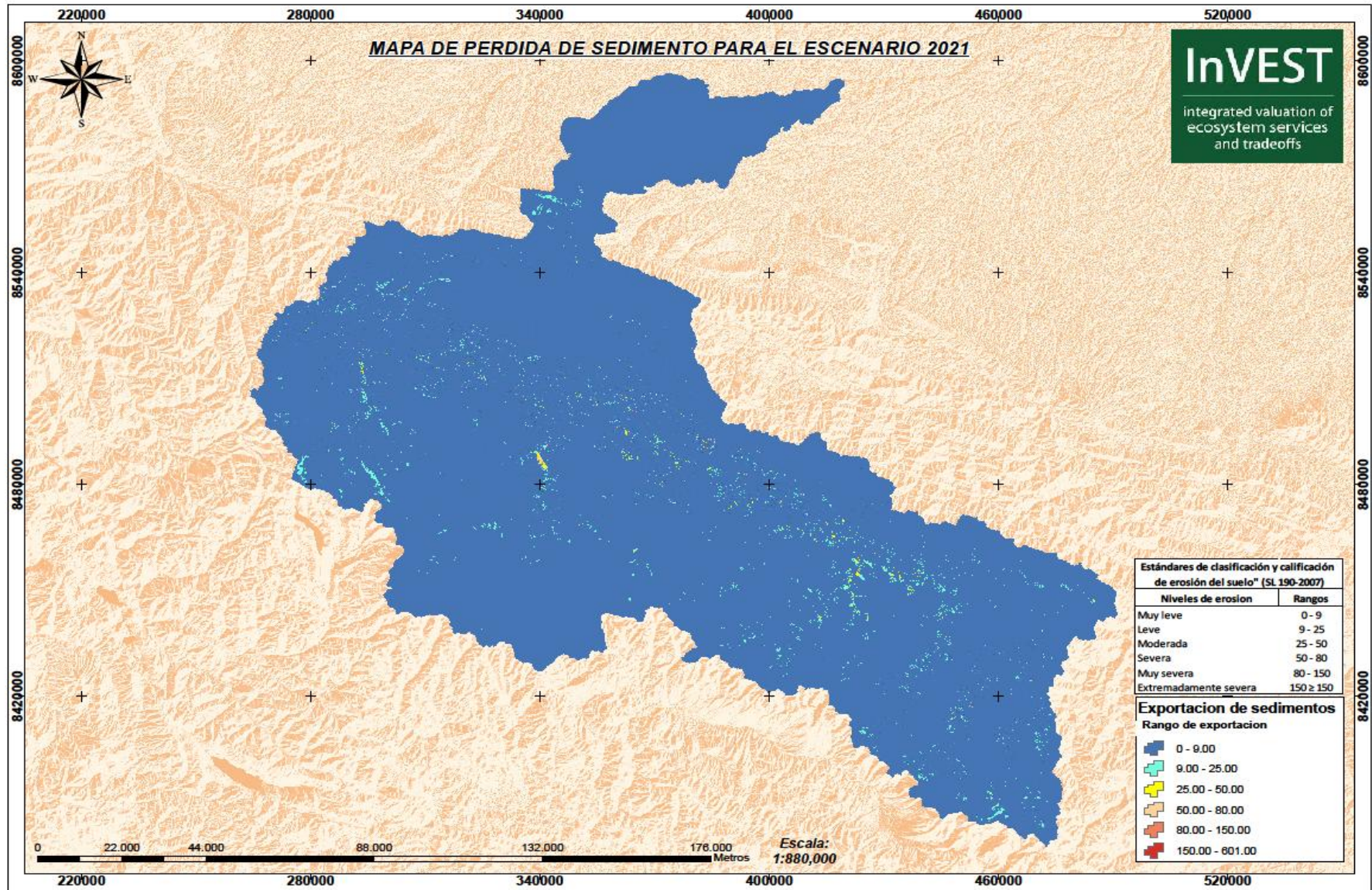


Figura 43. Mapa de exportación de sedimentos para el escenario 2021.

4.4. Determinar y describir la retención periódica de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari

4.4.1 Retención de sedimentos

Los resultados obtenidos a través del software InVEST, nos proporciona los ráster dinámicos los cuales se pueden interpretar a través de herramientas GIS donde se estiman las principales pruebas estadísticas.

Retención de sedimentos año 0000

Para el escenario ficticio del año 0000 se estima la retención sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,54 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $29,08 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,45 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $653\,867\,888,79 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario ficticio.

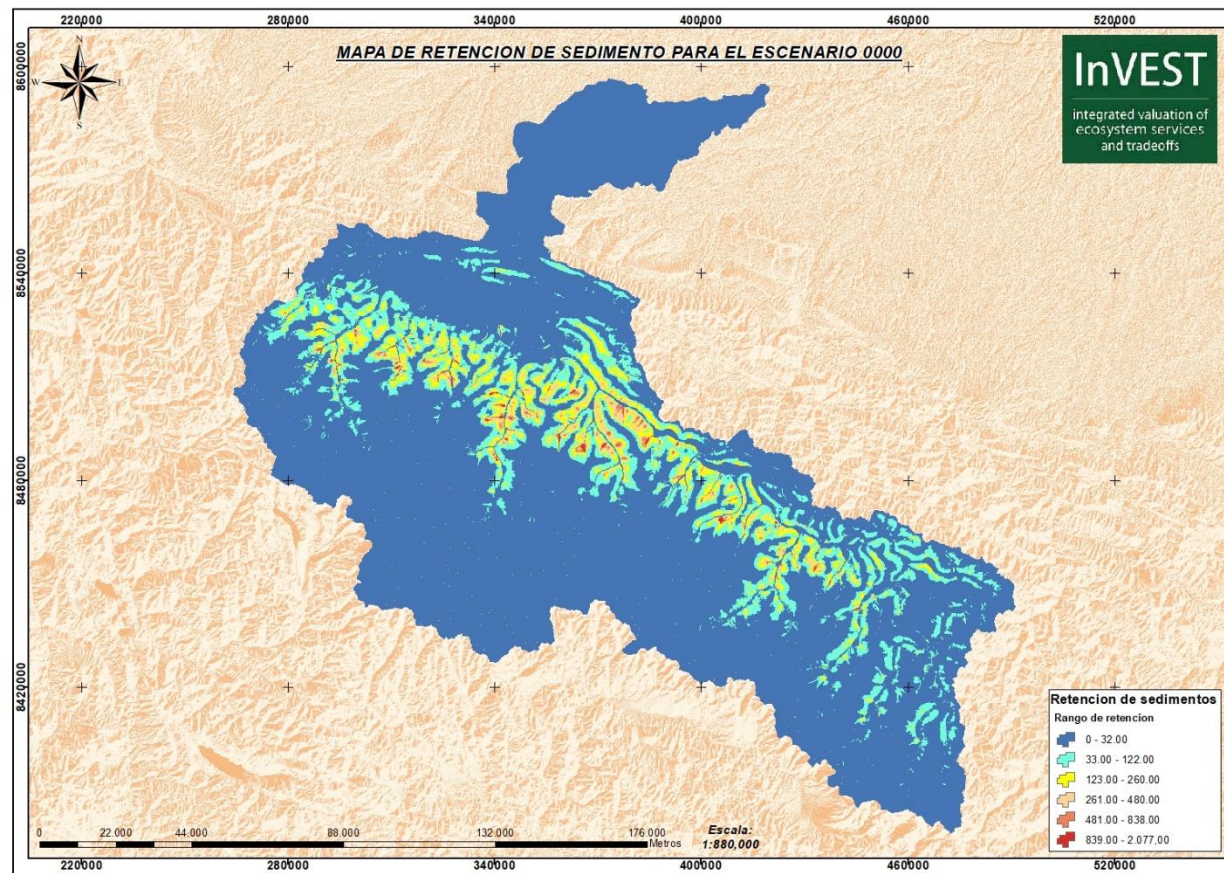


Figura 44. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 0000.

Retención de sedimentos año 1985

Para el escenario del año 1985 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,46 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,92 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,04 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $650\,403\,526,04 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 1985.

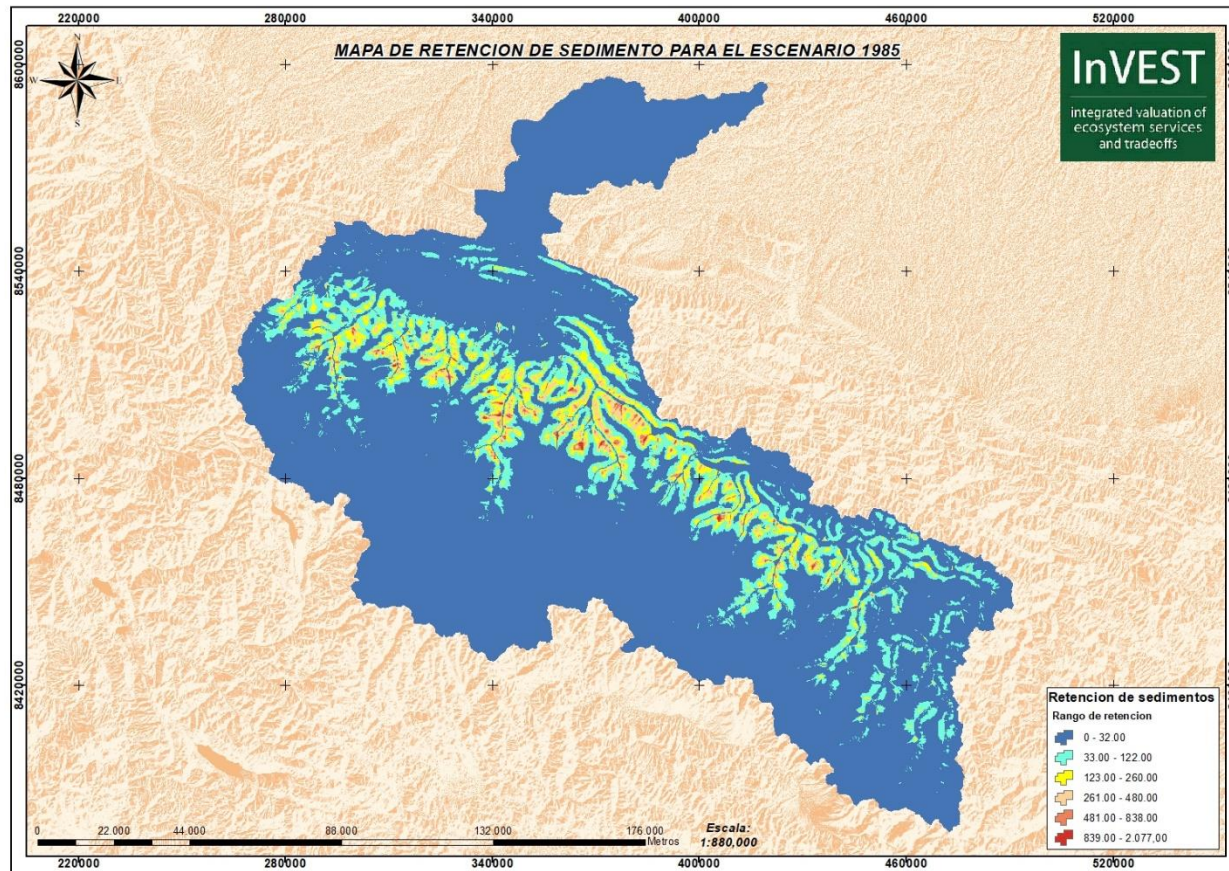


Figura 45. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1985.

Retención de sedimentos año 1990.

Para el escenario del año 1990 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,48 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,97 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,16 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,601\,533,45 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 1990.

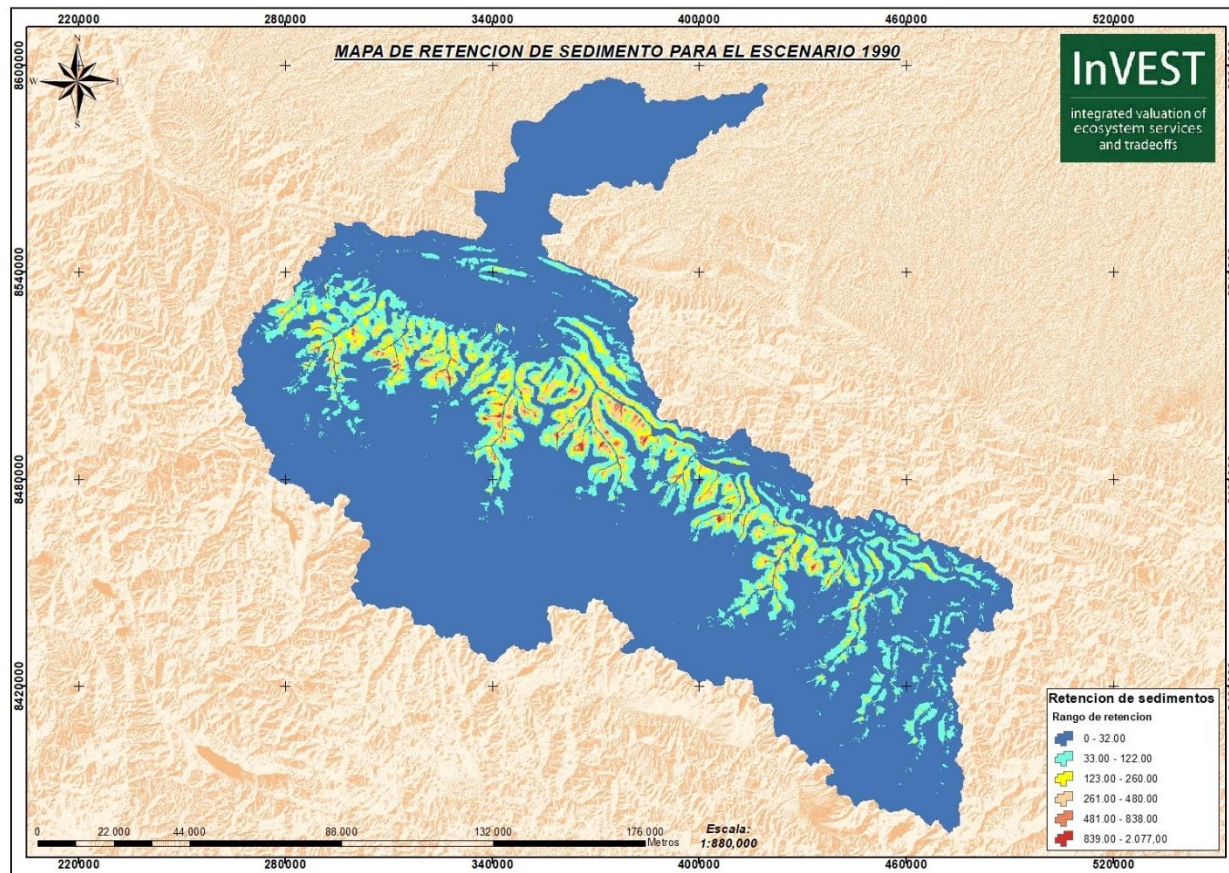


Figura 46. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1990.

Retención de sedimentos año 1995.

Para el escenario del año 1995 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,50 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,99 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,19 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,979\,648,44 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 1995.

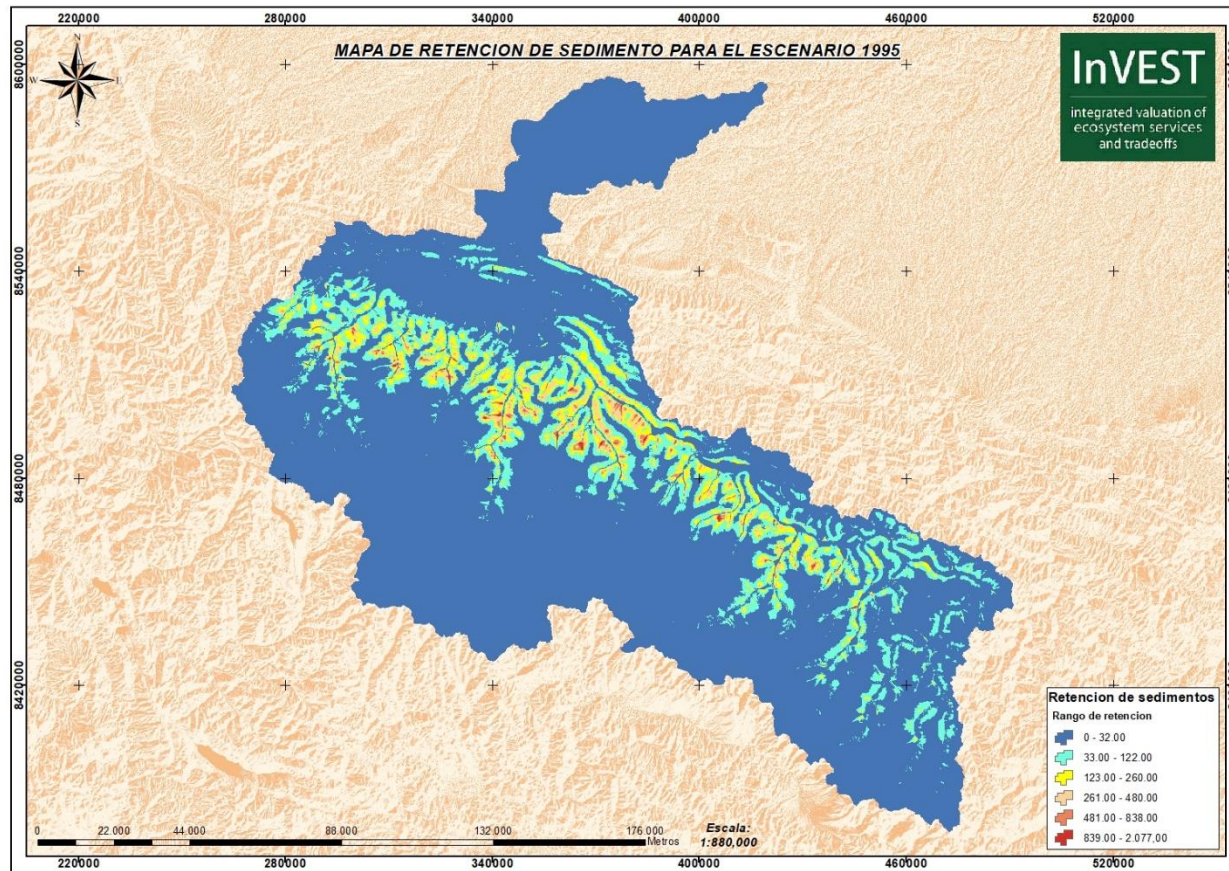


Figura 47. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 1995.

