



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA

CARRERA DE HIDROLOGÍA

**DETERMINACIÓN DE LA CARGA SEDIMENTARIA DE LA
PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA**

Proyecto de investigación previo a la obtención de Título de:

INGENIERO EN CIENCIAS DEL AGUA

AUTOR: MARIO ALBERTO TORRES PEÑA

TUTOR: Msc. JOSÉ JAVIER SERRANO CHANO

CO-TUTOR: Msc. JUAN RODRIGO POMBOSA LOZA

Napo – Ecuador

2022

DERECHO DE AUTOR

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 29 de junio de 2022

Yo, Mario Alberto Torres Peña con documento de identidad N° 2100667472, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título Ingeniero/a en Ciencias del Agua son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:



.....

Mario Alberto Torres Peña

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, MARIO ALBERTO TORRES PEÑA, con documento de identidad N° 2100667472, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE LA CARGA SEDIMENTARIA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación superior.

Tena, 29 de junio de 2022

Firma



Mario Alberto Torres Peña

CI: 2100667472

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certificado de dirección de trabajo de integración curricular

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Determinación de la carga sedimentaria de la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba”, en la modalidad de: proyecto de investigación en formato tesis, fue realizado por: Mario Alberto Torres Peña, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena, 29 de junio de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**JOSE JAVIER
SERRANO CHANO**

.....

José Javier Serrano Chano

C.I: 1718347238

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Regional Amazónica Ikiam que me ha dado la oportunidad de formarme académicamente. A los docentes de la carrera de Hidrología que con sus enseñanzas han contribuido en mi formación. A mis tutores José Serrano y Rodrigo Pombosa, por su guía en este trabajo. Especialmente agradecer a Edgar Espitia quien a pesar de dejar de ser mi tutor principal continuó asesorándome para culminar este proyecto.

A mi mamá, papá y hermanos por darme ánimo y apoyo durante este proceso. Ustedes son un pilar fundamental en mi vida y en el trayecto de mi formación profesional. Siempre han sido los mejores guías de mi vida.

A mis compañeros de clase durante todos los semestres, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante. En especial a Dayana y Gisella por ser el mejor grupo de trabajo en cada proyecto y a Henry y Nathalie por su amistad y tiempo compartido.

Al INMAHI que me ha dado la oportunidad de realizar este proyecto de titulación y por brindarme todos los recursos y herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso de investigación.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Juana Peña y Gregorio Torres quienes siempre me alentaron a seguir adelante y no rendirme hasta conseguir mis objetivos. A mis hermanos por su apoyo incondicional en todo momento. Todos juntos han sido fuente de inspiración para poder superarme cada día.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí grandes momentos en estos 5 años, quienes con sus palabras de aliento permanente me motivaron a seguir adelante cuando las cosas se complicaban.

A mis tutores por su asesoría y conocimiento compartido el cual fue fundamental para escribir y culminar esta tesis con éxito.

ÍNDICE GENERAL

DERECHO DE AUTOR	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL DIRECTOR	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE MAPAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ...	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. <i>Importancia del Transporte de Sedimentos</i>.....	1
1.1.2. <i>Impactos Ambientales de da Carga Sedimentaria Alta</i>	1
1.1.3. <i>Transporte de Sedimentos en Cuencas Andinas</i>.....	2
1.1.4. <i>Importancia de Conocer la Carga Sedimentaria</i>.....	2
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i>.....	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
2. CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO.....	6
2.1. Ubicación y Caracterización del Área de Estudio	6
2.1.1. <i>Ubicación</i>.....	6
2.1.2. <i>Hidrología</i>.....	7
2.1.3. <i>Geología</i>.....	7
2.1.4. <i>Hidrogeología</i>.....	8
2.1.5. <i>Clima</i>	10
2.1.6. <i>Realidad Ambiental</i>	11
2.1.7. <i>Uso Del Suelo</i>.....	12
2.2. Conceptos Fundamentales	13
2.2.1. <i>Características De Una Cuenca Hidrográfica</i>.....	13

2.2.2.	Transporte de Sedimentos	17
2.2.3.	Erosión	17
2.2.4.	Evolución en el Tiempo del Transporte de Sedimentos	18
2.2.5.	Principio del Inicio del Movimiento	18
2.2.6.	Propiedades Físicas Del Sedimento	19
2.2.7.	Aforo Líquido	21
2.2.8.	Aforo de Sedimentos	21
2.2.9.	Gasto Sólido en Suspensión	23
2.2.10.	Gasto Sólido en Función del Gasto Líquido	23
2.2.11.	Software Hydraccess	24
2.2.12.	Estimación De La Erosión En Cuenca	25
2.3.	Materiales	26
2.3.1.	Materiales de Campo	26
2.3.2.	Materiales de Laboratorio	26
2.3.3.	Materiales de Análisis de Información	27
2.4.	Metodología	27
2.4.1.	Monitoreo de Caudal Líquido	29
2.4.2.	Monitoreo de Caudal Sólido	29
2.4.3.	Técnicas De Relleno De Datos	31
2.4.4.	Descripción De Los Datos	31
2.4.5.	Cálculo de Curvas y Correlación de Datos de Caudales Líquido y Sólido 32	
2.4.6.	Cálculo de Pérdida del Suelo Mediante la Metodología RUSLE	32
3.	CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS	37
3.1.	Caudal Líquido	37
3.2.	Concentración De Sedimentos	37
3.3.	Curvas De Gasto Sólido En Función De Gasto Líquido	38
3.4.	Cálculo De Gasto Sólido	40
3.5.	Estimación de la Pérdida de Suelo Mediante la Aplicación del RUSLE ...45	
3.6.	Validación Del Modelo RUSLE	51
4.	CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	54
4.1.	Curvas de Gasto Sólido en Función del Gasto Líquido	54
4.2.	Resultados de la Carga Sedimentaria	55
4.3.	Comparación de Resultados de Datos Medidos y Datos Calculados	58
4.3.1.	Distribución Espacial de la Erosión en la Cuenca	59

4.4.	Impactos de la Carga Sedimentaria (Técnicos, Social, Ambientales y Económicos)	59
4.4.1.	Técnicos	59
4.4.2.	Social	60
4.4.3.	Ambiental	60
4.4.4.	Económico	60
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1.	Conclusiones	60
5.2.	Recomendaciones	62
6.	REFERENCIAS	63
7.	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-15:	Uso del suelo en la cuenca del río Guayllabamba.	12
Tabla 2-15:	Índice de compacidad.	14
Tabla 3-15:	Clasificación del factor de forma.....	15
Tabla 4-15:	Estaciones hidrológicas del INAMHI dentro de la cuenca.	32
Tabla 5-15:	Información requerida para desarrollar el RUSLE	32
Tabla 6-15:	Valores del Factor C para diferentes coberturas del suelo	36
Tabla 7-15:	Lista de estaciones hidrológicas, afluentes y media de caudal líquido.....	37
Tabla 8-15:	Lista de estaciones hidrológicas y media de concentración de sólidos.....	38
Tabla 9-15:	Gasto sólido mayor registrado para las 6 estaciones en la cuenca	40
Tabla 10-15:	Caudal sólido específico	41
Tabla 11-15:	Rangos de calificación RUSLE.....	45
Tabla 12-15:	Parámetros físicos de las diferentes subcuencas generadas.....	46
Tabla 13-15:	Erosión hídrica medida y erosión hídrica calculada.....	51
Tabla 14-15:	Erosión promedio en las partes alta, media y baja de la cuenca.....	54
Tabla 15-15:	Ecuaciones y coeficiente de correlación de caudal líquido vs caudal sólido.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-10: Histograma de precipitación mensual en la cuenca de estudio.....	10
Figura 2-10: Histograma de temperatura media, máxima y mínima mensual.	11
Figura 3-10: Diagrama de fuerzas actuando en una partícula de sedimento.	19
Figura 4-10: Software Hydraccess 6.2.	25
Figura 5-10: Esquema detallado de la metodología aplicada en la investigación.	28
Figura 6-10: Curvas de caudal líquido vs gasto sólido en cada estacion.....	39
Figura 7-10: Diagrama de gasto sólido en las 6 estaciones hidrológicas analizadas	41
Figura 8-10: Gasto sólido medio mensual [Ton/d] para cada estación.....	45
Figura 9-10: Curva hipsométrica de la cuenca de estudio	46
Figura 10-10: Erosión medida vs erosión calculada	52

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-13: Mapa del área de estudio.....	6
Mapa 2-13: Mapa de composición del suelo en la cuenca de estudio.	8
Mapa 3-13: Mapa de taxonomía del suelo de la cuenca.	8
Mapa 4-13: Mapa de la permeabilidad de la cuenca.	9
Mapa 5-13: Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático en la cuenca	11
Mapa 6-13: Mapa de cobertura y uso de suelo en la cuenca de estudio.	13
Mapa 7-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Alambi en Churupamba.....	47
Mapa 8-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Alambi.....	47
Mapa 9-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Pisque.....	48
Mapa 10-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba en Pte. Chacapata	48
Mapa 11-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Intag D.J Pamplona.....	49
Mapa 12-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Blanco.....	49
Mapa 13-13: Erosión en las partes alta, media y baja de la cuenca..	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-6: Resultados de laboratorio estación Alambi en Churupamba
--

(H0136)	70
Anexo 2-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba D.J. Alambi (H0146).....	72
Anexo 3-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba D.J. Pisque (H0148).....	74
Anexo 4-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149).....	76
Anexo 5-6: Resultados de laboratorio estación Intag D.J. pamplona (H0150)	77
Anexo 6-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170).....	79