Retención de sedimentos año 2000.

Para el escenario del año 2000 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,48 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $29,05 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,28 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,979\,648,44 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2000.

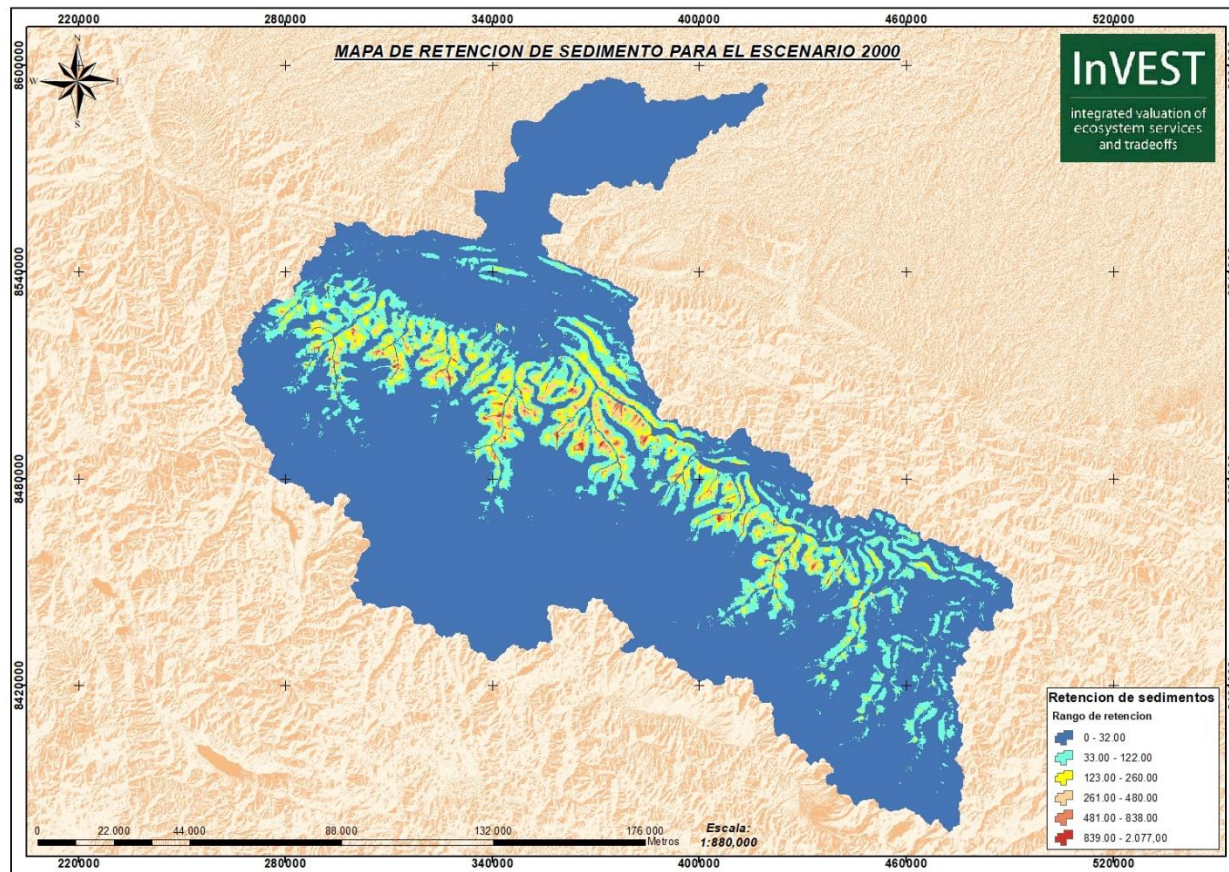


Figura 48. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2000.

Retención de sedimentos año 2005.

Para el escenario del año 2005 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,48 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,98 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,20 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,827\,669,95 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2005.

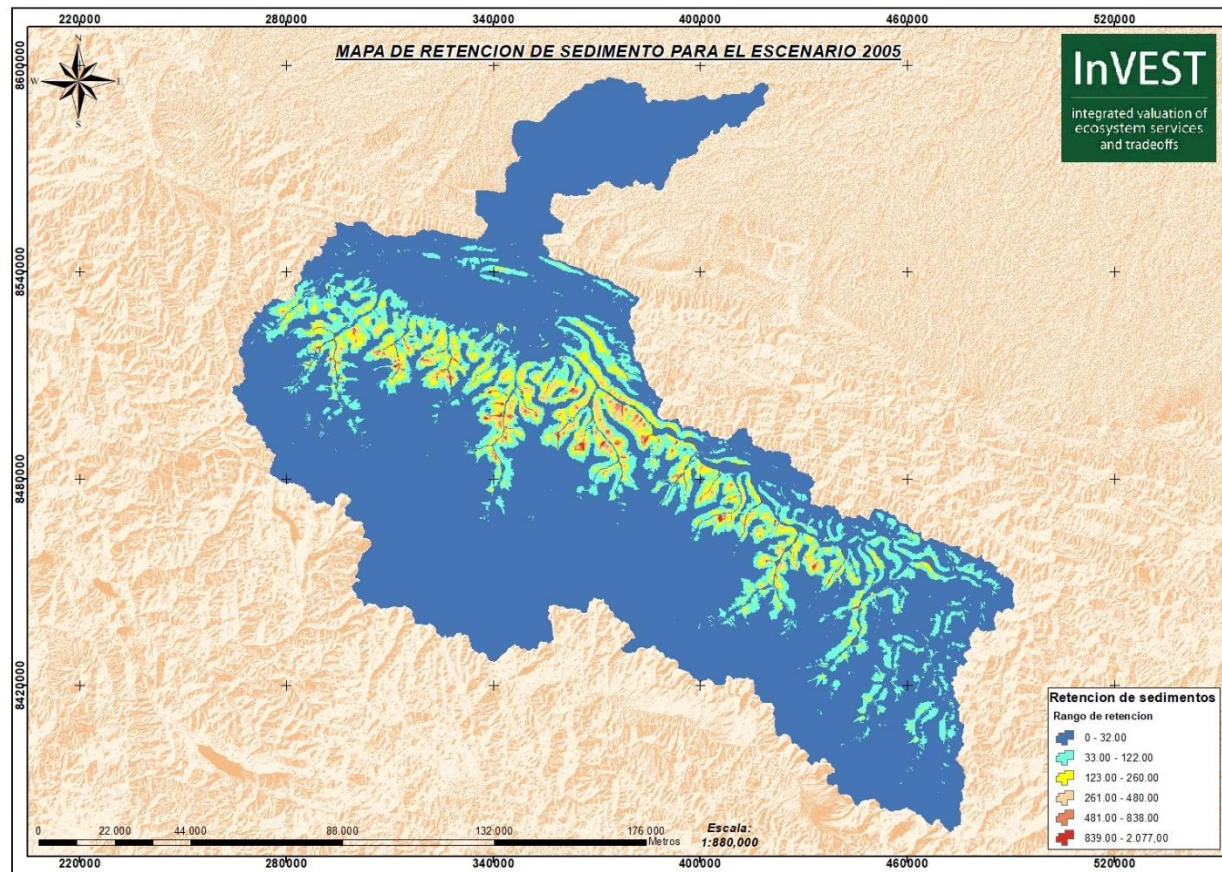


Figura 49. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2005.

Retención de sedimentos año 2010.

Para el escenario del año 2010 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,49 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $29,00 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,22 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,992\,998,37 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2010.

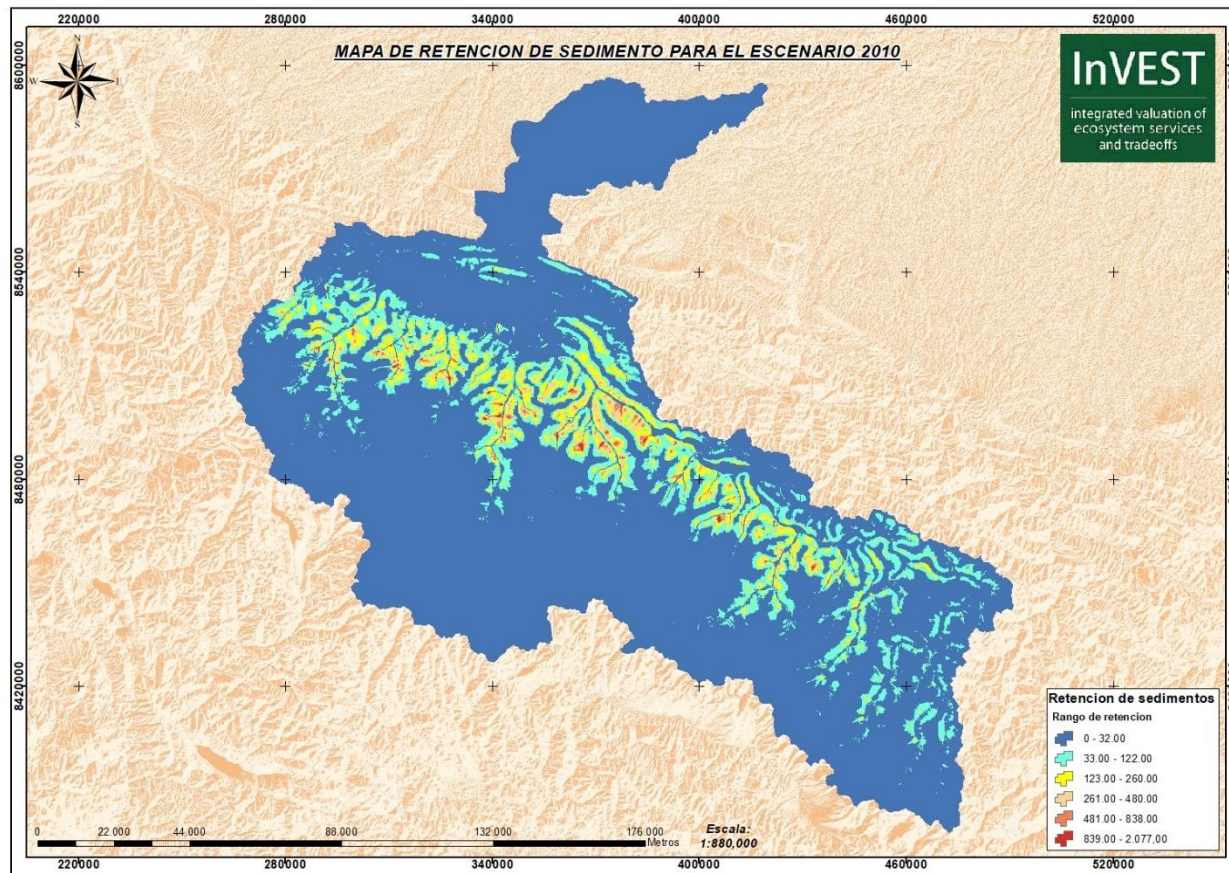


Figura 50. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2010.

Retención de sedimentos año 2015.

Para el escenario del año 2015 se estima la retención de sedimentos en un rango donde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,49 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,99 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,21 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,929\,686,93 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2015.

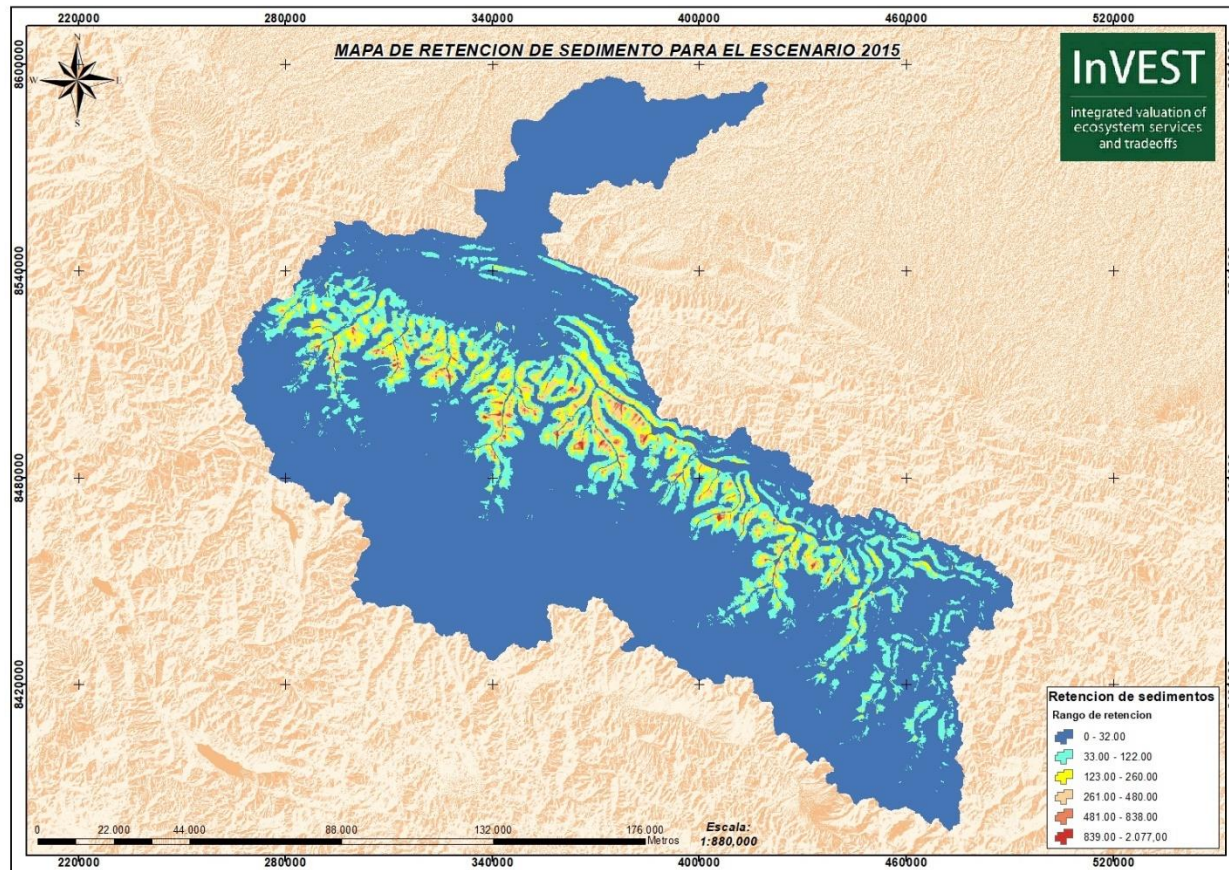


Figura 51. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2015.

Retención de sedimentos año 2020.

Para el escenario del año 2020 se estima la retención sedimentos en un rango dónde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,49 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28,99 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,21 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,879\,496,22 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2020.

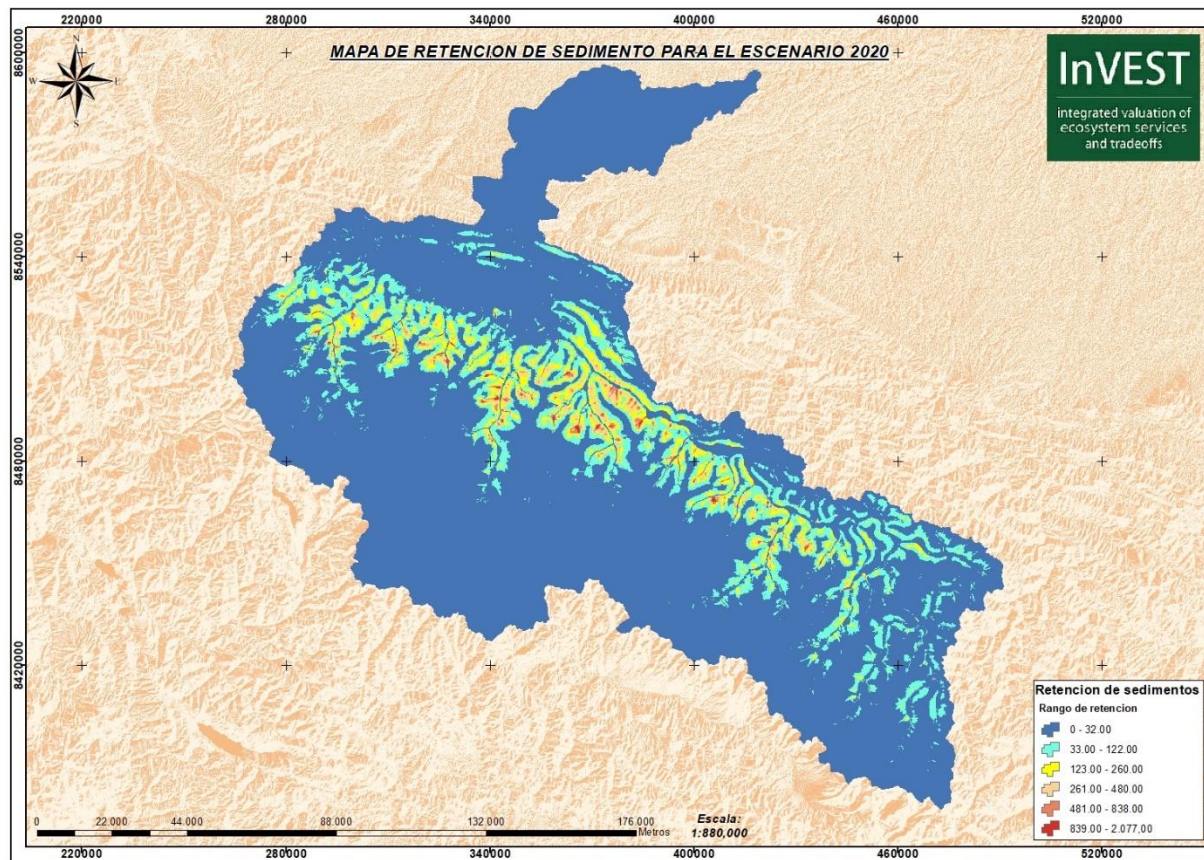


Figura 52. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2020.

Retención de sedimentos año 2021.

Para el escenario del año 2021 se estima la retención sedimentos en un rango dónde el valor mínimo es de 0 y el valor máximo es de 2 076,48 toneladas de sedimento retenido por pixel en un año natural ($\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), en un área de 2 023 921,61 hectáreas con una media de $28.96 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, una desviación estándar de $76,13 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$; alcanzando una suma de $651\,284\,718,75 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ de sedimento retenido para el escenario del año 2021.

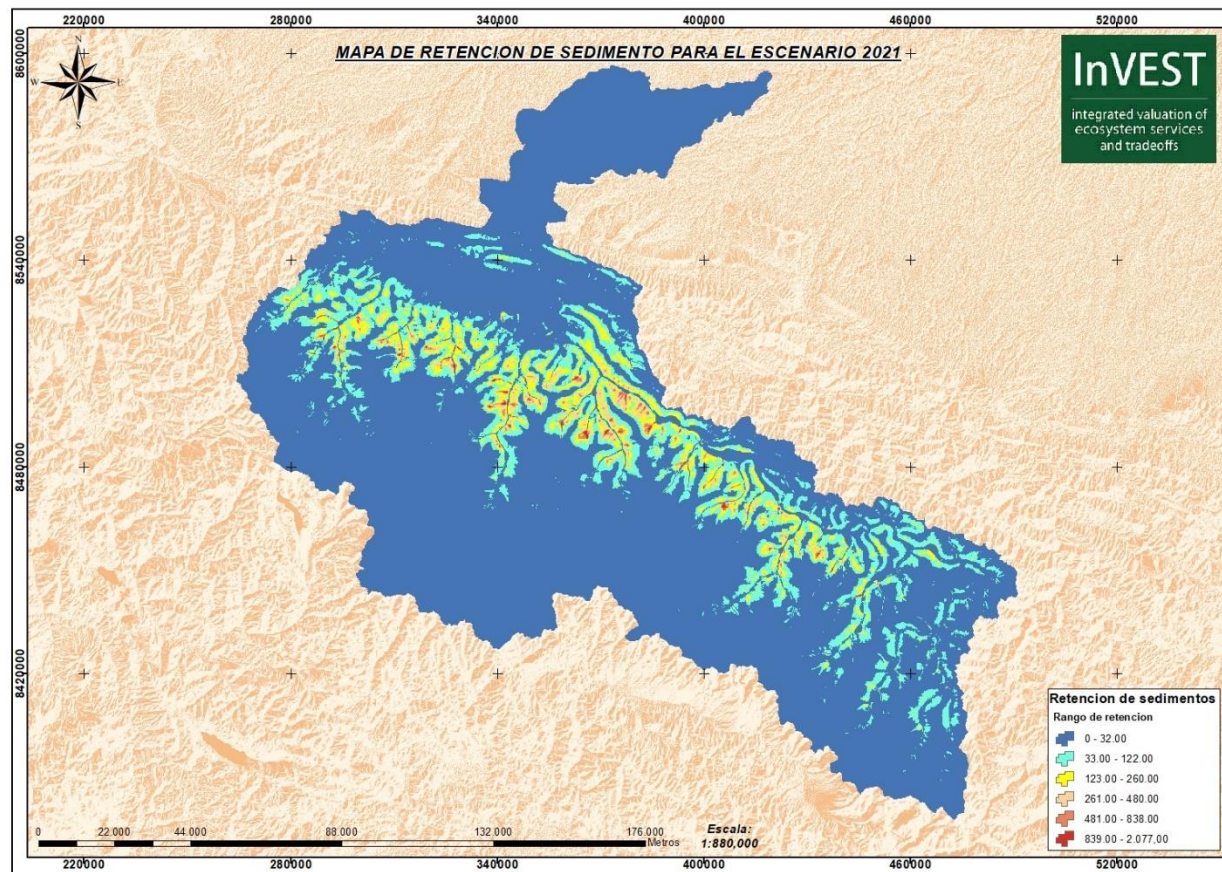


Figura 53. Mapa de retención de sedimentos para el escenario 2021.

4.5. Relacionar el impacto antrópico de la exportación y retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari

Tabla 13. Tabla comparativa general de la exportación de sedimentos

CUADRO RESUMEN DE EXPORTACION DE SEDIMENTOS						
AÑO	N° PÍXELES	AREA	MIN	MAX	MEAN	STD
0	22488178	2023921,61	0	370,51	0,095	0,767
1985				392,95	0,110	1,260
1990				452,88	0,196	1,815
1995				519,10	0,179	1,542
2000				549,09	0,210	1,818
2005				547,95	0,186	1,643
2010				573,27	0,179	1,674
2015				450,44	0,182	1,662
2020				561,09	0,139	1,470
2021				600,17	0,184	1,689

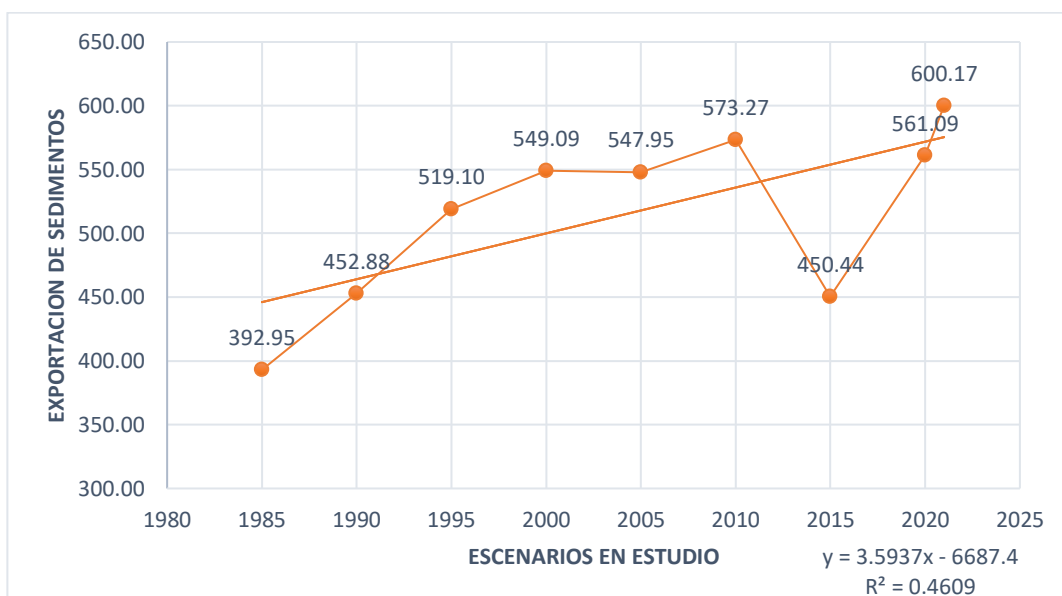


Figura 54. Gráfica lineal de pérdida de sedimentos.

Se aprecia en la tabla 13 y figura 54 que hay un crecimiento paulatino en los rangos de exportación de sedimento esto se atribuye a la pérdida de cobertura vegetal. Según Muñoz Guerrero et al., (2009) la pérdida de la cobertura vegetal genera disminuciones en calidad y cantidad del recurso suelo ocasionado por la actividad antropogénica como la minería, agricultura, carreteras, silvicultura además de las áreas sin vegetación natural, sin

embargo, en el año 2015 se nota un alejamiento a la línea de tendencia central, esto puede deberse al fenómeno del niño, según (Martínez et al., 2017) el fenómeno del niño en el año 2015 fue uno de los más intensos en toda América latina desde el año 1950; el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.46 lo que indica que aproximadamente el 46% de la variabilidad en la exportación de sedimentos es atribuida a la variación en el tiempo.

Se obtuvo que, para la cuenca del Inambari, los rangos críticos de exportación de sedimentos (superan las $150 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) se hallan en menores cantidades, mientras que los rangos bajos se encuentran en mayor proporción de acuerdo con los "Estándares de clasificación y calificación de erosión del suelo" (SL 190-2007) realizada por el Ministerio de Recursos Hídricos en China el 2007, la pérdida de suelo en el área de estudio se divide en seis clases: muy leve, leve, moderada, severa, muy severa y extremadamente severa con rangos de menores de 9, 10, 25, 50, 80 y $150 \text{ tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ respectivamente, según a esta clasificación se estimó que para el escenario 2021 la cuenca del Inambari cuenta con 1 996 869,33 ha que están en la clase muy leve, 24 088,68 ha en la clase leve, 2 362,59 ha en la clase moderada, 489,15 ha en la clase severa, 117,54 ha en la clase muy severa y finalmente 8,73 ha en la clase extremadamente severa, según Zhu & Zhang, (2019) el incremento de cobertura vegetal disminuye la fuerza de erosión del suelo, sin embargo la fuerza de las lluvias y las pendientes pronunciadas afecta directamente a la erosión lo cual es demostrado en el modelamiento puesto la mayor concentración de erosión se da en zonas de altura y pendientes pronunciadas. Así mismo Núñez-Lara y Molina-Forero (2017) determinan aspectos similares indicando que la dinámica de erosión se determinada por el clima, particularidades del suelo, vegetación y topografía sin embargo, la actividad antropogénica acelera el proceso de exportación.

Así mismo se puede decir que los procesos de exportación de sedimentos cumplen un papel importante en el rol ecológico de la ictiofauna siendo mas importante en las llanuras inundables, El material orgánico del sedimento es una parte de tejido animal o vegetal en diferentes etapas de descomposición. Este material proporciona una gama de beneficios en las diferentes

propiedades biológicas, químicas y físicas del sedimento (Gómez, 2013). Sin embargo, el exceso y aglutinación también causan problemas en él.

Tabla 14. Tabla comparativa general de la retención de sedimentos

CUADRO RESUMEN DE RETENCION DE SEDIMENTOS							
AÑO	N° PIXELES	AREA	MIN	MAX	MEAN	STD	SUMA
0	22488178	2023936,02	0	2076,54	29,08	76,45	653867888,79
1985				2076,46	28,92	76,04	650403526,04
1990				2076,48	28,97	76,16	651601533,45
1995				2076,50	28,99	76,19	651979648,44
2000				2076,48	29,05	76,28	651979648,44
2005				2076,48	28,98	76,20	651827669,95
2010				2076,49	29,00	76,22	651992998,37
2015				2076,49	28,99	76,21	651929686,93
2020				2076,49	28,99	76,21	651879496,22
2021				2076,48	28,96	76,13	651284718,75

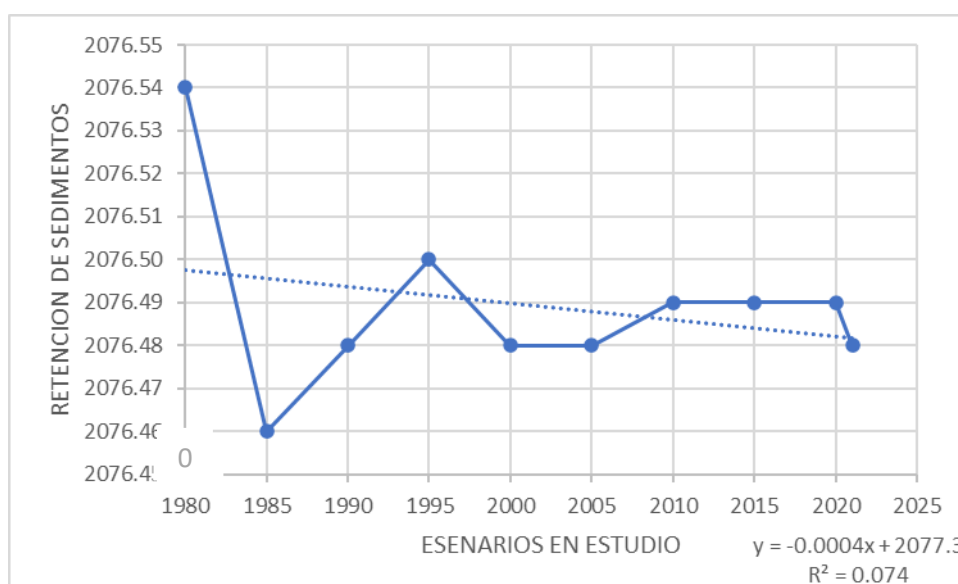


Figura 55. Gráfica lineal de retención de sedimentos.

En cuanto al servicio de retención de sedimentos de la tabla 14 se observa que los rangos de retención son bastante acertados de acuerdo a los escenarios planteados, puesto que en el año 0000 (Hipotético) tiene una mejor retención debido al hecho que la actividad antropogénica es nula. No obstante, no es representativa la diferencia con los demás escenarios por lo tanto se asume que el servicio ecosistémico de retención de sedimentos no

es influenciado de una manera significativa por la actividad antropogénica por lo tanto se acepta la hipótesis nula; el coeficiente de determinación R^2 entre la superficie en hectáreas y los años es de 0.07 lo que indica que aproximadamente el 7% de la variabilidad en la retención de sedimentos es atribuida a la variación en el tiempo.

La dinámica de retención de sedimentos sobre las variaciones del parámetro k_b , en las simulaciones realizadas, permitieron identificar el valor de 2 076 da como resultado la producción anual de sedimentos (Retención) que mejor se aproxima al valor calculado por Guirro M, Guidolin T y Michel (2018) de 1 826 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ sin embargo, (Krüger, 2018) tiene mejores resultados con 2 645 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$. No obstante, la menor retención se nota en áreas que se relacionan con la actividad antrópica. Además, se observa que el servicio ecosistémico de retención de sedimentos es responsable de impedir la pérdida de gran parte del recurso suelo.

CONCLUSIONES

- El análisis de los parámetros morfométricos concluidos durante la investigación determina que la cuenca del Inambari tiene una forma oval oblonga achatada en los polos y ensanchada en su línea ecuatorial, es muy accidentada, es una cuenca en equilibrio por su fase de madurez, es altamente meandriforme, es de escurrimiento rápido en las cabeceras y más lento cerca al área de desfogue; Por lo tanto se dice que la cuenca es propensa a un desastre o inundaciones, el aumento de la actividad antropogénica modifica su morfometría a través del cambio de uso de suelo erosionándolo y causando un aumento de los sedimentos.
- El análisis presentado permite el estudio de la dinámica del uso actual del suelo del año 1985-2021 el cual concluye que las coberturas con mayor dominancia son el bosque no inundable, seguida de las praderas, el área sin vegetación natural, y las coberturas de perturbación antrópica las cuales son de menor dominancia, estas son la agricultura, minería y carreteras, no obstante, se denota el crecimiento paulatino de las actividades antropogénicas.
- Mediante la estimación de la exportación periódica de sedimentos, se determinó que los escenarios con menor rango de exportación de sedimentos por pixel son los escenarios de 1985 con 392,95 y 1990 con 452,88 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ mientras que los escenarios con mayor cantidad de sedimentos exportados son los escenarios del 2010 con 573,27 y 2021 con 600,17 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ respectivamente. No obstante, en el escenario 0000 (escenario ideal) encontramos una exportación de 370,51 $\text{tons}\cdot\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ demostrando que la exportación de sedimentos es una dinámica natural

- Mediante la estimación de la retención periódica de sedimentos se determinó que los escenarios con mayor rango de retención de sedimentos por pixel son los escenarios del 0000 con $2070,55 \text{ tons}\cdot\text{ha}^1\text{yr}^1$ mientras que la menor retención de sedimentos son los escenarios de 1985, 1990, 2000 y 2021 con $2076.53 \text{ tons}\cdot\text{ha}^1\text{yr}^1$.
- Finalmente se relacionó el impacto antropogénico logrando demostrar que la exportación y retención de sedimentos tienen una relación inversamente proporcional, es decir que mientras mayor sea la exportación, la retención será menor por lo que el servicio ecosistémico se ve afectado.