RESUMEN

La carga sedimentaria es la cantidad de material sólido arrastrado por la corriente, esta cantidad puede provocar impacto ambiental. La cuenca del río Guayllabamba por su ubicación y características geográficas y climáticas es propensa a sufrir pérdida de suelo lo cual se puede constatar mediante un cálculo de carga sedimentaria que transporta el río. La investigación utilizó los datos registrados de caudal líquido y concentración de sedimentos de 6 estaciones del INAMHI presentes en la cuenca. Los datos hidrológicos fueron trabajados con el Software Hydraccess, mientras que el análisis de sedimentos se realizó en el Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos. Con esta información se obtuvo el gasto sólido para cada estación. Los resultados mostraron que la estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) con 344 (Ton/ha/a) es la que aporta la mayor cantidad de sedimentos en la cuenca, además registró una concentración de 1,86 (Kg/m³) lo cual la convierte en la zona con mayor erosión. Mientras que la estación que registró el menor aporte de sedimentos fue en la estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170) con 79 (Ton/ha/a) que es la zona menos erosionada, presentado una concentración de sedimentos de 0,33 (Kg/m³). Además, la aplicación del modelo RUSLE demostró que la erosión ocurre en la parte alta de la cuenca, el transporte de sedimentos en la parte media y sedimentación en la parte baja. Finalmente, las curvas de gasto sólido en función de gasto líquido indican que la cuenca del río Guayllabamba presenta valores normales de erosión.

Palabras claves: Hydraccess, río Guayllabamba, RUSLE, erosión, carga sedimentaria

ABSTRACT

The sedimentary load is the amount of solid material dragged by the current, this amount can cause an environmental impact and affect the quality of the water. The Guayllabamba river basin, due to its location and geographic, climatic and environmental characteristics, is prone to soil loss, which can be verified by calculating the sediment load carried by its main rivers. The research used the registered data of liquid flow and sediment concentration from 6 INAMHI stations present in the basin. The hydrological data were worked with the Hydraccess Software, while the sediment analysis was done at the Laboratorio Nacional de Calidad de Agua y Sedimentos. With this information, the solid expenditure in each of the stations was obtained. The results showed that the Guayllabamba station in Pte. Chacapata (H0149) with 344 (Ton/ha/a) is the greatest contributor of sediment in the basin, where was registered a concentration of 1,86 (Kg/m³) which is the area with the highest levels of erosion. While the station that recorded the lowest sediment contribution was at the Guayllabamba AJ Blanco station (H0170) with 79 (Ton/ha/a) and it is also the least eroded area with a concentration of 0,33 (Kg/m³). In addition, the application of the RUSLE model showed that erosion occurs in the upper part of the basin, sediment transport in the middle, and sedimentation in the lower region of the basin. Finally, the curves of solid flow as a function of liquid flow indicate that the Guayllabamba river basin shows normal erosion values.

Keywords: Hydraccess, Guayllabamba river, RUSLE, erosion, sediment load

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Importancia del Transporte de Sedimentos

Los sedimentos fluviales son un componente esencial de los ambientes acuáticos y de gran importancia para los organismos vivos, pues desempeñan un papel fundamental en la estabilidad de los cuerpos de agua y los sistemas ribeños [1]. La morfología de los ríos aluviales depende de las interacciones entre el flujo líquido y el material sedimentario, tal interacción provoca procesos de erosión y transporte de sedimentos a lo largo del cauce fluvial [2]. Los ríos se encargan de mantener un equilibrio sedimentario, es decir, que la cantidad de sedimento que se genera en las zonas de erosión, es equivalente a la cantidad de sedimento que llega a las zonas de sedimentación [3]. De esta manera la dinámica de transferencia de sedimentos es un proceso continuo a lo largo del cauce como resultado de los procesos hidroclimáticos, litológicos, edafológicos, etc. Sin embargo, las actividades humanas y otros procesos, como los cambios en los usos del suelo de la cuenca, alteran esta transferencia de sedimentos aguas abajo [4–6].

1.1.2. Impactos Ambientales de la Carga Sedimentaria Alta

El incremento de la carga de sedimento fino genera una evidente afección a los ecosistemas acuáticos [7,8]. Provocando pérdida de especies y alteraciones del ecosistema. Resulta que estos cambios podrían tener impactos de gran alcance, incluidos cambios en los ecosistemas de la plataforma costera y la disminución de las poblaciones de peces [9–11]. El aumento de sedimento en las aguas tiene el potencial de cambiar las concentraciones de oxígeno y por ende desencadenar cambios en la composición química del agua alterando los ciclos biogeoquímicos [12]. Otro efecto de la alta carga de sedimentos suspendidos es que provoca un aumento en los valores de turbidez, lo cual, induce a la disminución de la penetración de luz dificultando el crecimiento de la flora acuática [13].

El aumento en la tasa de sedimentos en el cauce también afecta a la morfología del río provocando cambios en la geometría del canal, cambios en la profundidad del lecho, formación de islas, etc. Por lo tanto, los estudios sobre el transporte de sedimentos,

morfología y dinámica fluvial son de importancia para plantear estrategias y metodologías adecuadas para un correcto diseño de obras de ingeniería aluvial, con el propósito de control, aprovechamiento, gestión y preservación de recursos hídricos [2].

1.1.3. Transporte de Sedimentos en Cuencas Andinas

Los ríos y quebradas altoandinas se caracterizan por presentar pendientes pronunciadas las cuales en algunos casos mayores a 20 %, la morfología de sus cauces presenta gran rugosidad, alta turbulencia, cambios abruptos en la geometría del cauce y cambios en los patrones de flujo [14]. Los lechos de los ríos de alta montaña se caracterizan por presentar sedimentos gruesos y tienden a desarrollar procesos de impermeabilización o acorazamiento, los cuales ocasionan una alta variabilidad espacio-temporal en el arrastre de fondo [15].

1.1.4. Importancia de Conocer la Carga Sedimentaria

Los estudios de carga de sedimentaria o transporte de sedimentos son importantes ya que permiten conocer y caracterizar la dinámica fluvial en los ríos, por ejemplo: la cuantificación y control del volumen de sedimento transportados permite dimensionar las estructuras como bocatomas, represas, puentes, muros de contención [16]. Los estudios que se llevan a cabo previo a la edificación de grandes estructuras hidráulicas, requieren una evaluación de carga sedimentaria para determinar la factibilidad técnica, económica y ambiental y cuantificar los impactos ambientales. Una evaluación incorrecta podría provocar un mal dimensionamiento y diseño de estructuras, las cuales se ven afectadas por la presencia de sedimentos en el flujo de los ríos, y a su vez un cambio en el comportamiento hidráulico lo cual altera el equilibrio del flujo [16]. El conocimiento de la carga sedimentaria es importante no solo para el diseño de nuevas obras sino también para la protección y correcto funcionamiento de obras existentes como, hidroeléctricas, captaciones para agua potable, puentes y otras. Cuantificar el impacto de estas acciones sobre la dinámica de la sedimentación hidrológica es fundamental para comprender la dinámica de los ríos afectados por las actividad humana y procesos naturales. Esto a fin de brindar la mayor información posible a los organismos de gestión para que puedan predecir posibles impactos ambientales y diseñar e implementar un plan hidrológico apropiado para la cuenca [3].

La cuenca del río Guayllabamba recibe las aguas residuales de las ciudades de Quito y Sangolquí, donde se concentra la principal actividad antrópica de la cuenca. Las

principales actividades económicas en las zonas rurales son la agricultura y ganadería las cuales constituyen una fuente considerable de contaminación y erosión. Estos factores han provocado cambios en los cauces aluviales y principales afluentes del río Guayllabamba. Por otra parte, existen proyectos hidroeléctricos ubicados en la cuenca media del río Guayllabamba, los cuales se ven afectados por la carga sedimentaria generada en la parte alta. Es evidente el potencial hidroeléctrico de la cuenca, ya que existen proyectos en fases de estudio como: los proyectos Tigre y Chespí – Palma Real, que son parte del Sistema Integrado Guayllabamba [17]. Llevar un correcto estudio ecológico, hidrológico y un análisis de la carga sedimentaria es de suma importancia para el complemento en los estudios que forman parte de dichos proyectos.

1.2. Planteamiento del Problema

El río Guayllabamba es uno de los afluentes más importantes del río Esmeraldas, que se forma por la confluencia de las aguas de la parte central del callejón interandino y se abre paso por la cordillera occidental de forma violenta hacia la costa esmeraldeña, pasando por los valles de Puellaro, Perucho y Neblí. En todo su curso, se presenta un relieve escarpado, caracterizado por corrientes rápidas que hace difícil la navegación. Al poseer estas características se genera arrastre de sedimentos superficiales y de materiales erosionados por la formación de torrentes afectando a las personas que desarrollan sus actividades en las cercanías del río. El caudal presenta variación en las diferentes estaciones hidrológicas, característico de los ríos de la vertiente pacífica. Además, el río también presenta valores altos de turbiedad (sólidos en suspensión) y presencia de diversas sustancias contaminantes.

Los ríos son el principal medio de transporte de sedimentos [18]. Además de ser un agente activo de la erosión, también es un receptor del material transportado por escorrentía, el cual cuando llega a un afluente se convierte en sedimento [19]. El sedimento es un problema que afecta la calidad del agua y su uso; sin embargo. El río Guayllabamba por sus características físicas e hidrológicas presenta condiciones para tener una carga sedimentaria alta. Una gran concentración de sedimentos, es capaz de afectar la calidad del agua del río afectando a las actividades económicas de la zona y al ecosistema. Conocer la carga sedimentaria presente en la cuenca del río Guayllabamba, nos permite identificar posibles efectos negativos que genera el arrastre de sedimentos en las orillas y en el fondo de los cauces, tales como erosión, socavación,

inundaciones, lo cual impide el recorrido normal del agua y provoca daños en las estructuras presentes a lo largo de los cauces.

En esta investigación permitirá determinar la carga sedimentaria presente en los principales afluentes de la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba. Con esta información se podrá identificar los posibles efectos negativos que genera el arrastre de sedimentos en las orillas y en el fondo del río, tales como la erosión, socavación, e inundaciones, lo cual impide el recorrido normal del agua. El río Guayllabamba se le considera como caudaloso y torrencioso por lo que se puede decir que presenta mayor facilidad para transportar sedimentos debido a la fuerza que ejerce. Con esta investigación se beneficia a los municipios ubicados dentro de la cuenca, los cuales hacen uso de los recursos hídricos. Este trabajo de investigación aportará información a las empresas que operan las centrales hidroeléctricas como: CELEC (Hidroeléctrica Manduriacu) y Empresa Eléctrica Quito (Hidroeléctrica Cumbayá), Central Hidroeléctrica Nayon (Proyecto Vindobona), Hidroeléctrica Batan I, Batan II e Hidroeléctrica Tigre que está en fase de estudio. También esta información contribuirá en el diseño de los diferentes proyectos de estructura mayor como bocatomas, puentes, vías, muros de contención e instalaciones turísticas. Finalmente, la información generada en esta investigación será de apoyo para las empresas de agua potable y saneamiento, proyectos de turismo, industria agrícola y ganadera.

1.3. Justificación

El estudio de la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba, permitirá conocer el caudal líquido y caudal sólido en cada una de las diferentes estaciones hidrológicas. La importancia de conocer estos caudales nos permite evaluar la carga sedimentaria en el río e identificar los factores que influyen en la generación de sedimentos. Además, es necesario comparar el caudal líquido con el sólido para la obtención de la tasa de remoción de sedimentos. También, es necesario asociar los caudales medidos con la temporalidad y geomorfología de la cuenca e identificar su influencia en el comportamiento hidrológico y sedimentario.

Identificar los patrones temporales (clima) y espaciales (ubicación, pendiente, tipo de suelo, etc.) y la representación de estas interacciones (climática, geológica y humana) en modelos cuantitativos provee de un instrumento para la toma de decisiones sobre gestión de suelo y agua primordialmente. La información recolectada en este análisis va a ser de gran utilidad para las hidroeléctricas que son parte del Plan Integral de

Aprovechamiento Hidroeléctrico de la Cuenca del Río Guayllabamba, tales como: Central Nayon (en funcionamiento), Tigre (fase de estudio), Manduriacu (en funcionamiento), Cumbayá (en funcionamiento), Batan I y Batan II; ya que con ello se establecerán los planes de vaciado y dragado de las represas y sobre todo en el mantenimiento de la vida útil de las turbinas.

Conocer la carga sedimentaria en el río aportará en una correcta administración de los recursos hídricos de la cuenca, ya que el transporte de sedimentos influye en la regulación de otros elementos como la morfología, estabilidad del suelo, ciclos biogeoquímicos y el transporte de nutrientes. Este estudio será de gran aporte para lograr informar a los entes públicos y privados de la carga sedimentaria del río y los impactos económicos, sociales y ecológicos que se podrían generar.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la carga de sedimentos en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba mediante el análisis de registros de caudal y gasto sólido.

1.4.2. Objetivos Específicos

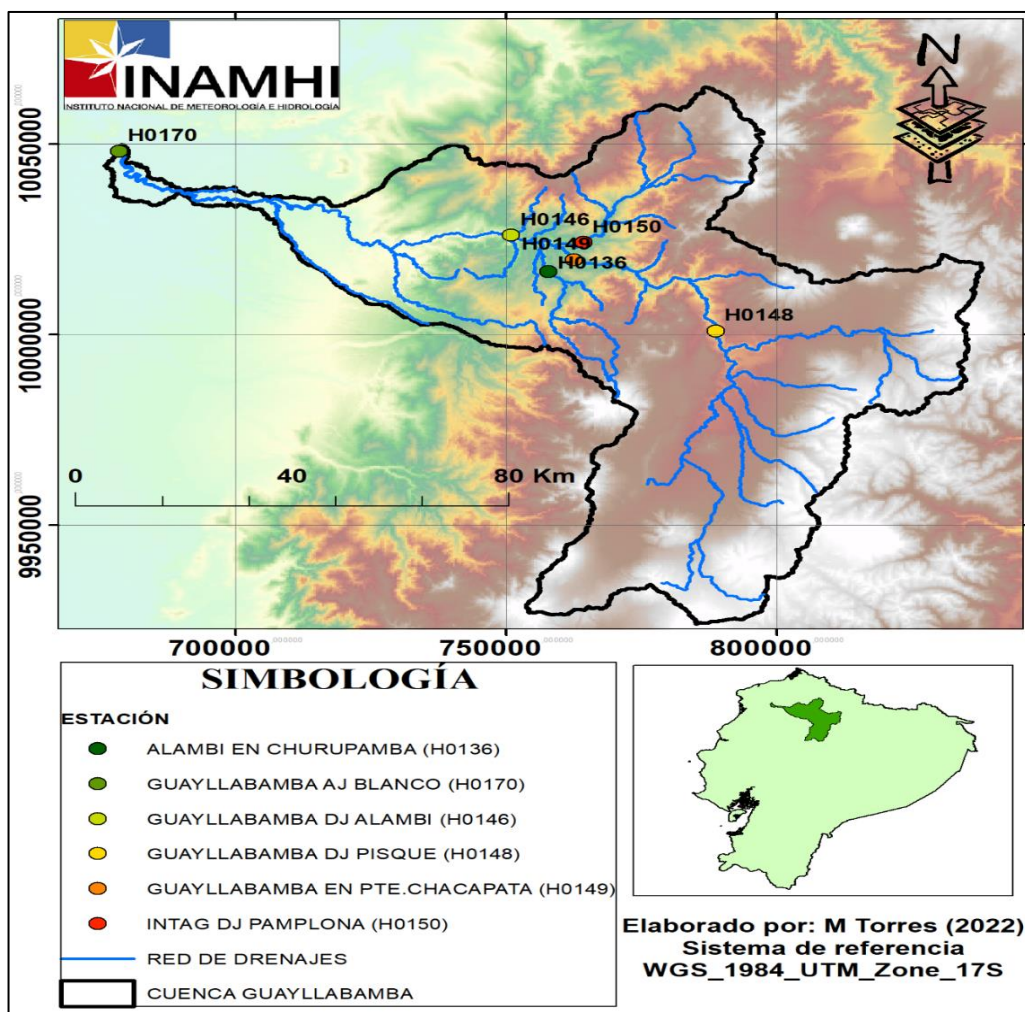
- Crear una base de datos de gasto sólido utilizando el software Hydraccess para el procesamiento de las muestras recolectadas en cada estación hidrológica de la cuenca alta del río Guayllabamba.
- Calcular las curvas de gasto sólido en función del gasto líquido.
- Determinar los patrones espaciales que influyen en el transporte y producción de sedimentos en la cuenca alta del río Guayllabamba.
- Analizar la producción de sedimentos en cada una de las subcuencas mediante la aplicación de la metodología RUSLE.

2. CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. Ubicación y Caracterización del Área de Estudio

2.1.1. Ubicación

La cuenca alta del río Guayllabamba, también conocida como Hoya de Quito, está localizada en la Sierra Norte del Ecuador; además constituye la parte alta de la cuenca del río Esmeraldas [20]. La cuenca de estudio presenta un área de 8237,61 km², hasta su punto de cierre en la estación hidrológica Guayllabamba AJ Blanco (H0170), la cual se encuentra ubicada en el cauce principal del río Guayllabamba antes de unirse con el río Blanco en la provincia de Esmeraldas, en las coordenadas (latitud 0,435222; longitud -79,396141).



Mapa 1-13: Mapa del área de estudio.

2.1.2. Hidrología

El río Guayllabamba cruza la vertiente occidental de los Andes como parte del sistema hidrológico del río Esmeraldas que desemboca en el Océano Pacífico y toma su nombre de la confluencia de los ríos San Pedro y Chiche. El río fluye hacia el norte y desde allí, en una dirección común norte-sur hasta la confluencia del río Cubi. En el área entre la confluencia de los ríos Monjas y Cubi, el río Guayllabamba cruza los Andes occidentales y desemboca en la llanura costera en una dirección general este-oeste [21]. La Cuenca Hidrológica de Guayllabamba es un área geográfica con una estructura geomorfológica especial en dos lados, en el este del ramal oriental de los Andes, en el oeste en el ramal occidental de los Andes, en el norte el nudo de Mojanda-Cajas, y al sur el nudo de Tiopullo [21].