SUGERENCIAS

- La planificación y ordenamiento de un territorio es compleja, por este motivo es preciso la determinación de modelos tendenciales, prospectivos y consensuados, a modo de brindar información de calidad y en tiempo real lo más semejante a la realidad de modo que sirva de herramienta para la gestión y desarrollo territorial. Por este motivo los softwares de capacidad predictora juegan roles de importancia.
- El software inVEST, es un programa para el modelamiento ecosistémico y servicios generados demostrando como son afectadas por la actividad antropogénica. Dicha información es necesaria para tener un mejor ordenamiento territorial.
- Es necesario proseguir con los monitoreos del área estudiada y demás investigaciones desarrolladas por otros investigadores, con el propósito de indagar la dinámica del ecosistema con fines de estimar la cantidad de sedimento exportado y que áreas son más susceptibles. Lo cual permitirá la adecuada toma de decisiones que será traducido como de políticas públicas de desarrollo en la recuperación del SDR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCÓN, G., DÍAZ, J., VELA, M., GARCÍA, M. y GUTIÉRREZ, J., 2016. Deforestación en el sureste de la amazonía a del Perú entre los años 1999 - 2013. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 18, no. 3, pp. 1-12.
- A.L.A. (2010). Estudio del Diagnóstico hidrológico de la cuenca en Madre de dios.1-203. Pp.
- A.N.A, (2018). *Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales* (Vol. 1).
- ANA, 2015. *La importancia de la gestión del agua en el Perú*. N°1, pp. 15.
- ANNE,GONDOR, J.L., 2014. *Identificacion del area de influencia para las acciones de conservacion del Fondo Semilla de Agua usando los modelos de Sedimentacion y Cosecha Hídrica InVEST 2.6.0*. 2014. S.I.: CHIAPAS, MEXICO.
- ARTEAGA, J., MEJÍA-VEINTIMILLA, D. y OCHOA-CUEVA, P., 2022. Estimation of sediment production by soil management practices in a transboundary basin. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, vol. 38, no. Special issue 2, ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.54315.
- BALDI, G., NOSETTO, M. y JOBBÁGY, E., 2008. *El efecto de las plantaciones forestales sobre el funcionamiento de los ecosistemas sudamericanos*. *Ambiencia*, vol. IV(4), pp. 23-34.
- BARREIRO, A.C. y ROCHE, L.A., 2000. *Diccionario de términos ambientales*. S.I.: La Habana, Centro Félix Varela.
- BHATTARAI, R. y DUTTA, D., 2006. *Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale*. *Recursos hídricos.*, vol. 21, no.

January, pp. 1635-1647.

BORSELLI, L., CASSI, P. y TORRI, D., 2008. *Catena Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment*. *Catena*, vol. 75, pp. 268-277.

BURBANO, H., 2013. *La sociedad depende del todo y las partes: naturaleza y suelo*. *Tendencias*, vol. XII, no. 1, pp. 9-22.

BOUGUERRA, S. y JEBARI, S., 2017. Identification and prioritization of sub-watersheds for land and water management using InVEST SDR model: Rmelriver basin, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 10, no. 15, ISSN 18667538. DOI 10.1007/s12517-017-3104-z.

CABREJOS-VALDIVIA, M., 2016. *Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuen – Amazonas*. S.l.: Universidad Nacional Agraria la Molina.

CAVALLI, M., TREVISANI, S. y MARCHI, L., 2013. *Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small alpine catchments*. *Geomorphology*, vol. 33, no. 2, pp. 31–41.

CAZAU, P., 2006. *Introducción a la investigación en ciencias sociales*. Tercera Ed. Buenos Aires: RED PSICOLOGICA.

CHOW, V. y MAIDMENT, D., 1994. *Ciclo Hidrológico*. S.l.: Illinois, EEUU: McGraw-Hill.

CONABIO, 2016. *Biodiversidad Mexicana. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos*. 2016.

Cohen, L., Manion, L. y Morrison K. (2010). *Research methods in education*. London: Routledge.

DESMET, P. y GOVERS, G., 1996. *A Gis procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. *Soil and Water Conservation*, vol. 51, pp. 427–433.

DUARTE, C.M., BENITO, G., DACHS, J., MONTES, C., PARDO-BUENDÍA,

M. y VALLADARES, F., 2006. *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. S.I.: Consejo superior de investigaciones científicas.

EOEARTH, 2010. *Ciclo hidrológico*.

FAO, 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 2006. Roma: En R. Allen, ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE.

FAO, 2017. *Organizacion De Las Naciones Unidas Para La Alimentacion Y La Agricultura*. 2017.

FAO - ITPS, 2015. *Status of de world's soil resources. Italy Technical Summary. Food and Agricultural Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils*. 2015. S.I.: Rome, Italy.

FENG, W., JINYAN, Z., HONGBO, S., HAIMING, Y. y ENJUN, M., 2015. *Scenario-Based Impact Assessment of Land Use/Cover and Climate Changes on Watershed Hydrology in Heihe River Basin of Northwest China. Advances in Meteorology*,

GALÁRRAGA, R. y TORRES, M., 2001. Water Quality in the Napo River Basin (Ecuadorian Andean Amazonía): The Andean Amazon Rivers Analysis and Management project (AARAM). *Mountain Research and Development*, pp. 295-296.

GARDI, C., ANGELINI, M., BARCELÓ, S., COMERMA, J., CRUZ GAISTARDO, C., ENCINA, A., JONES, A., KRASILNIKOV, P., MENDONÇA, M., MONTANARELLA, L., MUÑIZ, O., SCHAD, P., VARA, M. y VARGAS, R., 2014. *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. S.I.: Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

GASPARI, F., 2002. *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas*. 2002. España: Aplicación de sistemas de información geográfica.

GASPARI, F.J., 2012. *Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río*

Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. 2012.

- GEOBOSQUES Y GEOSERVIDOR, 2015. *Plataforma de monitoreo de cambios sobre la cobertura de los bosques. MINAM.*
- Gómez, G. J. C. 2013. Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Centro Agropecuario “La Granja” Espinal – Tolima. Sena – Regional, Colombia. 100 p.
- Guirro, O. Mel., Souza da Fonseca Guidolin, T. Giovanna., & Michel, G. Paulo. (2018). *Análise comparativa da produção de sedimentos a partir de eventos extremos e não-extremos na bacia hidrográfica do rio cunha. I encontro nacional de desastres*, 1(1), 1–8.
- GUO, Z., YAN, Z., PAERHATI, M.E.Z.T., HE, R., YANG, H., WANG, R. y CI, H., 2023. Assessment of soil erosion and its driving factors in the Huaihe region using the InVEST-SDR model. *Geocarto International*, vol. 38, no. 1, ISSN 10106049. DOI 10.1080/10106049.2023.2213208.
- GOULDING, M., BARTHEM, R., CAÑAS, C., HIDALGO, M. y ORTEGA, H., 2010. *La Cuenca del río Inambari: ambientes acuáticos, biodiversidad y represas*. S.l.: Ministerio del Ambiente. ISBN 9786124548314.
- GUTIERREZ PACCO, D., SUPO ESPINOZA, J. y ALVAREZ TAPARA, M., 2023. Estimación de la retención de sedimentos con el modelo INVEST (SDR), en la cuenca Huancané. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], vol. 7, no. 4, ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/cl_rcm.v7i4.6979. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6979>.
- GUDYNAS, E., 1975. *Debates sobre el desarrollo y sus alternativas en América Latina : Una breve guía heterodoxa*. 1975. Montevideo, Uruguay: CLAES.
- GUIRRO, M.O., GUIDOLIN, T.G.S.F.; y MICHEL, G.P., 2018. Análise Comparativa da Produção de Sedimentos a partir de Eventos Extremos e Não-Extremos na Bacia Hidrográfica do Rio Cunha. Em: *I Encontro Nacional de Desastres*, Porto Alegre, 2018, 8 p.
- KERLINGER, F. y LEE, H., 2002. *Investigación del comportamiento. Métodos*

de investigación en ciencias sociales. México, DF. ,

- KOSMUS, M. y RENNER, I., 2012. *Fuentes clave del TEEB. En Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo*. 2012. S.I.: Quito: GIZ.
- Krüger, CÁSSIO. (2018). *Avaliação da retenção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio cunha por meio do modelo INVEST SDR*.
- LABRADOR, M., ÉVORA, J. y ARBELO, M., 2012. *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*. 2012. S.I.: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.
- LABRADOR, M., ÉVORA, J. y ARBELO, M., 2012. *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*. 2012. S.I.: La Laguna, Spain.
- LÓPEZ-VICENTE, M., POESEN, J., NAVAS, A. y GASPAR, L., 2013. *Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees*. *Catena*, vol. 102, pp. 62–73. DOI 10.1016/j.catena.2011.01.001.
- LÓPEZ, C. y AGUIRRE, M., 1987. *Hidrología de superficie*. 1987. S.I.: Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- MAHMOUD, M., LIU, Y., HARTMANN, H., STEWART, S., WAGENER, T., SEMMENS, D., STEWART, R., GUPTA, H., DOMINGUEZ, D., DOMINGUEZ, F., HULSE, D., LETCHER, R., RASHLEIGH, B., SMITH, C., STREET, R., TICEHURST, J., TWERY, M., DELDEN, H. Van, WALDICK, R., WHITE, D. y WINTER, L., 2009. Environmental Modelling & Software. *Environmental Modelling and Software* [en línea], vol. 24, no. 7, pp. 798-808. ISSN 1364-8152.
- MANGO, L.M., MELESSE, A.M., MCCLAIN, M.E., GANN, D. y SETEGN, S.G., 2011. *Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin , Kenya : results of a modeling study to support better resource management*. , pp. 2245-2258. DOI 10.5194/hess-15-2245-2011.

- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto López, J. J., Hernández, J., & Costa, F. (2017). *Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina*. *Investigaciones Geográficas*, 68, 65. <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.04>
- MAS, J.F., VELÁZQUEZ, A., DÍAZ-GALLEGOS, J.R., MAYORGA-SAUCEDO, R., ALCÁNTARA, C., BOCCO, G., CASTRO, R., FERNÁNDEZ, T. y PÉREZ-VEGA, A., 2004. Assessing land use/cover changes: A nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 5, no. 4, pp. 249-261.
- MCCARTHY, J., CANZIANI, F., LEARY, A., DOKKEN, J. y WHITE, S., 2001. *CLIMATE CHANGE 2001 Climate Change 2001 : Impacts , Adaptation , and Vulnerability*. S.I.: Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- MEA., 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment*. 2005. S.I.: Island Press Washington, DC.
- MÉNDEZ RIVAS, R.A., 2016. *Productos de precipitación satelital de alta resolución espacial y temporal en zonas de topografía compleja*. S.I.: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- MILENA, S., ARROYAVE, S., JAVIER, F. y RESTREPO, C., 2009. Análisis de la contaminación del suelo revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, vol. Volumen 33, no. 23, pp. 13-34.
- MINAM., 2014. *Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/ No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2000-2011 [en línea]*. 2014.
- MINAM, 2010. *Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial*. 2010. S.I.: Ministerio del Ambiente.
- MINAM, 2017. *Manual de buenas practicas en minería aurífera aluvial para facilitar una adecuada recuperación de áreas*. 2017. S.I.: Ministerio del Ambiente.

- MINAM, MINAGRI y SERFOR, 2015. *Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla*. 2015.
- MONSALVE, G., 1999. *Hidrología en la Ingeniería*.
- MONTANARELLA, L., 2015. *Agricultural policy govern our soils*. 2015. S.I.: Nature. 528:32 - 33.
- Muñoz Guerrero, Diego., Mike Rodríguez, Montenegro., & Mario Romero, Hernández. (2009). Analisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño.
- NÚÑEZ-LARA, J.D. y MOLINA-FORERO, D.A., 2017. *Impacto del cambio de uso del suelo sobre los servicios ambientales y biodiversidad en una sub cuenca en el municipio de La Calera*. S.I.: Universidad catolica de Colombia.
- OLAYA, V., 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. 2014.
- OLIVEIRA, A.H., SILVA, M.A., DA, SILVA, M.L.N., CURI, N., NETO, G.K. y FREITAS, D.A.F., 2013. Development of Topographic Factor Modeling for Application in Soil Erosion Models. *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment Model*, vol. 4, pp. 112-138. DOI 10.5772/intechopen.71109.
- OMM., 2012. *Materia : Hidrología Continental*. 2012. S.I.: Ginebra: UNESCO.
- OTZEN, T. y MANTEROLA, C., 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, vol. 35, no. 1, pp. 227-232. ISSN 07179502. DOI 10.4067/S0717-95022017000100037.
- PEREYRA, Luis Enrique (ed.). *Metodología de la investigación*. Klik, 2022.
- PILLACA, M., 2018. Perú: sembrando bosques donde hubo minería en Madre de Dios. *Mongabay Latam*. Pto. Maldonado, 18 septiembre 2018.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K. y YODER, D.C., 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (Rusle)*. 1997. S.I.:

Washington, DC. ISBN 0160489385.

RESERVA NACIONAL TAMBOPATA, 2011. *Plan Maestro Reserva Nacional Tambopata*. 2011. S.I.: SERNANP.

ROBIGLIO, V., ARMAS, A.D., AGUAD, C.S. y WHITE, D., 2014. *Beyond REDD + readiness : land-use governance to reduce deforestation in Peru*. *Climate Police*, vol. 14, no. 6, pp. 734-747.

SAJAMI, E., 2017. *Universidad nacional amazónica de madre de dios facultad de ing eniería*. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

SALVAT, G., 2007. *Tendencias actuales de la investigación en docencia universitaria*. 2007. Barcelona: Instituto de Ciencias de la Educación Universidad de Barcelona.

SANT'ANNA, F., 2013. *Transboundary water resources governance: the Multi-Scalar analysis of the Amazon basin*. 2013.

SENAMHI, 2011. *Guía Climática Turística*. 2011. S.I.: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

SERNANP, 2004. *Alta diversidad de ecosistemas*. 2004. Puerto Maldonado: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.

SHARP, R., CHAPLIN-KRAMER, R., WOOD, S., GUERRY, A., TALLIS, H. y RICKETTS., T., 2018. *InVEST User ' s Guide*. 2018.

SIGMUR, 2005. *SIG y Teledetección Universidad de Murcia*. 2005. España: Universidad de Murcia.

SOUGNEZ, N., WESEMAEL, B. Van y VANACKER, V., 2011. *Catena Low erosion rates measured for steep , sparsely vegetated catchments in southeast Spain*. *Catena* [en línea], vol. 84, no. 1-2, pp. 1-11.

TALLIS, H. y POLASKY, S., 2009. *Evaluación de los caudales líquidos y de producción de sedimentos estimados con el modelo soil water assessment tool (swat) y su relación con los caudales líquidos y sólidos observados*.

- TARBORON, G., 1997. *A new method for the determination of flow directions and upslop areas in grid digital elevation models*. *Water Resour.*, vol. 33, no. 2, pp. 309-319.
- TELLO MARQUINA, J.C., 2013. *Agriculture as a system*. 2013. S.I.: SciELO - Scientific Electronic Library Online.
- UNOPS, 2017. *Jalisco Sostenible Cuenca del Río Verde. En Estudio de Balance Hídrico*. 2017. S.I.: Jalisco, México: Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos.
- VALVERDE, T., CASTILLO, J., CARABIAS, J. y CANO-SANTANA, Z., 2005. *Ecología y medio ambiente (Primera ed.)*. México: Pearson Educación. Primera Ed. Mexico: México: Pearson Educación.
- VARGAS-GAITÁN, K., 2016. *Los problemas del agua. El campesino*. Colombia, 27 abril 2016. pp. 7.
- VIGERSTOL, K.L. y AUKEMA, J.E., 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 92, no. 10, pp. 2403-2409.
- VIGIAK, O., BORSELLI, L., NEWHAM, L.T.H., MCINNES, J. y ROBERTS, A.M., 2012. *Geomorphology Comparison of conceptual landscape metrics to de fi ne hillslope-scale sediment delivery ratio*. *Geomorphology* [en línea], vol. 138, no. 1, pp. 74-88.
- WILKINSON, S.N., DOUGALL, C., KINSEY-HENDERSON, A.E., SEARLE, R.D., ELLIS, R.J. y BARTLEY, R., 2014. *Science of the Total Environment Development of a time-stepping sediment budget model for assessing land use impacts in large river basins*. *Science of the Total Environment, The* [en línea], vol. 468-469, pp. 1210-1224.
- ZHU, X. y ZHANG, R., 2019. Study on soil erosion Simulation in Tianshui Maiji district based on InVEST-SDR model with GIS and RS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 371, no. 3, pp. 0-8.

ANEXO

Anexo 1:

Tabla 15. Matriz de consistencia.