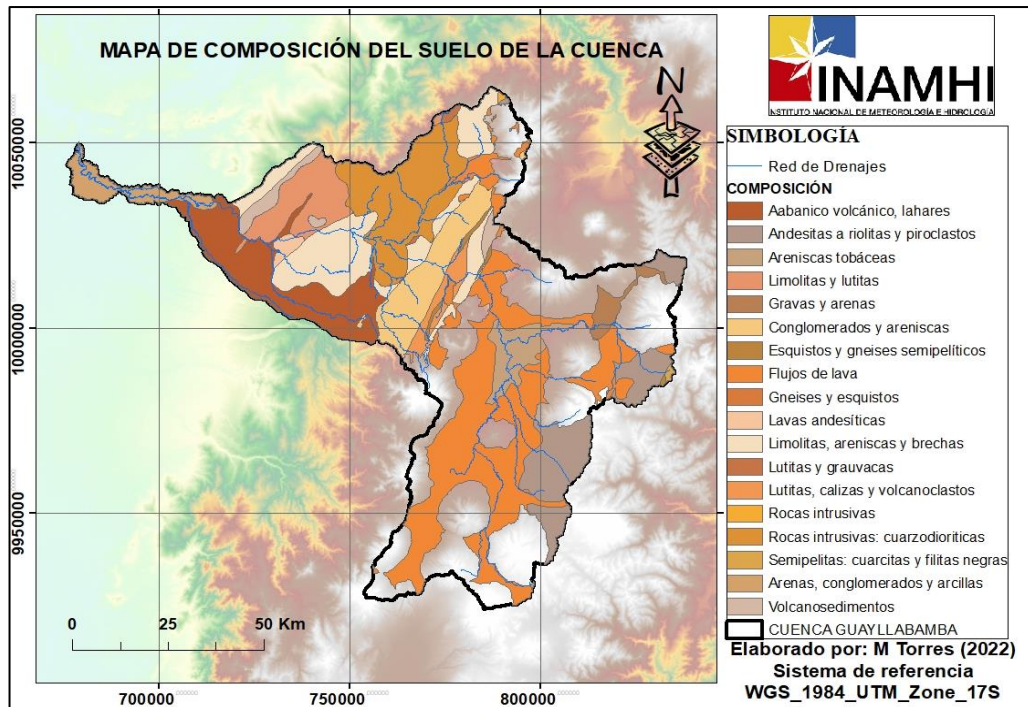
La cuenca del Guayllabamba según la clasificación hidrográfica del Ecuador es considerada una cuenca nivel 4. La cuenca está conformada a su vez por cuencas menores de nivel 5 como: Guayllabamba Bajo, Alambi, Quebrada San Andrés, Intag, Guayllabamba Medio, Pisque, Guayllabamba Alto, Pita y San Pedro.

2.1.3. Geología

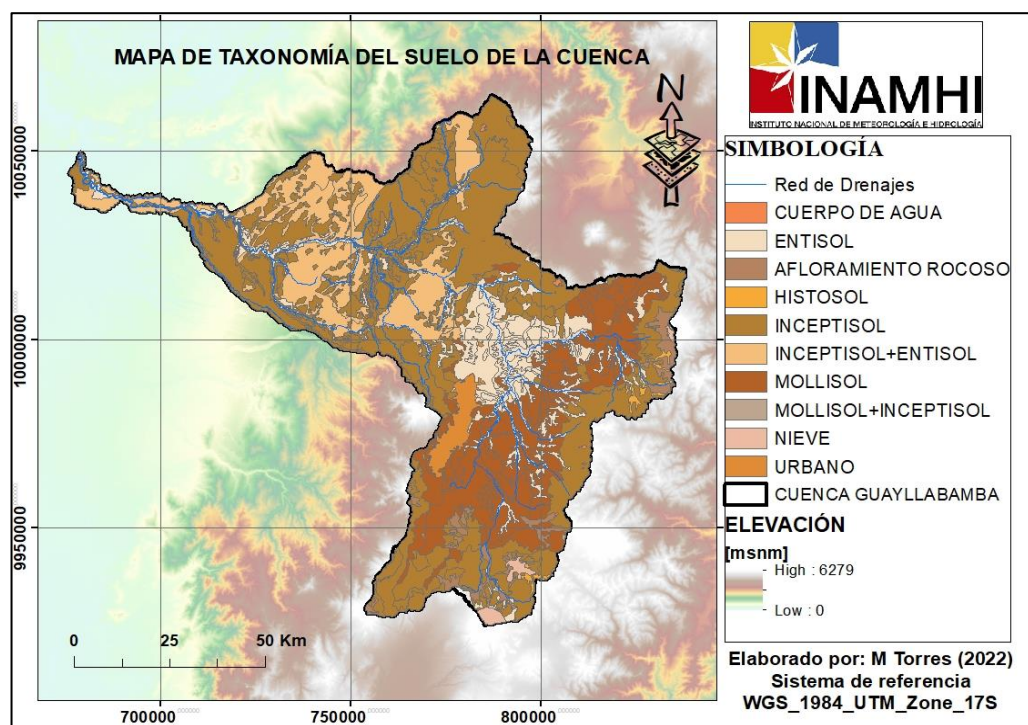
La cuenca del Guayllabamba, está asentada sobre las siguientes regiones geológicas morfo-estructurales del Ecuador: la parte alta se encuentra en la Depresión Interandina (DI) y parte de la Cordillera Real (CR), mientras que la parte media de la cuenca está sobre la Unidad Pallatanga. Finalmente, la parte baja en la desembocadura al río Esmeraldas se encuentra sobre el Bloque Naranjal y sobre basamentos cubiertos por abanicos aluviales y volcánicos.

- **Composición y Taxonomía del Suelo**

El área de la cuenca hidrográfica del río Guayllabamba se caracteriza por presentar una textura conformada en su mayoría por arcillas, limos, franco, arenas y la combinación de las mismas, y una variada composición de rocas como se detalla en el **mapa 2**. Por su parte la taxonomía del suelo de la cuenca está conformada de la siguiente manera; Alfisoles (0.80%), Andisoles (31.50 %), Inceptisoles (13.00%), Molisoles (24.50%), y Entisoles (30.20 %) como se muestra en el **mapa 3**.



Mapa 2-13: Mapa de composición del suelo en la cuenca de estudio.



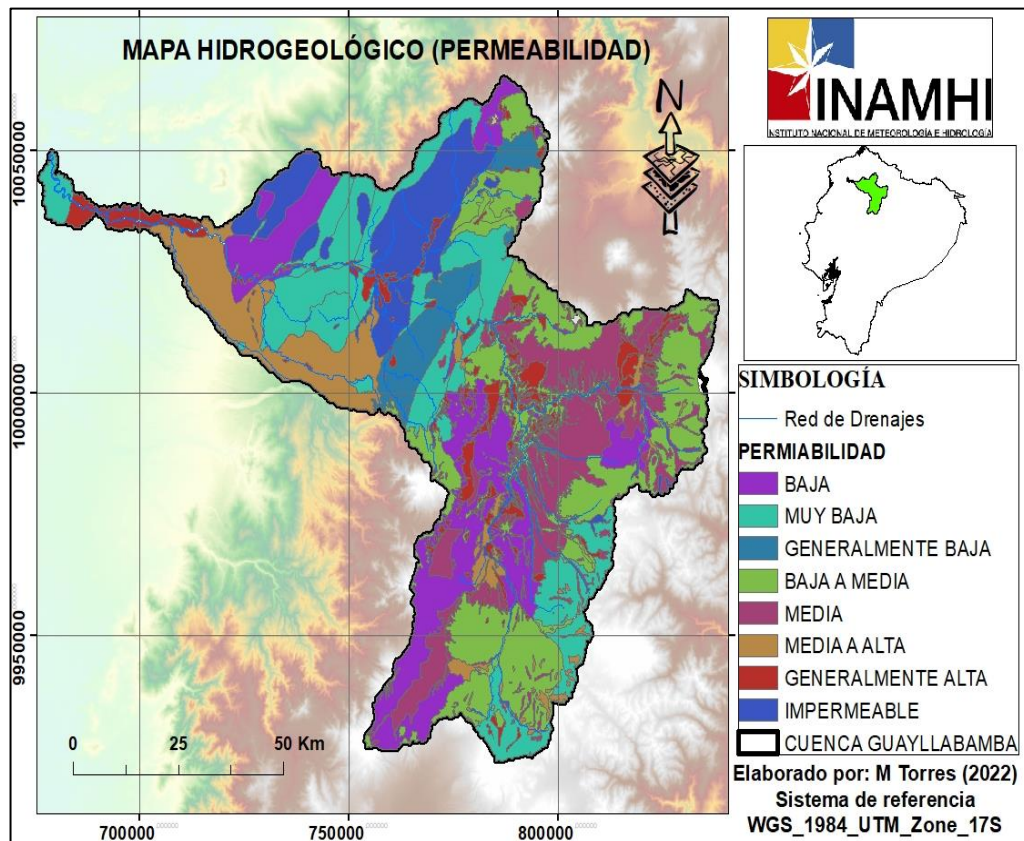
Mapa 3-13: Mapa de taxonomía del suelo de la cuenca.

2.1.4. Hidrogeología

Según el mapa hidrogeológico del Ecuador realizado por SENAGUA y la ESPOL en 2014, podemos identificar las formaciones geológicas por su capacidad de infiltración

en función de su litología. Por ende, la cuenca del Guayllabamba presenta las siguientes características en su composición hidrogeológica: permeabilidad por porosidad primaria, permeabilidad por fisuración o Karstificación y zonas sin potencial acuífero como se muestra en el **mapa 4**.