TITULO: MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTEMICO DE RETENCION Y EXPORTACION DE SEDIMENTOS, EN LA CUENCA DE INAMBARÍ - MADRE DE DIOS

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/ INDICADORES	METODOLOGIA
Problema General	Objetivo General	General	Variable Independiente:	Tipo de estudio:
¿Cómo será el modelamiento del servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca del Inambari?	Modelar el servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca del Inambari	H_a - La actividad antropogénica afectará en gran magnitud al servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca de Inambari.	Perturbación antrópica	Descriptiva correlacional y predictiva
			Dimensiones:	
			Deforestación Agricultura Carreteras Minería	Diseño de Estudio:
			Indicadores	Investigación no experimental longitudinal
			Parámetros de forma Área (km ²) y perímetro (km) Longitud (km) y ancho (km) Factor de forma (Ff=A/L ²) Coeficiente de compacidad (K=P/Pc)	Población:
			Parámetros de relieve Altura (msnm) Pendiente (°) Curva hipsométrica (H/%)	Conforma 3 departamentos; Madre de dios, Cusco y Puno
	Muestra:	Cuenca de Inambari		

			Parámetros de drenaje Orden de causas i+1	Métodos y Técnicas:
Problemas Especifico	Objetivo Especifico	Especifico	Variable Dependiente:	
¿Cómo serán los parámetros morfométricos en la cuenca del Inambari?	Determinar los parámetros morfométricos de la cuenca del Inambari como línea base para la descripción periódica.	H₀ - La actividad antropogénica no afectara en gran magnitud al servicio ecosistémico de retención y exportación de sedimentos en la Cuenca de Inambari.	Exportación y retención de sedimentos.	Lugar de estudio Parámetros morfométricos. Información para el modelo Invest (SDR).
¿Cuáles serán los escenarios más afectados, según la dinámica del uso actual de suelo, del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari?	Analizar y Describir la dinámica del uso actual del suelo periódicamente en los escenarios del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.		Dimensiones:	Tratamiento de datos: Determinación de los parámetros morfométricos. Modelamiento de entrega de sedimento. Pérdida del suelo anual. Relación de distribución de sedimentos. Exportación de Sedimentos. Capa de drenaje. Limitaciones
¿Cuánta es la cantidad de exportación de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari?	Modelar y describir la dinámica de la exportación de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.		Aumento de sedimentos. Afecta al ciclo hídrico.	

<p>¿Cuánto es la capacidad de retención de sedimentos que tiene la cuenca de Inambari del año 1985 al 2021?</p>	<p>Modelar y describir la dinámica de la retención de sedimentos del uso actual del suelo del año 1985 al 2021 en la cuenca del Inambari.</p>		<p>Indicadores:</p>	
<p>¿Cuál es la relación entre la exportación y la retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari?</p>	<p>Relacionar el impacto antrópico entre la exportación y retención de sedimentos del año 1985 al 2021 en la cuenca de Inambari.</p>		<p>Ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) aplicada en la cobertura terrestre (LAND COVER) $uslei=Ri \cdot Ki \cdot LSi \cdot Ci \cdot Pi$</p>	

Anexo 2:

Tabla 16: Matriz de operacionalización de las variables.

VARIABLE INDEPENDIENTE				
DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADORES	ITEMS
Modelamiento del servicio ecosistémico de Retención y exportación de sedimentos	Provee información que nos permite monitorear los movimientos de sedimento que se dan en la cuenca.	(tons·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹)	Fórmula universal de disminución de suelo (RUSLE)	47
VARIABLE DEPENDIENTE				
DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADORES	ITEMS
Perturbación antrópica	Actividades realizadas por el ser humano en el área de estudio	Agricultura Minería Carreteras Áreas sin vegetación natural	Cambio de cobertura de suelo	45
Perturbación natural	Fenómenos naturales causantes de pérdida de sedimentos	Cobertura vegetal Pendientes Erosividad Erodibilidad	Cambio de cobertura de suelo	44

Anexo 3: Instrumentos

- Lapto
- Invest 3,60X86
- Google Earth Engine
- IDRISI Selva
- ArcGis 10,5

- GPS
- Dron

Anexo 4. Tablas de cobertura vegetal.

Tabla 17. Clasificación de la cobertura vegetal año 2021

Lu-código	Descripción	Área km2	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9199.43	919942.56	45.45
2	Bosque Inundable	181.96	18195.73	0.90
3	Humedales	155.95	15594.81	0.77
4	Pradera	7358.57	735857.47	36.36
5	Bosque de montaña	186.06	18606.06	0.92
6	Pasto	380.04	38003.74	1.88
7	Agricultura	765.43	76542.55	3.78
8	Infraestructura urbana	10.64	1063.99	0.05
9	Área sin Vegetación natural	1308.46	130845.99	6.46
10	Minería	207.09	20709.01	1.02
11	Río, lago u océano	323.88	32387.60	1.60
12	Glaciar	129.85	12985.46	0.64
13	Carreteras	31.67	3167.01	0.16
14	Silvicultura	0.20	19.62	0.001
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 18. Clasificación de la cobertura vegetal año 2020

Lu-código	Descripción	Área km2	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9371.05	937105.32	46.30
2	Bosque Inundable	191.07	19106.61	0.94
3	Humedales	168.16	16816.17	0.83
4	Pradera	7372.55	737254.97	36.43
5	Bosque de montaña	166.99	16699.00	0.83
6	Pasto	355.04	35504.47	1.75
7	Agricultura	657.27	65726.79	3.25
8	Infraestructura urbana	9.80	980.09	0.05
9	Área sin Vegetación natural	1283.82	128381.69	6.34
10	Minería	196.90	19690.28	0.97
11	Río, lago u océano	304.07	30406.67	1.50
12	Glaciar	130.64	13063.84	0.65
13	Carreteras	31.67	3167.01	0.16

14	Silvicultura	0.19	18.72	0.001
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 19. Clasificación de la cobertura vegetal año 2015

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9562.24	956224.16	47.25
2	Bosque Inundable	216.73	21673.07	1.07
3	Humedales	163.38	16338.10	0.81
4	Pradera	7346.82	734681.77	36.30
5	Bosque de montaña	167.30	16729.77	0.83
6	Pasto	343.59	34358.97	1.70
7	Agricultura	552.36	55235.70	2.73
8	Infraestructura urbana	7.13	712.76	0.04
9	Área sin Vegetación natural	1266.45	126644.84	6.26
10	Minería	152.02	15202.01	0.75
11	Río, lago u océano	284.98	28497.62	1.41
12	Glaciar	144.55	14454.75	0.71
13	Carreteras	31.67	3167.01	0.16
14	Silvicultura	0.01	1.08	0.0001
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 20. Clasificación de la cobertura vegetal año 2010

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9644.76	964476.32	47.65
2	Bosque Inundable	212.30	21229.59	1.05
3	Humedales	168.79	16878.66	0.83
4	Pradera	7289.33	728933.11	36.02
5	Bosque de montaña	186.77	18677.42	0.92
6	Pasto	346.19	34618.60	1.71
7	Agricultura	548.91	54890.79	2.71
8	Infraestructura urbana	5.03	502.87	0.02
9	Área sin Vegetación natural	1290.92	129091.51	6.38
10	Minería	110.28	11028.42	0.54
11	Río, lago u océano	256.61	25661.13	1.27
12	Glaciar	150.13	15013.31	0.74
13	Carreteras	29.20	2920.43	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 21. Clasificación de la cobertura vegetal año 2005

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9736.34	973634.34	48.11
2	Bosque Inundable	240.38	24037.82	1.19
3	Humedales	148.47	14846.64	0.73
4	Carreteras	7324.42	732442.01	36.19
5	Bosque de montaña	193.86	19385.99	0.96
6	Pasto	352.20	35220.33	1.74
7	Agricultura	492.06	49206.40	2.43
8	Infraestructura urbana	3.78	378.29	0.02
9	Área sin Vegetación natural	1263.16	126316.28	6.24
10	Minería	36.78	3677.60	0.18
11	Río, lago u océano	255.80	25579.75	1.26
12	Glaciar	162.70	16270.03	0.80
13	Carreteras	29.26	2926.14	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022).

Tabla 22. Clasificación de la cobertura vegetal año 2000

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9826.67	982667.00	48.55
2	Bosque Inundable	248.84	24884.22	1.23
3	Humedales	142.64	14264.39	0.70
4	Pradera	7351.15	735114.50	36.32
5	Bosque de montaña	193.30	19329.85	0.96
6	Pasto	364.19	36418.64	1.80
7	Agricultura	409.89	40988.58	2.03
8	Infraestructura urbana	3.07	307.17	0.02
9	Área sin Vegetación natural	1216.43	121642.92	6.01
10	Minería	28.64	2863.69	0.14
11	Río, lago u océano	245.14	24514.00	1.21
12	Glaciar	180.00	18000.50	0.89
13	Carreteras	29.26	2926.14	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 23. Clasificación de la cobertura vegetal año 1995

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9781.01	978100.78	48.33
2	Bosque Inundable	240.89	24088.64	1.19
3	Humedales	155.24	15523.64	0.77
4	Pradera	7355.72	735571.54	36.34
5	Bosque de montaña	205.12	20511.87	1.01
6	Pasto	323.80	32380.09	1.60
7	Agricultura	448.90	44889.86	2.22
8	Infraestructura urbana	2.38	238.26	0.01
9	Área sin Vegetación natural	1239.72	123971.56	6.13
10	Minería	25.22	2522.37	0.12
11	Río, lago u océano	236.75	23674.54	1.17
12	Glaciar	195.28	19528.20	0.96
13	Carreteras	29.20	2920.25	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 24. Clasificación de la cobertura vegetal año 1990

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9826.31	982630.60	48.55
2	Bosque Inundable	238.64	23864.07	1.18
3	Humedales	159.03	15903.35	0.79
4	Pradera	7404.81	740481.31	36.59
5	Bosque de montaña	188.27	18827.36	0.93
6	Pasto	321.94	32194.48	1.59
7	Agricultura	436.78	43677.94	2.16
8	Infraestructura urbana	1.98	198.09	0.01
9	Área sin Vegetación natural	1161.14	116113.66	5.74
10	Minería	17.46	1745.98	0.09
11	Río, lago u océano	237.09	23708.96	1.17
12	Glaciar	216.50	21649.68	1.07
13	Carreteras	29.26	2926.14	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

Fuente: (Mapbiomas 2022).

Tabla 25. Clasificación de la cobertura vegetal año 1985

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	9825.74	982574.22	48.55
2	Bosque Inundable	236.53	23652.72	1.17
3	Humedales	144.65	14464.81	0.71
4	Pradera	7603.11	760310.96	37.57
5	Bosque de montaña	245.79	24578.91	1.21
6	Pasto	325.90	32589.80	1.61
7	Agricultura	440.62	44062.40	2.18
8	Infraestructura urbana	1.29	128.61	0.01
9	Área sin Vegetación natural	849.52	84951.71	4.20
10	Minería	3.45	345.41	0.02
11	Río, lago u océano	257.95	25794.73	1.27
12	Glaciar	275.41	27541.20	1.36
13	Carreteras	29.26	2926.14	0.14
Total		20239.22	2023921.61	100.00

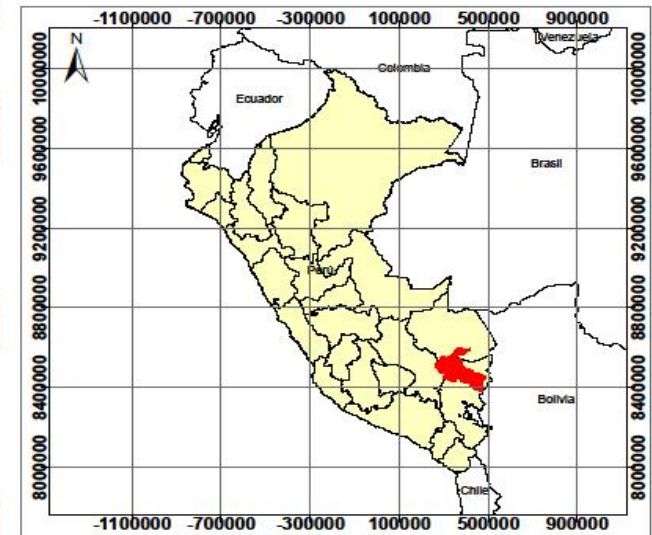
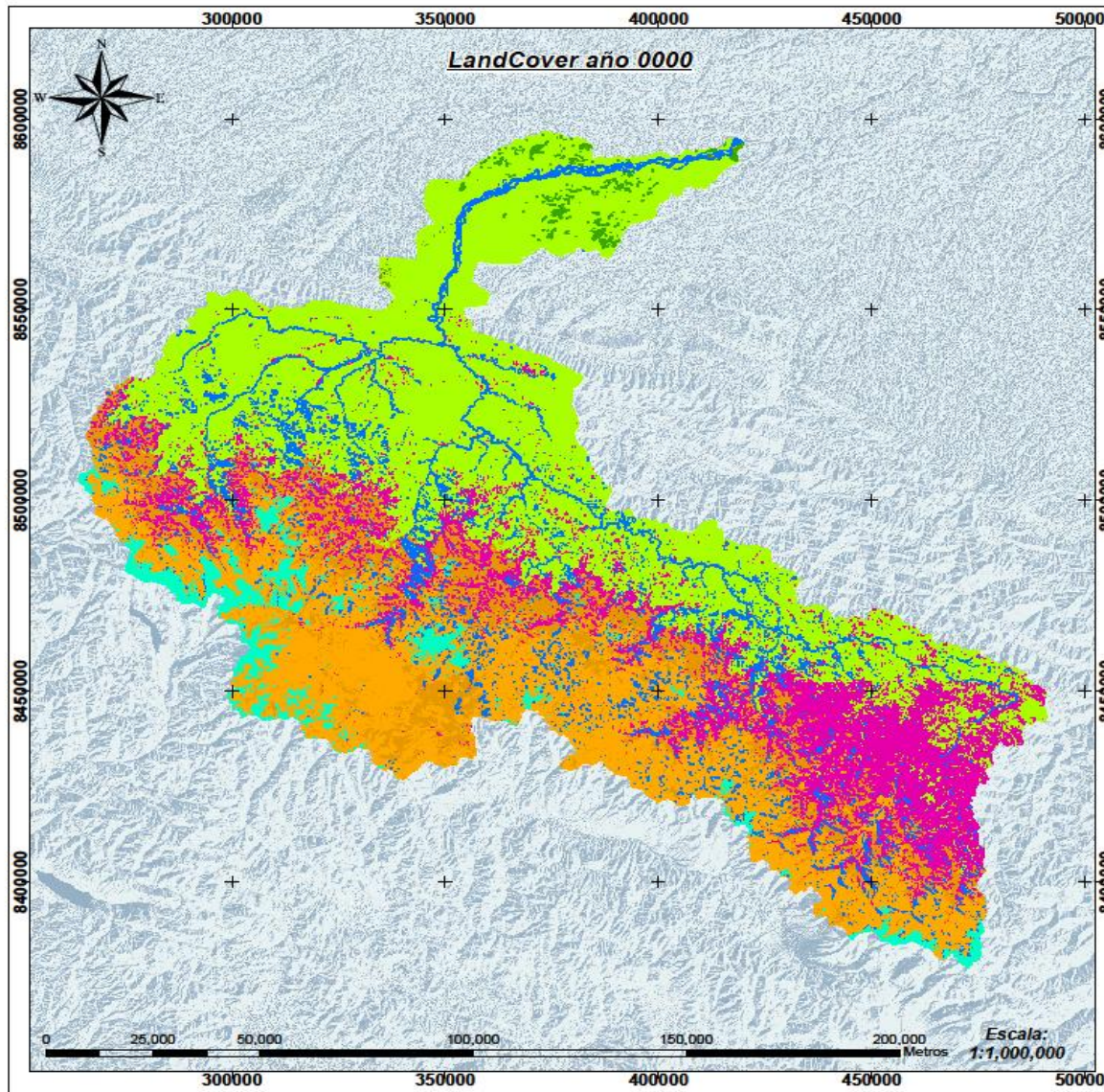
Fuente: (Mapbiomas 2022)

Tabla 26. Clasificación de la cobertura vegetal año 0000

Lu-código	Descripción	Área km ²	Área ha	%
1	Bosque no inundable	10381,64	1038164,29	51,29
2	Bosque Inundable	45,62	4562,49	0,23
3	Humedales	545,88	54588,37	2,70
4	Pradera	5153,62	515361,78	25,46
5	Bosque de montaña	981,41	98140,76	4,85
6	Área sin Vegetación natural	2452,13	245213,47	12,12
7	Río, Lago u Océano	340,56	34055,89	1,68
8	Glaciar	338,49	33848,97	1,67
Total		20 239,36	2 023 921,61	100,00

Fuente: (Mapbiomas 2022)

Anexo 4: Mapas de cobertura vegetal.



Leyenda

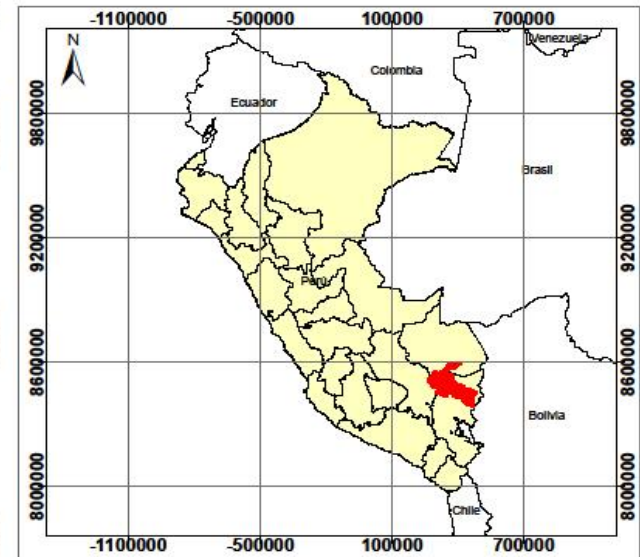
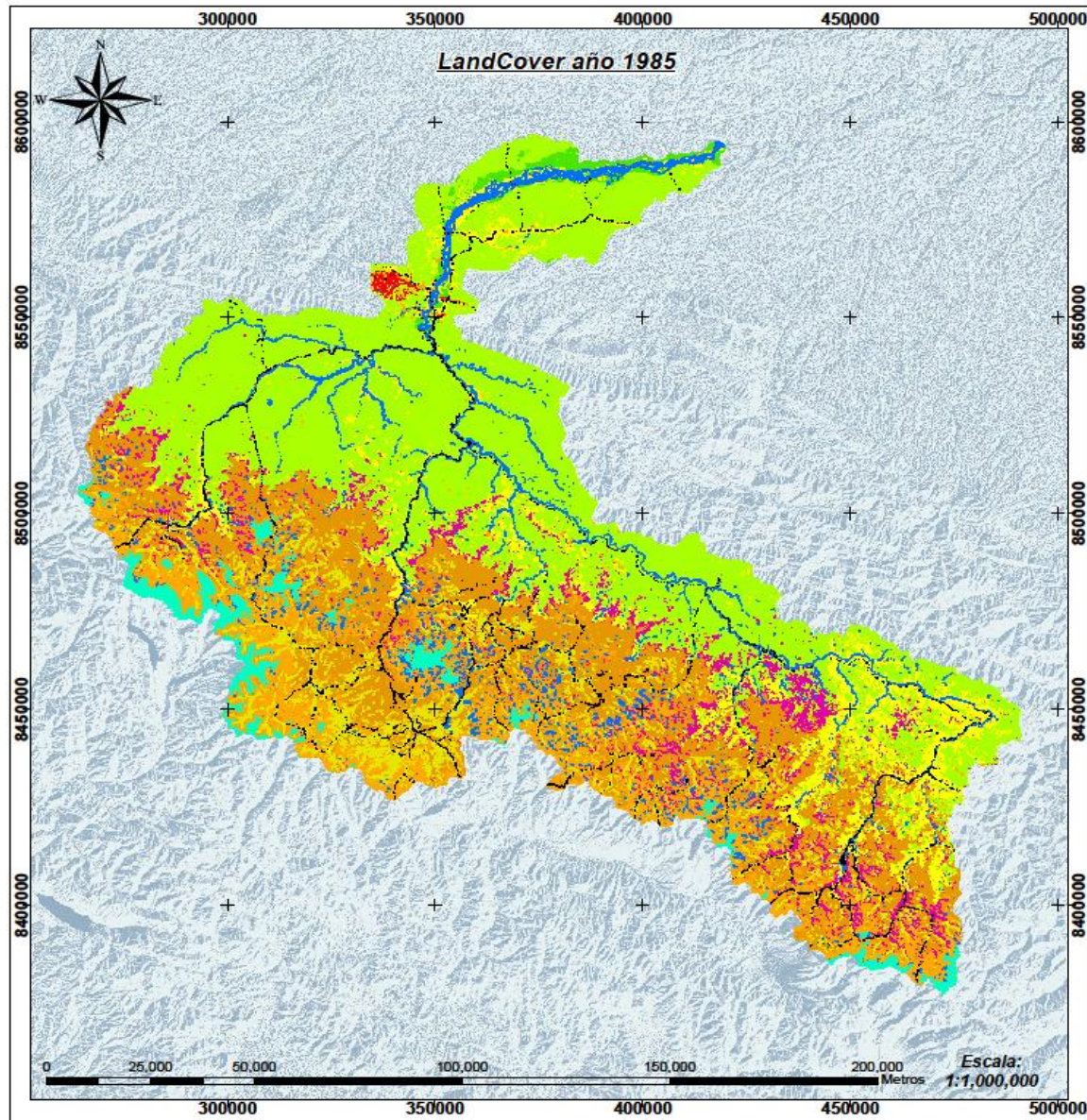
- Área de estudio
- Departamentos del Peru
- Sudamérica

LandCover año 0000

- Bosque no inundable
- Bosque inundable
- Humedales
- Pradera
- Bosque de montaña
- Área sin Vegetación natural
- Río, lago u océano
- Glaciar

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBAR		
NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBAR		
UBICACION: CUENCA: INAMBAR DEPARTAMENTO: MDD-CUSCO-PUNO PAIS: PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG: 20239.22 Km ² PERIMETRO SIG: 1429.96 Km	PLANO: 02
REVISADO POR:	FUENTE: USGS, ANA Y MARSUIMAS AMAZONIA	
ELAB. POR: J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM ZONA: 19S	ESCALA: INDICADA Fecha Elab: ENE. 2023

Figura 56. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 0000.



Plano de ubicación
1:20,000,000

- Leyenda**
- Área de estudio
 - Departamentos del Peru
 - Sudamérica

- LandCover año 1985**
- Bosque no inundable
 - Bosque inundable
 - Humedales
 - Pradera
 - Bosque de montaña
 - Pasto
 - Agricultura
 - Infraestructura urbana
 - Área sin Vegetación natural
 - Minería
 - Río, lago u océano
 - Glaciar
 - Carreteras

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBAR		
NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBAR		
UBICACION: CUENCA: INAMBAR DEPARTAMENTO :MDD-CUSCO-PUNO PAIS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km2 PERIMETRO SIG : 1429.96 Km	PLANO: 03
REVISADO POR :	FUENTE: USGS, ANAY MARSCHALL AMAZONIA	
ELAB. POR : J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM ZONA: 19S	ESCALA: INDICADA
		Fecha Elab: ENE. 2023

Figura 57. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1985.

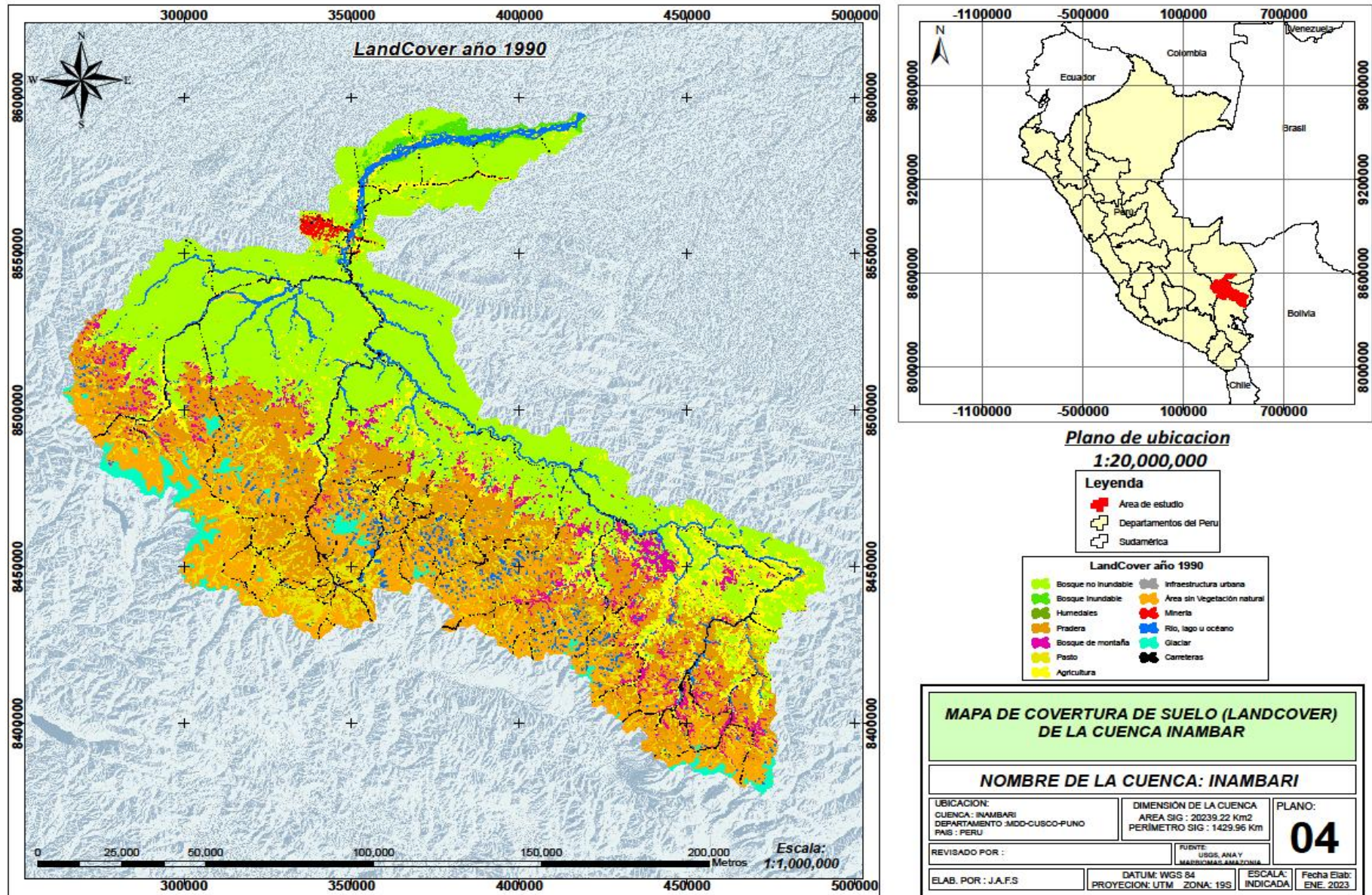
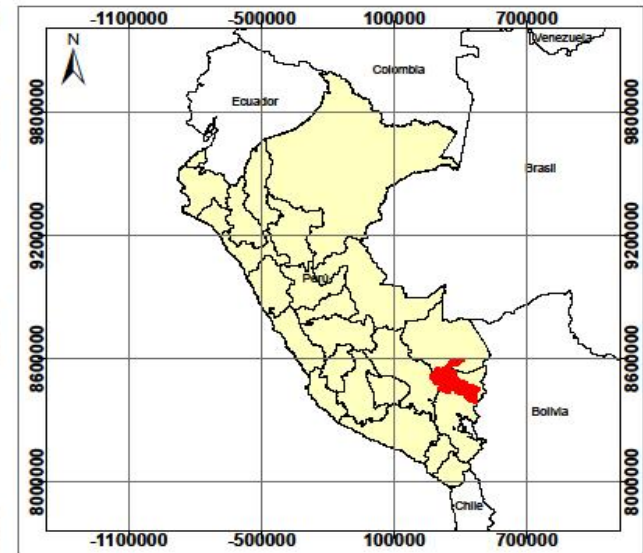
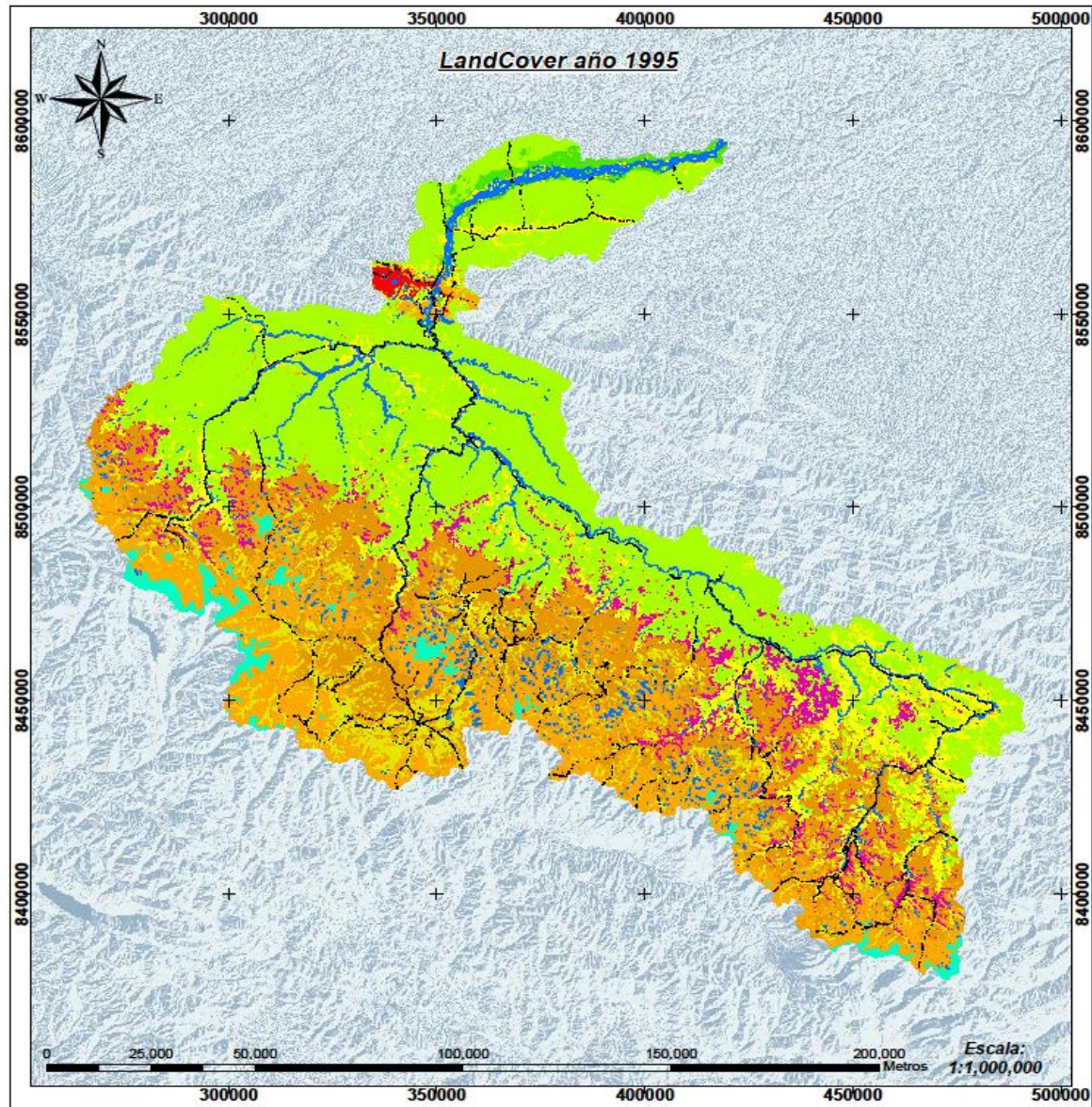


Figura 58. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1990



Plano de ubicacion
1:20,000,000

- Leyenda**
- Area de estudio
 - Departamentos del Peru
 - Sudamérica

- LandCover año 1995**
- Bosque no Inundable
 - Bosque Inundable
 - Humedales
 - Pradera
 - Bosque de montaña
 - Pasto
 - Agricultura
 - Infraestructura urbana
 - Area sin Vegetación natural
 - Minería
 - Río, lago u océano
 - Glaciar
 - Carreteras

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBARÍ		
NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBARÍ		
UBICACION: CUENCA : INAMBARÍ DEPARTAMENTO :MDD-CUSCO-PUNO PAIS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km2 PERIMETRO SIG : 1429.96 Km	PLANO: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">05</div>
REVISADO POR : ELAB. POR : J.A.F.S	FUENTE: USGS, ARA Y MARRONAL AMAZONIA	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM_ZONA: 19S ESCALA: INDICADA Fecha Elab: ENE. 2023

Figura 59. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 1995.