La parte alta de la cuenca presenta acuíferos asociados con rocas efusivas ácidas y básicas, principalmente del volcanismo reciente; son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas con permeabilidad de baja a media [22]. En la parte media presenta acuíferos prácticamente ausentes en rocas intrusivas y efusivas, comprendiendo principalmente granitos, granodioritas, riolitas y rocas metamórficas masivas [22]. Además, en la parte media también presenta acuíferos asociados con rocas cataclásticas y piroclásticas, calizas alóctonas y en menor proporción areniscas y, los tobas, que son acuíferos locales de aprovechamiento por manantiales principalmente [22]. Finalmente, en la zona baja presenta acuíferos en sedimentos clásticos no consolidados del cuaternario indiferenciado, que predominantemente afloran en las cuencas de los ríos Guayas, Taura, Balao, Jubones, San Miguel, Putumayo, Aguarico y Morona; y en los valles interandinos [23].



Mapa 4-13: Mapa de la permeabilidad de la cuenca.

2.1.5. Clima

Según [19], la cuenca alta debido a la fuerte variación del relieve posee tres tipos de climas:

- Tropical semiárido temperado en la parte baja, con temperaturas entre 16 – 24 C, precipitaciones entre 400 y 700 mm/año y con un rango altitudinal de 1000 – 2000 msnm.
- Mesotérmico semihúmedo y seco, con temperaturas entre los 12 – 20 C, precipitaciones entre 700 y 1500 mm/año y con un rango altitudinal de 2000 – 3000 msnm.
- Ecuatorial de alta montaña, con temperaturas menores a los 8 C, precipitaciones que oscilan entre los 1000 – 1600 mm/año y con alturas mayores a los 3000 msnm.

La precipitación en la cuenca durante el año se distribuye de dos maneras, alcanzando su punto máximo en marzo-abril y octubre-diciembre [20]. Los mayores valores de precipitación para anuales se observan en la subcuenca La Chimba, afluente del río Pisque, en las subcuencas de los ríos San Pedro y Pita, y en las laderas del Pichincha de la subcuenca Guayllabamba Alto, a medida que avanza hacia el norte, en las subcuencas de Pisque y Guayllabamba Medio, las precipitaciones tienden a ser menores [24]. Específicamente, las regiones que tienen menos precipitaciones son: Pomasqui, San Antonio de Pichincha, El Quinche, Yaruquí, Tababela y la región Cayambe-Olmedo-Tabacundo [24].

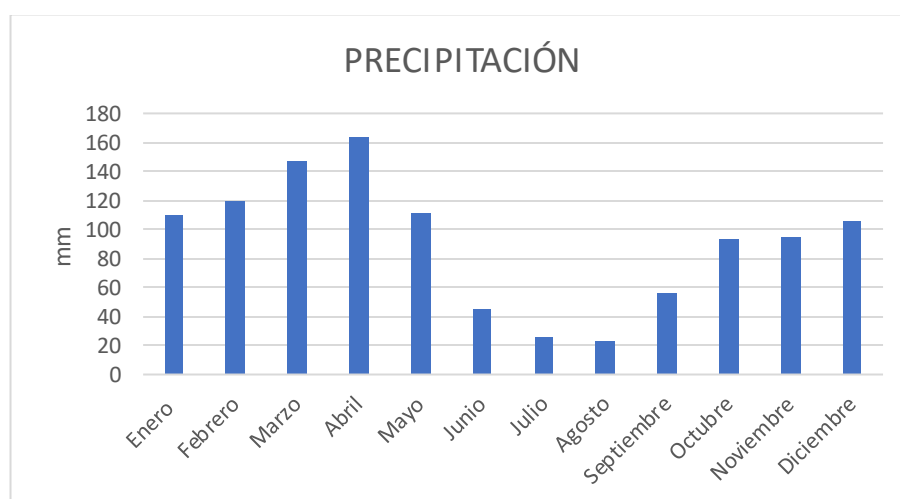


Figura 1-10: Histograma de precipitación mensual en la cuenca de estudio.
Realizado por: Torres, Mario, 2022

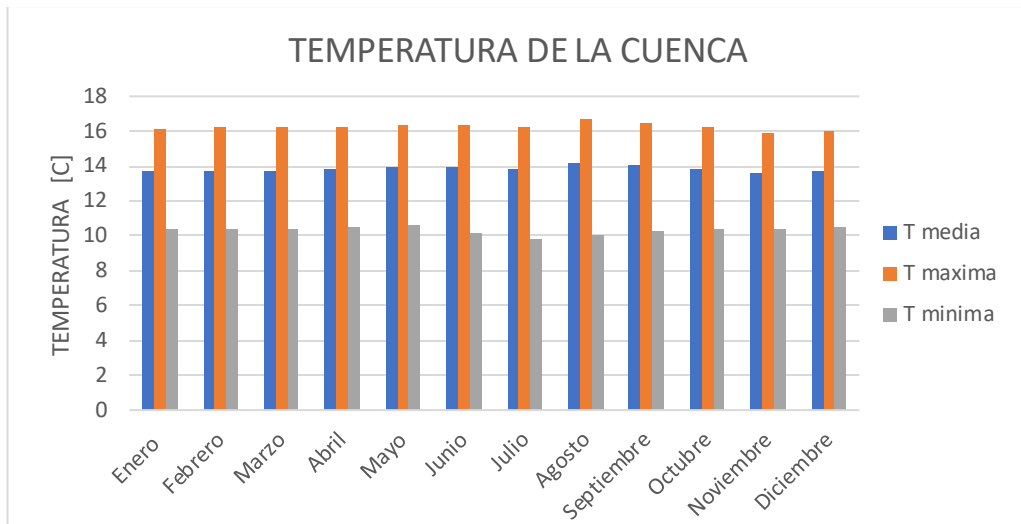


Figura 2-10: Histograma de temperatura media, máxima y mínima mensual.
Realizado por: Torres, Mario, 2022



Mapa 5-13: Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático

2.1.6. Realidad Ambiental

El río Guayllabamba al ser alimentado por los ríos San Pedro, Machángara, Chiche y Pisque, los cuales reciben las aguas residuales de las ciudades de Quito y Sangolquí, se ve afectado directamente por la contaminación. La cuenca se caracteriza por abarcar

grandes ciudades, de modo que, pone en riesgo la estabilidad ecológica e hidrológica de los cauces principales. En las zonas rurales, la población se dedica a la agricultura y ganadería, mismas que son consideradas fuente de contaminación y erosión. Estos factores han provocado grandes cambios en los cauces fluviales principales. Por otra parte, existen proyectos hidroeléctricos ubicados en la cuenca media del río Guayllabamba, los cuales se ven afectados por la carga sedimentaria generada en la parte alta. Es evidente el potencial hidroeléctrico de la cuenca, existen proyectos en fases de estudio como: Tigre, Chespí – Palma Real, que son parte del Sistema Integrado Guayllabamba [20].

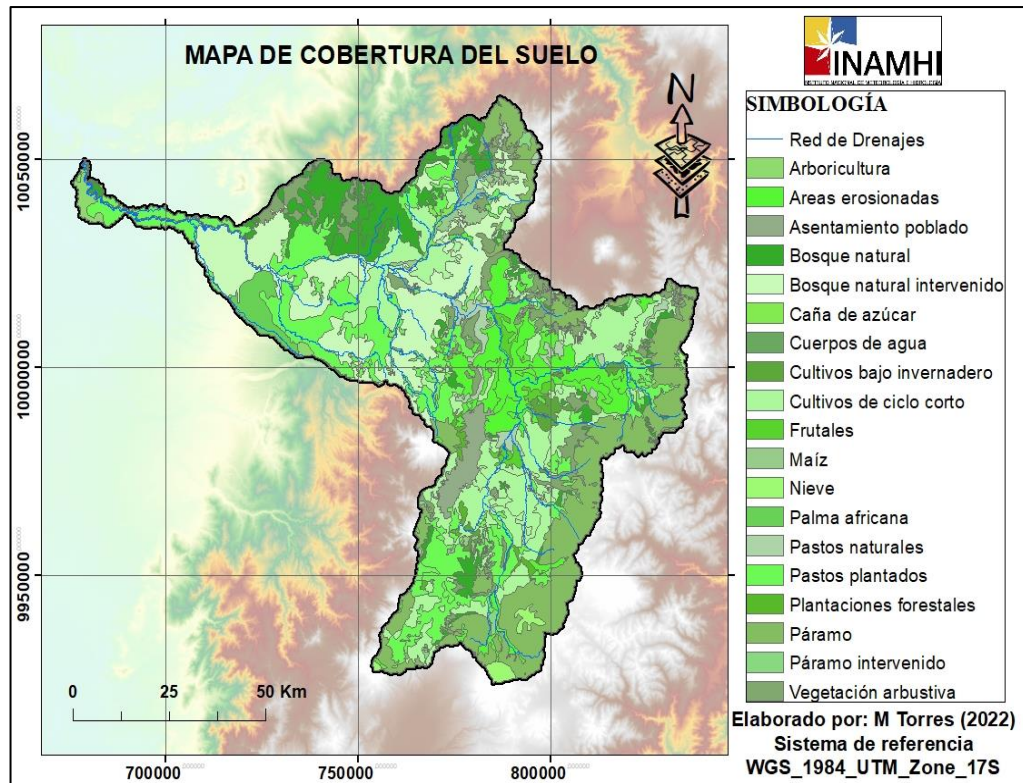
2.1.7. Uso Del Suelo

Como vemos, en las cuencas altas prevalecen los ecosistemas de páramo, que son importantes reguladores naturales de los sistemas hídricos, que se encuentran bajo la presión de la agricultura y la ganadería. Los bosques naturales ocupan un área pequeña y a menudo se concentran en lugares cercanos a los sistemas de agua. El área degradada o área con poca cobertura vegetal se ubica río abajo bajo la influencia de las características de la escorrentía alterado por el tipo de uso de la tierra, mientras que las áreas urbanas se concentran en la margen izquierda del río Guayllabamba [24]. La vegetación natural remanente representa el 38% del territorio de la cuenca, por lo que se entiende que la superficie total de la cuenca que sufrió cambio entre 1999 y 2007 es de 55,7 km² [24]. De esta superficie el 53,6 km² (97%) era páramo que se convirtió a otro tipo de cobertura, por ejemplo 27,4 km² pasó a ser bosque o pasto natural. La tendencia promedio de disminución del área de páramo es del 0,8% anual [24].

Tabla 1-15: Uso del suelo en la cuenca del río Guayllabamba.

Tipo de uso del suelo	% de área
Pastos	27
Bosques y matorrales	18
Páramos	18
Cultivos	18
Urbana	7
Agua y glaciares	0.5
Escasa cobertura	9
Otros	2.5
Total	100

Fuente: (De Bievre et al, 2008)



Mapa 6-13: Mapa de cobertura y uso de suelo en la cuenca de estudio.

2.2. Conceptos Fundamentales

2.2.1. Características De Una Cuenca Hidrográfica

Las características que poseen las cuencas hidrográficas determinan el comportamiento de la cuenca ante eventos hidrológicos y así mismo permiten establecer los planes más adecuados para su gestión.

a) Área de Drenaje (A)

Es la proyección horizontal, delimitada por la división topográfica; que consiste en una línea divisoria que separa las precipitaciones que caen en cuencas vecinas, la cual por escorrentía forma un sistema fluvial.

b) Perímetro de la Cuenca (P)

Es la longitud horizontal de la divisoria de aguas. Corresponde a la medida total de la suma de todos los lados del polígono (cuenca hidrográfica).

c) Longitud del Cauce Principal (L)

Es la longitud total medida desde la parte alta de la cuenca hasta su desembocadura (punto de salida), tomando como referencia el cauce principal.

d) Ancho Promedio

Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca (A) y la longitud del cauce principal (L).

e) Coeficiente de Compacidad (K_c)

Comparar la forma de la cuenca con una circunferencia, fue propuesto por Gravelius. Se entiende por la razón entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de igual área que la cuenca [25]. Con este parámetro podemos describir la geometría de la cuenca la cual está relacionada directamente con el tiempo de concentración en un sistema hidrológico. Estos valores adimensionales definen la forma de una cuenca permitiendo clasificar en 3 clases según sus valores como se muestra en la **tabla 2**.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{1/2}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca [Km]

A: Área de la cuenca [km²]

Tabla 2-15: Índice de compacidad.

Clase	Rango	Descripción
K _{c1}	1 – 1.25	Forma casi redonda a oval
K _{c2}	1.25 – 1.5	Forma oval
K _{c3}	> 1.5	Forma oval – oblonga a rectangular

f) Factor de Forma (K_f)

También propuesto por Gravelius, el factor de forma es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado de la longitud de la cuenca (L). Se obtiene con la siguiente ecuación y su clasificación se detalla en la **tabla 3**.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Tabla 3-15: Clasificación del factor de forma.

K_f	Característica
<1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
>2	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

g) Tiempo de Concentración

Es el tiempo que tarda una gota de agua lluvia desde el extremo más alejado de la cuenca a la sección de salida [25]. Para realizar la estimación del tiempo de concentración se recomienda el uso de varias ecuaciones empíricas, por lo cual se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes. El T_c se calcula mediante las siguientes ecuaciones. En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración T_c de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo [25,26].

- **Fórmula de Kirpich**

Se utiliza en cuencas de tamaño medio, con pendiente considerable y con suelos dedicados a la agricultura.

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S_o}} \right)^{0.72} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

L: Longitud del cauce principal de la cuenca [m]

S_o: pendiente media de la cuenca (diferencia entre las elevaciones extremas de la cuenca en metros, dividida para L)

- **Fórmula de California**

Es utilizada para cuencas pequeñas y con territorio agrícola, además es muy utilizada en la aplicación del método racional.

$$T_c = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

L: longitud del cauce más largo [km]

H: desnivel máximo de la cuenca [m]

h) **Parámetros De Relieve**

- **Altura y Elevación**

El movimiento de agua a lo largo de una cuenca constituye uno de los parámetros más importantes de la oferta hídrica. Esto condiciona el comportamiento de otras variables como el clima, la biota, el tipo y uso del suelo en un territorio. La altura y elevación determinan la hidráulica en una cuenca. Existen varios elementos importantes para el estudio de cuencas hidrográficas derivados de la elevación. Los principales elementos a destacar según son los siguientes [27]:

- Cota mayor de la cuenca (CM): es la altura mayor de la cuenca donde se encuentra la divisoria de aguas (msnm).
- Cota menor de la cuenca (Cm): es la cota sobre la cual se establece la salida o entrega de aguas a un cauce mayor (msnm).
- Elevación promedio del relieve: se refiere a la elevación promedio de la cuenca con respecto al nivel del mar.
- Histograma de frecuencias altimétricas: Corresponde al cálculo del histograma de frecuencias de las elevaciones de la cuenca.

- **Pendiente**

La pendiente es muy importante en el estudio de las cuencas hidrográficas, debido a que influye en los tiempos de concentración de las aguas en un punto determinado del cauce. La pendiente media de la cuenca (S) es el valor medio de la inclinación del terreno con respecto a la horizontal.

2.2.2. Transporte de Sedimentos

El proceso de transporte de sedimentos en los ríos es un proceso continuo en la naturaleza, el cual consiste en el movimiento de partículas de diferentes tamaños [14]. Los sedimentos, son el material que se produce por la erosión del suelo, la roca de los cauces y cuencas. Estos son transportados a través del flujo de una corriente cuando el esfuerzo cortante promedio sobre el fondo del cauce es mayor al esfuerzo crítico tractivo del material de fondo [28]. Los cursos de agua llevan a cabo la labor de transportar de forma selectiva y aplican a cada tipo de partícula una modalidad específica de desplazamiento [29]. Los ríos al igual que los flujos de baja densidad seleccionan las partículas que están a su alcance y la desplazan a través del impulso mecánico generado por la escorrentía y turbulencia de las aguas [30]. Los ríos transportan los sedimentos de dos maneras: rodando, saltando o deslizándose y siempre en contacto con el lecho del cauce. Para los sedimentos en suspensión, el peso de las partículas es soportado por las fuerzas de turbulencia en el agua y las partículas pueden desplazarse en grandes distancias sin tener contacto con el fondo del río [31].

2.2.3. Erosión

La erosión del suelo implica la remoción y el transporte del material que forma las capas superiores del suelo, sin importar cuál sea la causa: agua, viento, hielo y también por acción humana, etc [32]. Cuando este proceso se da por acción del agua puede ocurrir por dos formas: lluvia o escorrentía, que en su contacto con el suelo (el primero con impacto, el segundo con tracción) vence la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) para producir el proceso de erosión del suelo [33]. Los procesos de erosión y sedimentación han venido cambiando el paisaje desde siempre. En la actualidad este proceso de erosión es capaz de provocar problemas ambientales e ingenieriles [34]. El sedimento es el producto final de la erosión o deterioro de la superficie terrestre bajo la acción del agua, el viento, el hielo y la gravedad. El material total se denomina erosión bruta, sin embargo, no todos los materiales erosionados ingresan al sistema fluvial. La

parte del material erosionado que se transporta a través del sistema hídrico se denomina sedimento producido [35].

2.2.4. Evolución en el Tiempo del Transporte de Sedimentos

El transporte de sedimentos es de gran interés en la hidrología fluvial ya que su estudio permite resolver interrogantes ambientales y de ingeniería [36]. El flujo de agua en un río define el transporte de los sedimentos, pero la forma en que se produce, las condiciones de inicio y fin del movimiento, dependen de las propiedades de los sedimentos [37]. Dependiendo del ciclo de movilización, el agente pierde capacidad de transporte a medida que aumenta la distancia desde el punto de origen, dando paso así al proceso de sedimentación, el cual está influenciado por el tipo y la cantidad de carga que transporte [38]. Esta pérdida de energía del agente de transporte crea una distribución de clasificación horizontal y las partículas más finas alcanzan las áreas distantes desde el origen [39]. Según [10], existen diversos mecanismos para que se del transporte de sedimentos a lo largo de un río: tracción, saltación, suspensión, flotación y solución.

La flora y fauna son factores que influyen en el transporte de sedimentos. Las plantas, en especial las raíces actúan como barreras que disminuyen la velocidad de las corrientes, disminuyendo así el transporte de sedimentos [39]. Por su parte los animales influyen en el transporte de sedimentos de dos maneras: aumentando la disponibilidad de sedimentos por la erosión que producen y generando sustancias aglutinantes que convierten a los materiales consolidados en cohesivos, generando un aumento en el tamaño de las partículas demandando así más energía para su transporte [40].