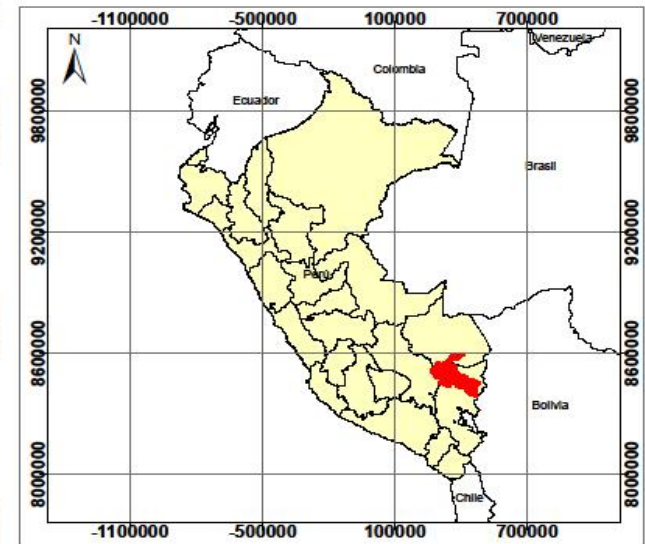
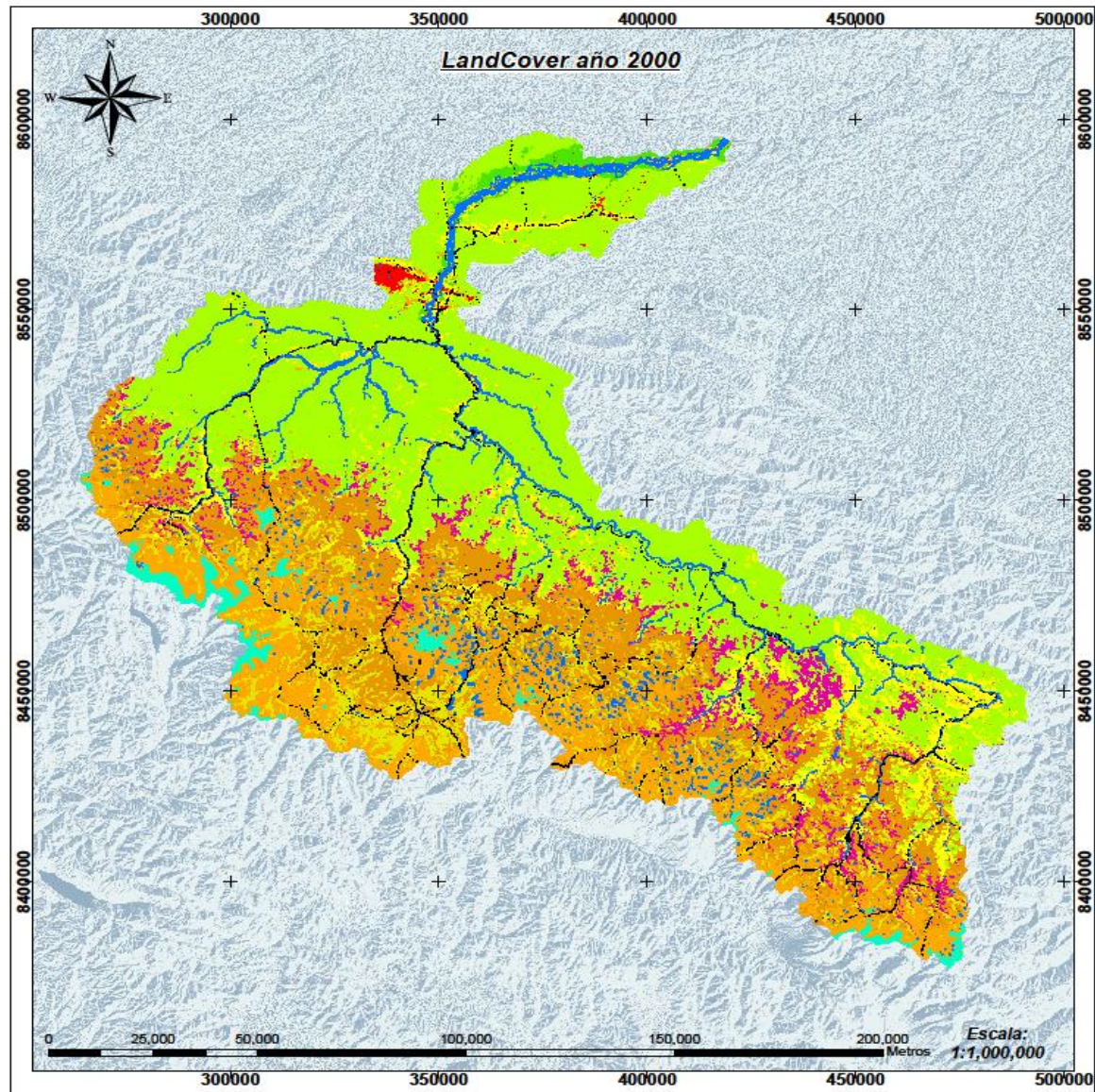
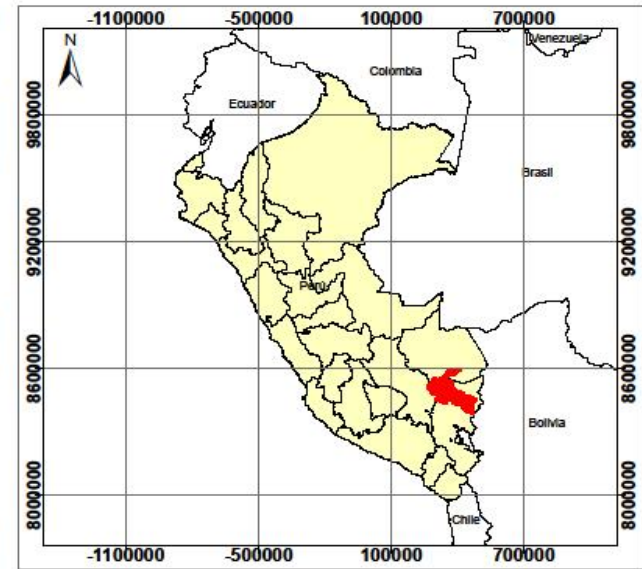
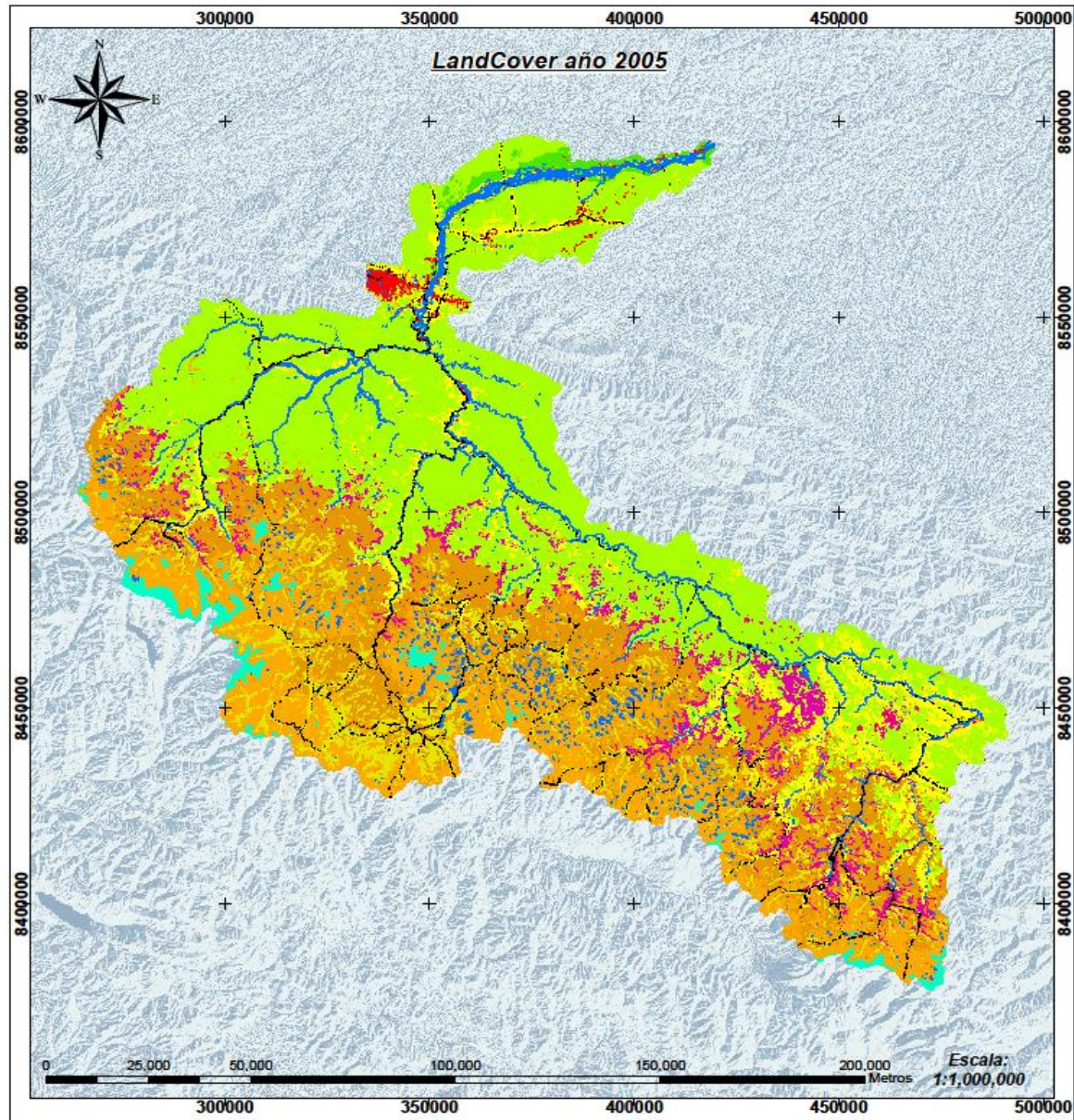


Figura 60. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2000.



Plano de ubicacion
1:20,000,000

- Leyenda**
- Area de estudio
 - Departamentos del Peru
 - Sudamérica

- LandCover año 2005**
- Bosque no inundable
 - Infraestructura urbana
 - Bosque inundable
 - Area sin Vegetación natural
 - Humedales
 - Minería
 - Pradera
 - Rio, lago u océano
 - Bosque de montaña
 - Glaciar
 - Pasto
 - Carreteras
 - Agricultura

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBARÍ

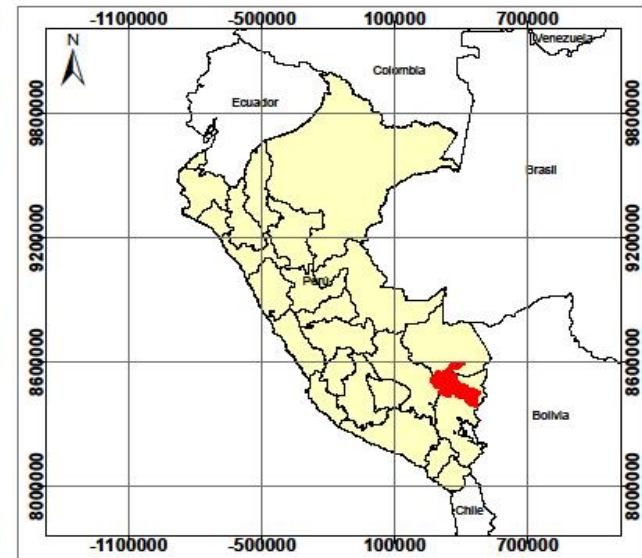
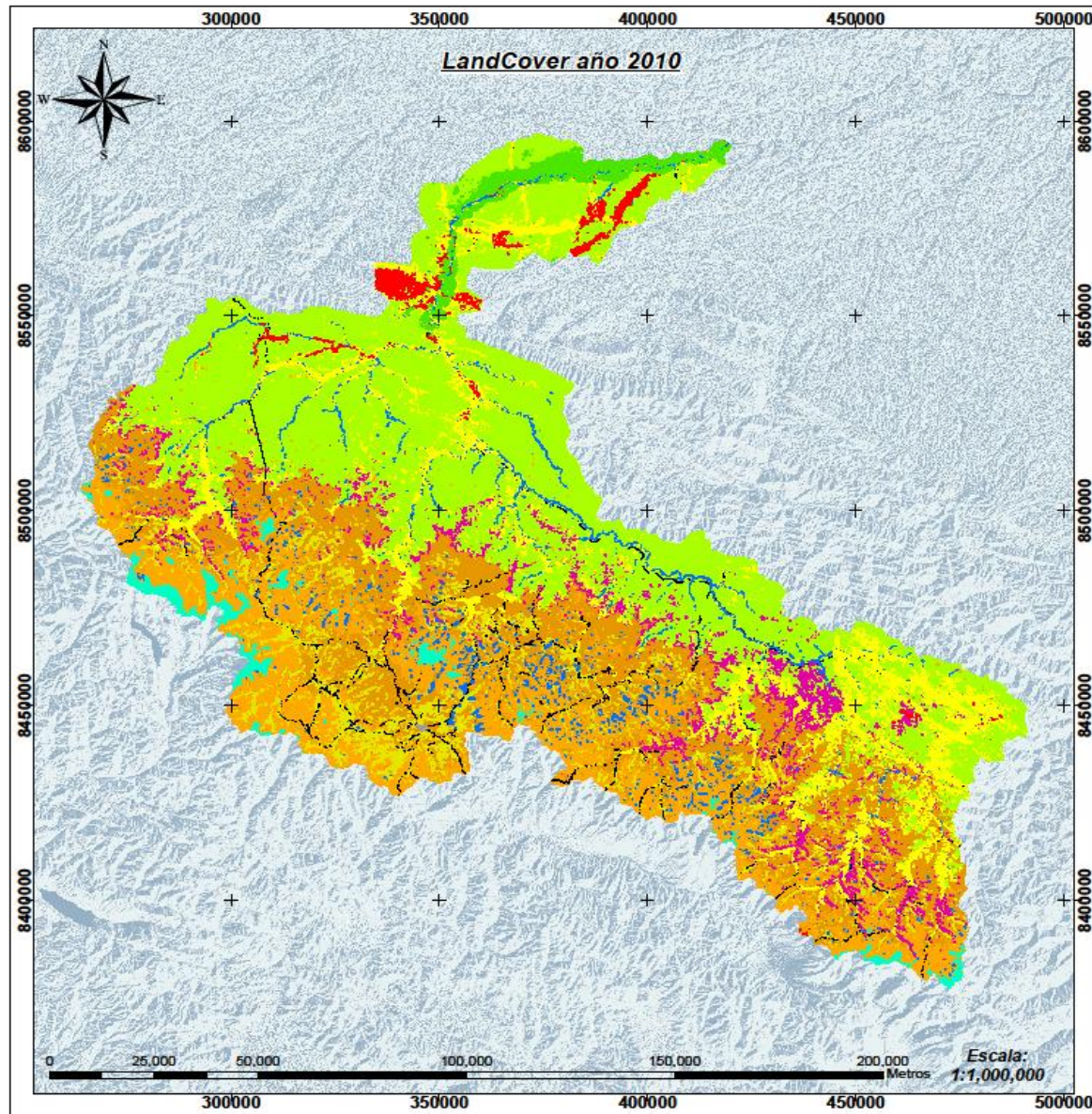
NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBARÍ

UBICACION: CUENCA : INAMBARÍ DEPARTAMENTO :MDD-CUSCO-PUNO PAIS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km ² PERIMETRO SIG : 1429.95 Km	PLANO: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">07</div>
--	---	--

REVISADO POR : _____ FUENTE: USGS, ANA Y MADRICHAS AMAZONIA

ELAB. POR : J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM_ZONA: 19S	ESCALA: INDICADA Fecha Elab: ENE. 2023
---------------------	--	---

Figura 61. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2005.



1:20,000,000

Leyenda

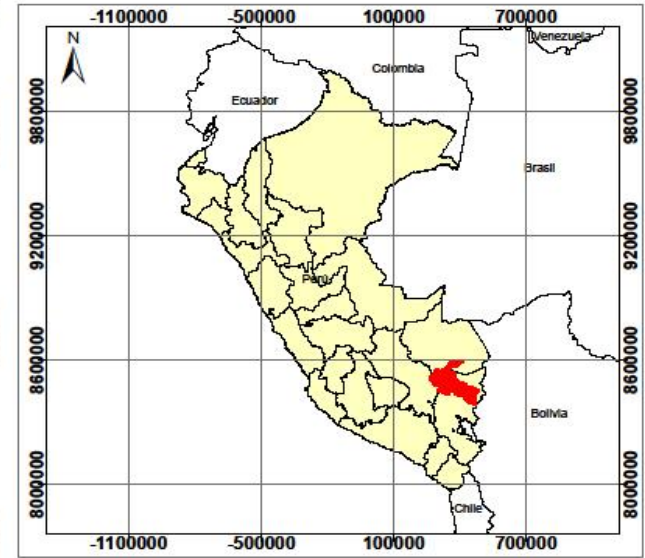
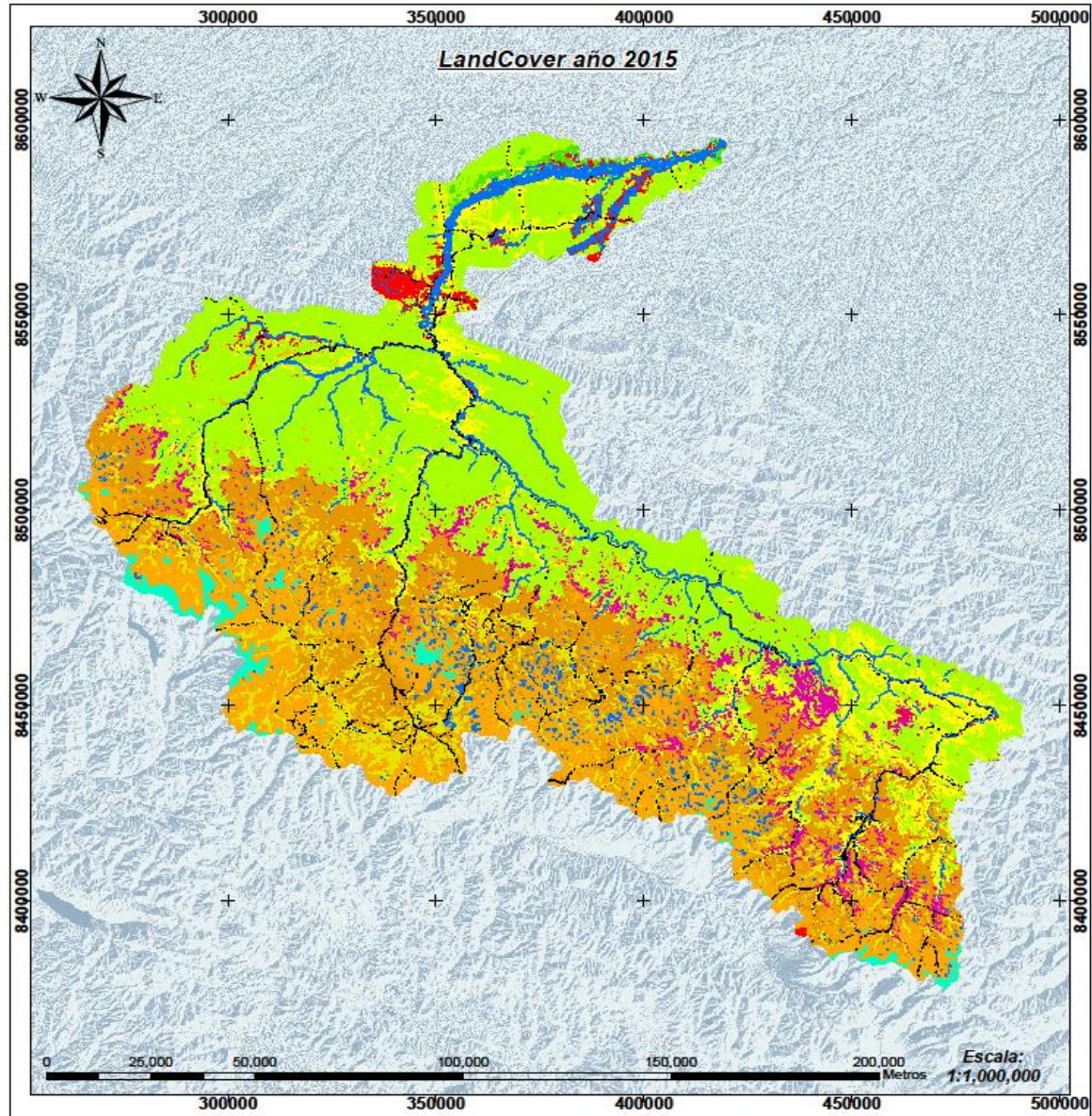
- Area de estudio
- Departamentos del Peru
- Sudamérica

LandCover año 2010

- Bosque no inundable
- Bosque inundable
- Humedales
- Pradera
- Bosque de montaña
- Pasto
- Agricultura
- Infraestructura urbana
- Area sin Vegetación natural
- Minería
- Río, lago u océano
- Glaciar
- Carreteras

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBARÍ		
NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBARÍ		
UBICACION: CUENCA: INAMBARÍ DEPARTAMENTO :MDO-CUSCO-PUNO PMS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km2 PERIMETRO SIG : 1429.96 Km	PLANO: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">08</div>
REVISADO POR :	FUENTE: URS, ANAY MADRID/MAR, ARANZAZA	
ELAB. POR : J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM ZONA: 19S	ESCALA: INDICADA
		Fecha Elab: ENE. 2023

Figura 62. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2010.