2.2.5. Principio del Inicio del Movimiento

El principio de movimiento es importante para el estudio del transporte de sedimentos y así identificar la degradación de un cauce y el diseño de estabilidad de bancos. Debido a la naturaleza aleatoria del movimiento de sedimentos a lo largo del curso del río, es difícil determinar exactamente bajo qué condiciones de flujo la partícula iniciará el movimiento [35]. El movimiento de una partícula es el resultado de la interacción de dos fuerzas opuestas: la fuerza aplicada (fuerza real) y la fuerza opuesta (resistencia). El primero se debe a la hidrodinámica del flujo y el segundo está relacionado con el peso sumergido [28]. En la **figura 3** se muestra el diagrama donde describe las fuerzas que actúan en una partícula esférica en el lecho del cauce. Las fuerzas que se consideran

son la de arrastre F_D , la normal al flujo F_L , peso sumergido W_s y la de resistencia F_R . La partícula de sedimento está en el principio de movimiento cuando unas de las siguientes condiciones se cumplen [35].

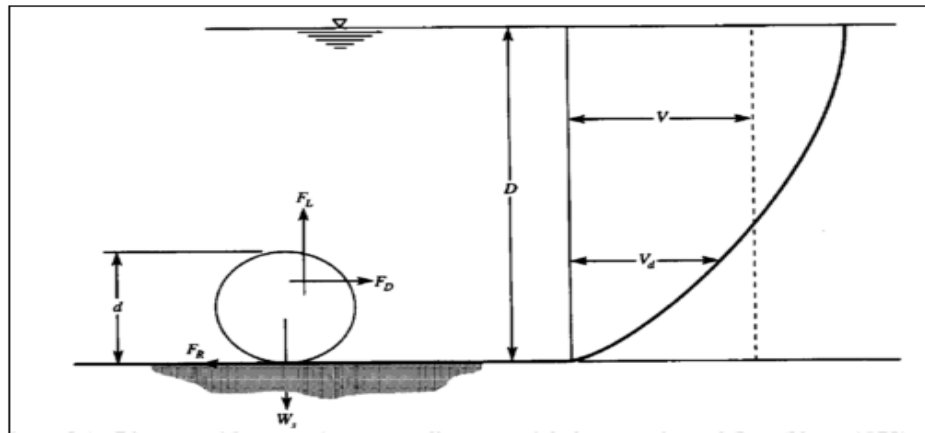


Figura 3-10: Diagrama de fuerzas actuando en una partícula de sedimento.
Fuente: (Yang et al., 2006).

$$F_L = W_s$$

$$F_D = F_R$$

$$M_0 = M_R$$

Donde:

M_0 : momento generado por F_D y F_L

M_R : momento de resistencia debido a F_L y W_s

2.2.6. Propiedades Físicas Del Sedimento

Las propiedades de los sedimentos se pueden clasificar en individuales y en conjunto [30]. Las cuales se refieren a las presentes en una muestra representativa del material en suspensión o en fondo.

Propiedades Individuales

- **Tamaño**

Es la propiedad más utilizada al momento de clasificar el material arrastrado en un cauce. Se lo puede determinar de varias formas; diámetro nominal se refiere

al diámetro de una esfera con el mismo volumen que una partícula generalmente medida por el volumen desplazado por la misma partícula, diámetro de cribado es la abertura más pequeña de la malla por la cual pasa la partícula, diámetro de caída es el diámetro de una esfera con densidad relativa de 2.65 y que tiene la misma velocidad de caída de la partícula cuando ambas se precipitan en agua destilada a 24°C [34]. El tamaño de las partículas se puede utilizar como indicador de energía. Las partículas finas a menudo predominan en condiciones de baja energía cerca de las riberas de los ríos, llanuras aluviales o en las cuencas reguladas. Las partículas gruesas se encuentran en condiciones de alta energía en los canales más profundos y estuarios [41].

- **Forma**

Describe el aspecto de las partículas, independientemente de su tamaño, densidad o composición. La forma influye en el movimiento de las partículas cuando caen o se desplazan dentro de un fluido [41]. En general, la forma y la esfericidad de los sedimentos reflejan su composición y cualquier plano de debilidad, mientras que su redondez refleja el grado de retrabajo o transporte.

- **Velocidad de caída**

Se define como la velocidad máxima de una partícula cuando cae en el agua: se alcanza cuando el peso sumergido de la partícula se equilibra con la repulsión del agua, también conocida como velocidad terminal [28]. La velocidad de las partículas se puede determinar mediante dos condiciones. El primero, como una bola que cae en un líquido estable, y el segundo, como partículas no esféricas [41].

Propiedades en conjunto

- **Densidad y Porosidad**

La densidad de los constituyentes sólidos es función directa de la calidad y cantidad de las partículas sólidas que constituyen a la masa sedimentaria [30]. La porosidad de un sedimento es la relación entre el volumen de espacios intersticiales y el volumen total de la muestra sedimentaria [42].

- **Distribución Granulométrica**

Los lechos de los ríos pueden ser granulares o cohesivos [43]. Para los ríos con lechos granulares el constituido por partículas sueltas de distintos tamaños [44]. Para poder caracterizar todos los tamaños es necesario la aplicación de métodos estadísticos como una curva granulométrica. La curva granulométrica se obtiene midiendo la distribución de tamaños de las partículas en una muestra representativa [28]. El procedimiento para obtener la distribución granulométrica consiste en tamizar la muestra de suelo a través de una serie de mallas y pesar la cantidad de suelo retenido en cada malla [45].

2.2.7. Aforo Líquido

El caudal está expresado en unidad de volumen por unidad de tiempo, es la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal en un tiempo determinado. El caudal en un momento dado se puede medir mediante varios métodos diferentes, y la sección seleccionada depende de las condiciones existentes en el cauce [46].

En el Manual de Operaciones Hidrométricas del INAMHI se especifica la metodología a usar para la medición de caudales. En las diferentes estaciones en las cuales se ha definido previamente las secciones para realizar las mediciones, la cual se puede realizar por vadeo o desde tarabita [47]. Estas mediciones se realizan usando el molinete como equipo principal para determinar las velocidades en diferentes puntos de la sección a medir las cuales son definidas en función del ancho del río. Los datos periódicos de nivel de agua o altitud de la lámina son registrados por la estación de aforo los cuales siempre se refieren a la escala citada, sin importar cuán complejo sea su sistema de medición. A partir de los niveles alcanzados por el agua durante la medición, al aforar se obtendrá el caudal.

2.2.8. Aforo de Sedimentos

Los procesos que regulan el transporte de sedimentos son complejos, como tales, las observaciones precisas del transporte de sedimentos son esenciales para lograr una comprensión correcta del proceso del transporte de sedimentos [48]. En el plan de muestreo en suspensión, es necesario tener en cuenta la varianza de la sección transversal y la anomalía del fenómeno de transporte en todo el año y los años posteriores al estudio, y así determinar la frecuencia de muestreo. Para obtener una

representación de la sección, es necesario dividir la sección en verticales según la forma de la sección, o en las proporciones recomendadas por la norma [46].

Los sedimentos en suspensión que se mueven libremente por acción de la cadena, la categoría que evalúa la resistencia e interferencia intergranular, es una de las teorías más complejas. Estos métodos de derivación también son adecuados para el tipo de obtención de grandeza a obtener, tanto en medida directa como indirecta [49]. En las técnicas directas, para realizar el aforo del transporte de sedimentos tenemos el uso de trampas de fondo, la colocación de baldes y el uso de Halley-Smith. Estos métodos producen información grande pero espacialmente limitada porque se toma en un punto del río y se extrapola a lo largo de la sección transversal [30]. Mientras que para los métodos indirectos tenemos el uso de perfiladores acústicos (ADCP), los cuales emplean el efecto Doppler para cuantificar el movimiento de las partículas en una columna de agua [50]. La cantidad de sedimento presente en el flujo puede ser medida a partir de muestras representativas de agua mezclada con sedimento, estas muestras se clasifican en tres tipos de acuerdo a la concentración que se desee obtener [34].

- **Muestreo Instantáneo**

Las muestras se pueden tomar usando un tubo cilíndrico, el cual se cierra simultáneamente por ambas partes, y también se puede usar recipientes en la superficie [30].

- **Muestreo Puntual**

Para llevar a cabo los muestreos puntuales se puede recurrir a recipientes para tomar muestras, los cuales serán abiertos en la profundidad deseada. El observatorio HYBAM recomienda tomar como mínimo 5 muestras a una distancia equitativa sobre la vertical, de este modo se obtendrá una correcta representación del gradiente vertical [51].

- **Muestreo por Integración**

En este muestreo se obtiene una muestra única que agrupa pequeñas submuestras tomadas en los diferentes puntos. El muestreador se mueve verticalmente a velocidad constante con una boquilla apuntando en dirección

contraria al flujo, de tal forma la velocidad de la muestra tomada es igual a la velocidad natural de la corriente en cada punto [34].

2.2.9. Gasto Sólido en Suspensión

Los sedimentos suspendidos son partículas finas que se colocan en suspensión cuando el cambio en la velocidad del flujo turbulento es lo suficientemente estable como para mantener las partículas dentro del líquido fuera de contacto con el fondo [34]. Gracias a este proceso, se pueden transportar grandes cantidades de sedimentos a grandes distancias, incluso hasta llegar a la desembocadura de la cuenca, debido a que el peso de las partículas es tan bajo, el movimiento no se detiene a menos que la turbulencia se reduzca significativamente como efecto de la disminución de la velocidad de la corriente [29]. La cantidad de sedimento suspendido en la corriente se puede medir a partir de muestras representativas de agua que contienen sedimentos. La muestra se divide en 3 categorías según el tipo de concentración que desee obtener [34]. Para ello se tomaron muestras de agua a diferentes profundidades y puntos de la sección de aforo, estas muestras son transportadas al LANCAS donde se realiza el proceso de filtrado y secado donde para obtener la concentración total de sedimentos.