- Legenda**
- Area de estudio
 - Departamentos del Peru
 - Sudamérica

- LandCover año 2015**
- Bosque no inundable
 - Bosque inundable
 - Humedales
 - Pradera
 - Bosque de montaña
 - Pasto
 - Agricultura
 - Infraestructura urbana
 - Área sin Vegetación natural
 - Minería
 - Río, lago u océano
 - Glaciar
 - Carreteras
 - Silvicultura

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBAR

NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBAR

UBICACIÓN: CUENCA : INAMBAR DEPARTAMENTO :MDD-GUSCO-PUNO PAIS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km2 PERIMETRO SIG : 1429.96 Km	PLANO: 09
REVISADO POR :	FUENTE: USGS, ANAY MADRIDIAS AMAZONIA	
ELAB. POR : J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM ZONA: 19S	ESCALA: INDICADA

Fecha Elab:
ENE. 2023

Figura 63. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2015.

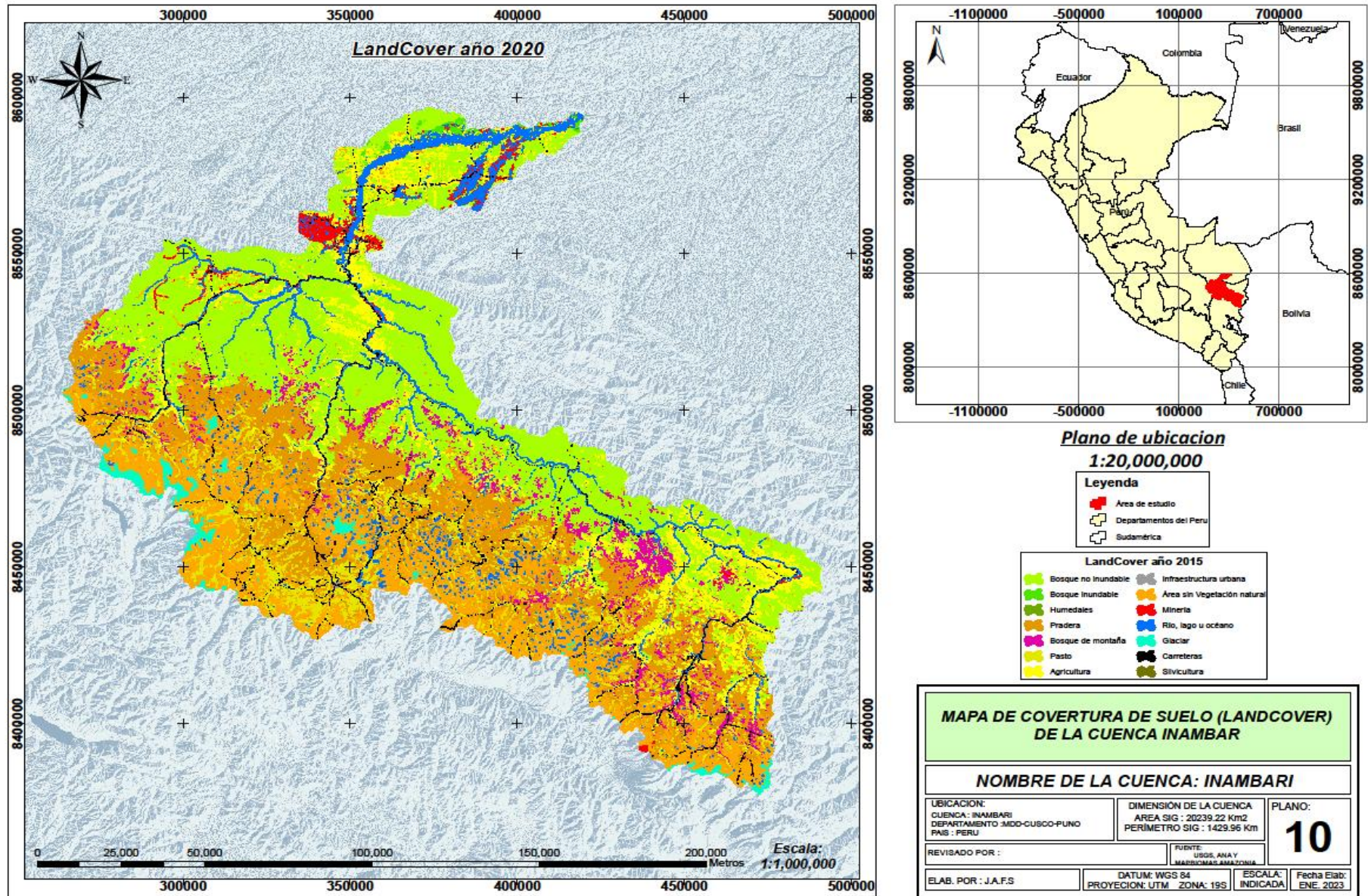
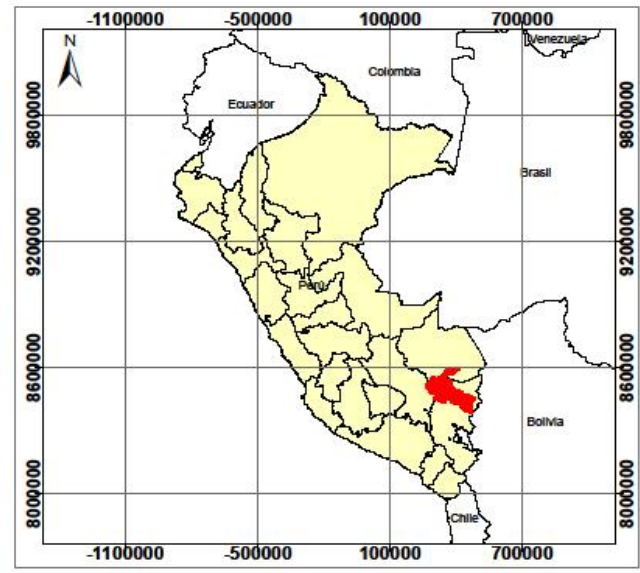
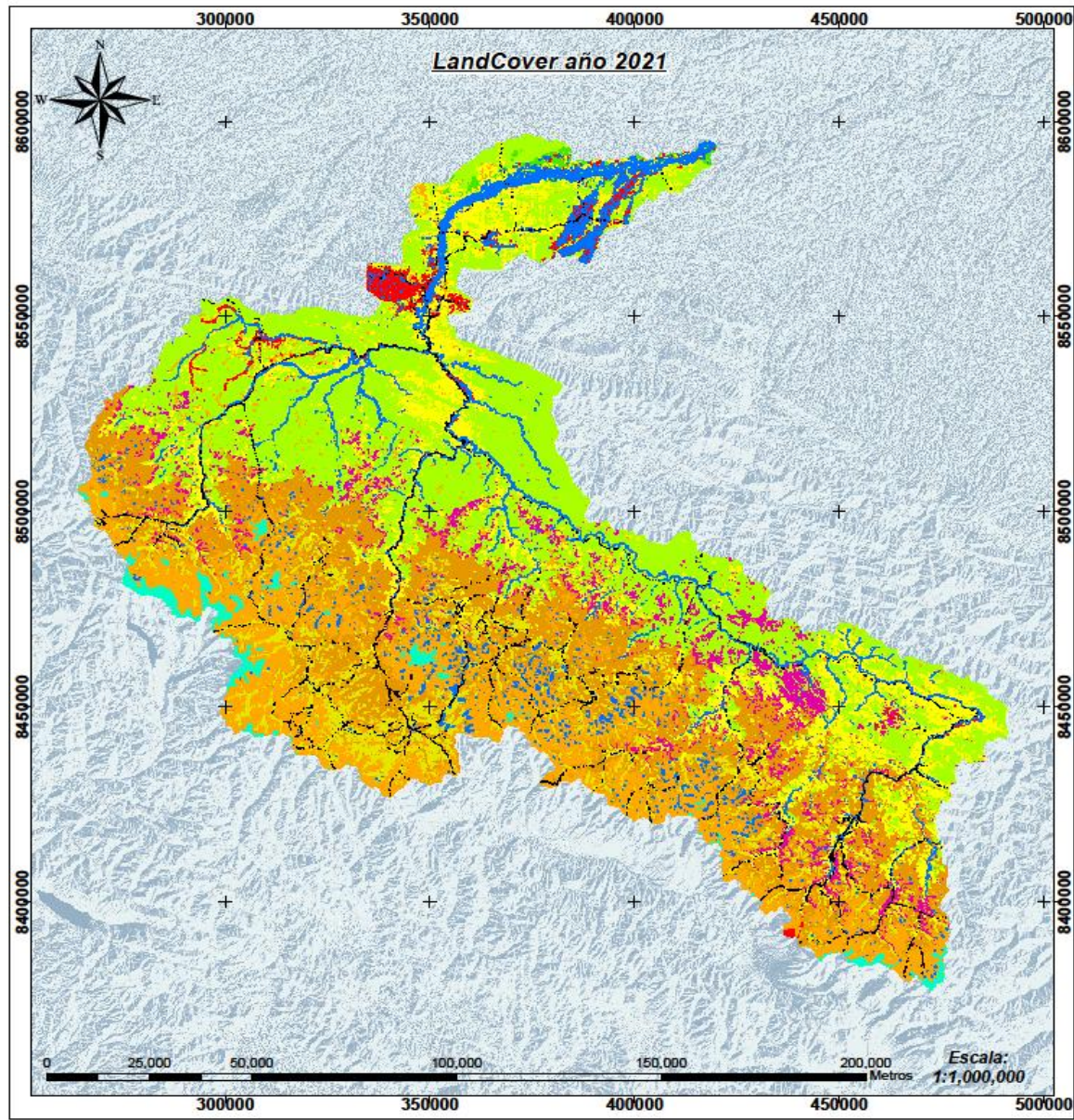


Figura 64. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2020.



Leyenda

- Area de estudio
- Departamentos del Peru
- Sudamérica

LandCover año 2015

- Bosque no inundable
- Bosque inundable
- Humedales
- Pradera
- Bosque de montaña
- Pasto
- Agricultura
- Infraestructura urbana
- Area sin Vegetación natural
- Minería
- Río, lago u océano
- Glaciar
- Carreteras
- Silvicultura

MAPA DE COBERTURA DE SUELO (LANDCOVER) DE LA CUENCA INAMBAR

NOMBRE DE LA CUENCA: INAMBAR

UBICACION: CUENCA: INAMBAR DEPARTAMENTO :MDD-CUSCO-PUNO PMS : PERU	DIMENSION DE LA CUENCA AREA SIG : 20239.22 Km2 PERIMETRO SIG : 1429.96 Km	PLANO: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">11</div>
REVISADO POR :	FUENTE: URS, ANAY MARISSMAS AMAZONIA	ESCALA: INDICADA
ELAB. POR : J.A.F.S	DATUM: WGS 84 PROYECCION: UTM ZONA: 19S	Fecha Elab: ENE. 2023

Figura 65. Mapa de cobertura de uso de suelo del escenario 2021.

Anexo 5:

Tabla 27. Tabla de solidos suspendidos.

Muestras de solidos suspendidos en en el agua de los lugares mas representativos del area de estudio					
Nº	Muestra	Solidos suspendidos		Solidos	Total Solidos suspendidos(Mg/L)
		Peso 1 Gr.	Peso 2 Gr.		
1	Inambari	166.70	166.56	0.14	0.28
2	Qda Sarayacu	168.82	167.72	1.10	2.20
3	Nueva	168.08	168.00	0.08	0.16
4	Punkiri	167.05	166.91	0.14	0.28
5	Puerto Carlo	168.15	167.95	0.20	0.40
6	Guacamayo	159.48	159.43	0.05	0.10
7	Sarayacu	176.94	176.57	0.37	0.74

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se determinan mediante método gravimétrico. La información básica proviene de mediciones puntuales de area de estdio

Según los estándares de Calidad Ambiental – Aguas planteadas por el MINAM en el Decreto supremo 261-69 aprobado y su modificatoria el Decreto supremo 007-83-SA y 003-2003-SA el estado peruano tiene como LMP de solidos suspendidos por actividades mineras 50 mg/L en el momento, por lo tanto, solo el rio en el centro poblado de Sarayacu sobrepasa los LMP mientras que los demás puntos de muestreos están dentro de los LMP.

Anexo 6: Panel fotográfico.

Fotos de actividades económicas en la cuenca del Inambari	
<p data-bbox="352 398 639 450" style="text-align: center;">Ganadería</p>  <p data-bbox="220 1048 746 1126">La ganadería es una actividad del sector primario que consiste en la cría, tratamiento y reproducción de animales domésticos con fines de producción para el consumo humano. Sector Santa Rosa</p>	<p data-bbox="935 398 1222 450" style="text-align: center;">Agricultura</p>  <p data-bbox="813 1048 1334 1126">La agricultura es una actividad que se ocupa de la producción, cultivo del suelo, el desarrollo y recogida de las cosechas. Sector Villa Santiago</p>
<p data-bbox="336 1193 624 1245" style="text-align: center;">Minería</p>  <p data-bbox="220 1865 746 1944">La minería aurífera se define como la extracción de oro del suelo llevada a cabo por personal calificado dentro de un título minero. Sector Jayave</p>	<p data-bbox="943 1193 1230 1245" style="text-align: center;">Agricultura-sierra</p>  <p data-bbox="813 1865 1334 1944">La agricultura es una actividad que se ocupa de la producción, cultivo del suelo, el desarrollo y recogida de las cosechas. Sector Mamabamba</p>

Fotos de afecciones en el ecosistema

Carreteras sobre quebradas



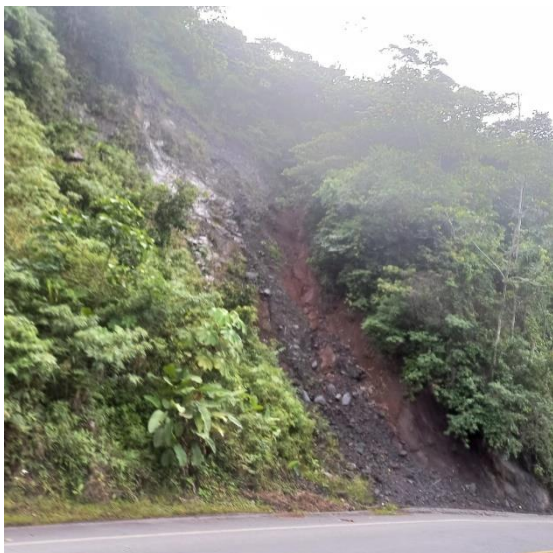
Dentro del tramo Santa Rosa-Puerto Carlo hay varias quebradas que son afectadas por la vía de acceso las cuales modifican la morfología de las quebradas. Sector Puerto Carlo

Seca de quebradas



Dentro del área de estudio existen muchas quebradas y afluentes que se secaron debido a la actividad minera, sin embargo, cuando suceden fuertes lluvias los sedimentos ocasionados por la actividad minera discurren tornando colores turbios en las quebradas.

Deslizamientos



Se dan sobre todo en los tramos de carreteras donde hay pendientes pronunciadas sobre todo por el cambio de la geomorfología y cambio de cobertura terrestre.

Sobre carga de sedimento



La actividad minera genera la recarga de solidos suspendidos en el agua por efecto de la exportación de sedimentos. Sector Qda Inambari.

Fotos de alteraciones en el ecosistema

Cambio de cobertura del suelo



Dentro del área de estudio se notan el cambio de cobertura terrestre por efectos de la minería aurífera, también se denota los sólidos suspendidos dentro de las posas a través de la turbiedad del agua.

Recarga de sólidos en ríos



Al ocurrir la exportación de sedimentos el ecosistema fluvial es el más afectado aumentando la recarga de sólidos en los ríos, a su vez aumenta el volumen del agua ocasionando desbordes.

Creación de cursos de agua artificiales



La extracción del material aurífero y cambio de cobertura terrestre generan cursos de agua artificiales los cuales desembocan sobre los ríos aumentando la recarga de sedimentos en ríos.

Disminución del flujo del agua



La pérdida de cobertura vegetal ocasiona alteraciones en el balance hídrico y desestabilización en los cursos de agua de la cuenca en estudio.