2.2.10. Gasto Sólido en Función del Gasto Líquido

La relación entre el transporte de sedimentos (gasto sólido) y el caudal líquido (gasto líquido) puede ser representada mediante una función potencial [52].

$$Q_{sólido} = \alpha * Q_{líquido}^{\beta} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$Q_{sólido}$: transporte de sedimento (gasto sólido)

$Q_{líquido}$: caudal líquido (gasto líquido)

α y β : constantes de la ecuación

Cuando el exponente de la ecuación β es igual a 1.0 la concentración se mantiene constante. Sin embargo, son posibles tres tipos de desviaciones.

- $\beta > 1$, indica que las concentraciones crecen cuando las descargas se incrementan, a esto se le denomina efecto purga.

- $\beta > 0$ y < 1 , indica que la concentración disminuye cuando las descargas aumentan, pero la proporción es más lenta que el incremento de la descarga, a esto se le denomina efecto dilución.
- $\beta < 0$, indica que las concentraciones disminuyen con rapidez a medida que aumenta la descarga, entonces el transporte declina cuando las descargas incrementan, a esto se le denomina efecto conservación.

2.2.11. Software Hydraccess

HYDRACCESS fue desarrollado en el año 2000 por el ingeniero Hidrólogo del IRD (Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo) Philippe Vauchel [53]. Desde su creación se ha venido perfeccionando con la finalidad de tener una herramienta que permita integrar, adecuar y adaptar a las necesidades de la hidrología. HYDRACCESS le permite importar y almacenar diferentes tipos de datos hidrológicos en una base de datos de Microsoft Access y realizar todos los procedimientos hidrológicos básicos [54]. El software nos permite analizar gran variedad de información hidrométrica como:

- Características de las estaciones hidrológicas (ubicación, río, administrador, cuenca, inventario de datos disponibles, etc.)
- Calcular datos diarios, mensuales, anuales a partir de datos instantáneos (método de trapecios)
- Permite el análisis estadístico
- Relleno de datos
- Interpolación
- Generación de curvas IDF
- Exportar información a archivos SIG
- Manejo adecuado de series cronológicas
- Permite realizar la calibración de caudales
- Genera información del historial de las estaciones
- Exportar a Excel los aforos, a partir de caudales y realizar curvas de calibración.
- Utilizar curvas de calibración para interpretar las cotas en caudales.

Finalmente, HYDRACCESS presenta utilidades que nos facilitan el análisis de información de caudales líquidos y sólidos.

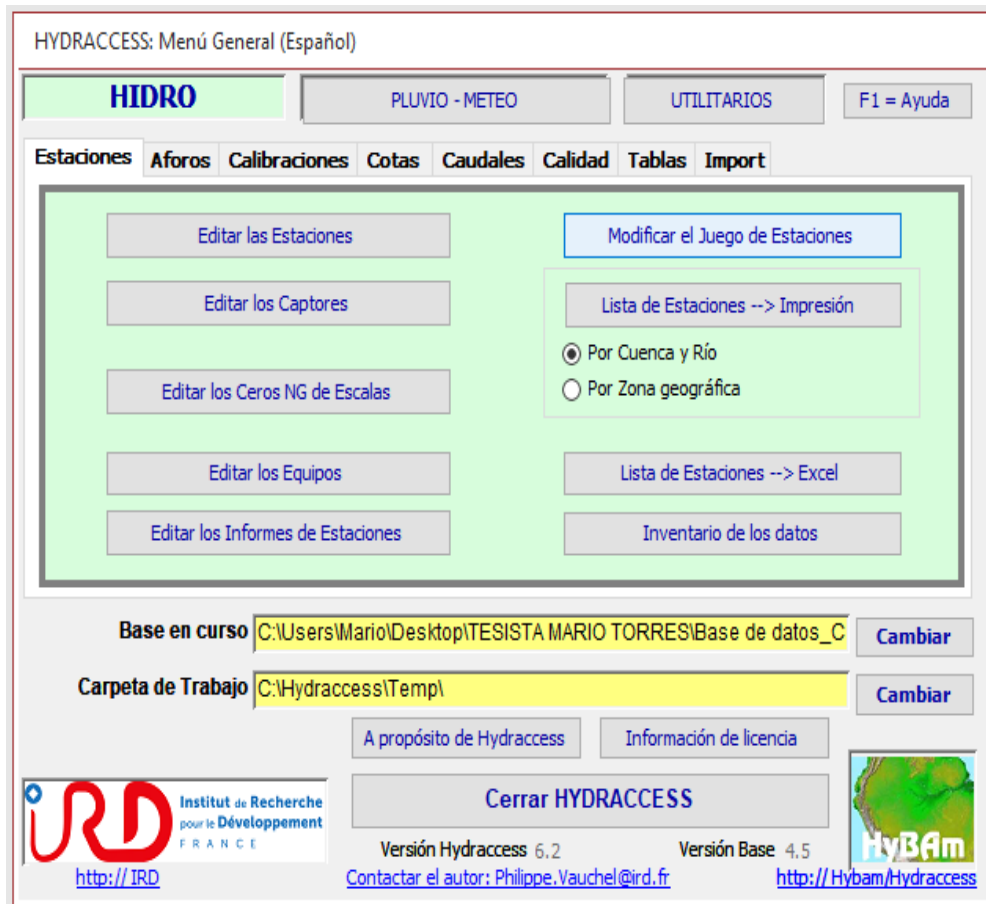


Figura 4-10: Software Hydraccess 6.2.

2.2.12. Estimación De La Erosión En Cuenca

La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (RUSLE), fue desarrollada para estimar la tasa anual de erosión de suelo en diferentes zonas (parcelas de cultivo, obras de construcción, etc) [55]. En este modelo involucra a la erosión en forma de lámina (interrill) y surcos (rill) pero excluye a la erosión en cárcavas y redes de drenaje. El modelo RUSLE constituye una revisión realizada por Renard et al. (1997) al modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) desarrollado por Wischmeier y Smith (1978). El resultado obtenido de la aplicación del modelo se la denomina tasa de pérdida de suelo anual (A [Ton/ha/h]), la cual está expresada en función de la erodabilidad del suelo (Factor K [Ton/ha por unidad de R]), erosión ocasionada por la lluvia (Factor R [MJ*mm/ha*h]), de la inclinación y longitud de la pendiente (Factor L y S [adimensionales]), de la cobertura del suelo (Factor C) y finalmente de las prácticas de manejo del terreno (Factor P) [55]. De esta forma se describe la ecuación final RUSLE.

$$A = K * R * L * S * C * P \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.3. Materiales

Para llevar a cabo la investigación se recurrió a datos históricos y además se realizaron monitoreos in situ para obtención de muestras y medición de caudales, por ello se realizó trabajo en campo y en laboratorio.

2.3.1. Materiales de Campo

El trabajo de campo consistió en tomar muestras de sedimentos para luego transportarlos al laboratorio, para ello se requirió los siguientes materiales:

- Muestreador metálico \emptyset mayor 15 cm, \emptyset menor 5 cm, h= 12 cm o balde dependiendo de las características de la estación.
- Cuerda (20-30 m)
- Cinta métrica (20-30 m)
- Reglas limnimétricas en el sitio.
- Frascos plásticos para muestra de agua. (cap. 500 ml.)
- Frascos plásticos para muestra de agua. (cap. 100 ml.)
- Etiquetas adhesivas para datos de identificación de las muestras.

2.3.2. Materiales de Laboratorio

Por su parte el trabajo en laboratorio consistió en analizar las muestras de sedimentos obtenidos en campo mediante un proceso de filtración. Los trabajos de laboratorio fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Calidad de Agua y Sedimentos (LANCAS), en cual se hizo uso de los siguientes materiales:

- Rampa de filtración
- Bomba de aire tipo N145AN 18 (presión de vacío 100 psi)
- Estufa (T = 105 °C)
- Desecador
- Balanza (Ap = +- 0.0001 g.)
- Probeta de 500 ml.
- Pinza para filtros
- Filtro de acetato-celulosa (\emptyset = 45 μ m)
- Vidrio reloj (\emptyset = 7 cm)
- Caja porta filtros (\emptyset = 6 mm)

- Etiquetas adhesivas para identificación
- Frascos plásticos para muestras

2.3.3. Materiales de Análisis de Información

Finalmente se realizó el análisis de información, creación de bases de datos, cálculo de gastos y estimación de pérdida de suelo, para lo cual se necesitó lo siguiente:

- Laptop – DELL Inspiron 15 500 series Windows 10 – core i7 7th Generation
- Software Hydraccess 6.2

2.4. Metodología

Esta investigación se dividió en dos etapas para estimar la carga sedimentaria en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba. A continuación, en la **figura 5** se muestra un esquema descriptivo y secuencial de la metodología empleada. En la cual se detalla el proceso para la medición de los caudales y obtener la carga sedimentaria en los cauces de la cuenca. Además, se detalla la metodología para calcular la pérdida de suelo en la cuenca e identificar los sitios más afectados, mediante la aplicación del método RUSLE. Finalmente, se realizará una comparación de los resultados obtenidos en cada uno de los procesos efectuados, para estimar el porcentaje de sedimento erosionado en la cuenca que llega a los cauces. Aplicando estos dos métodos se pretende implementar una metodología que pueda ser aplicada en cuencas hidrográficas que cuenten con los instrumentos de medición hidrología.

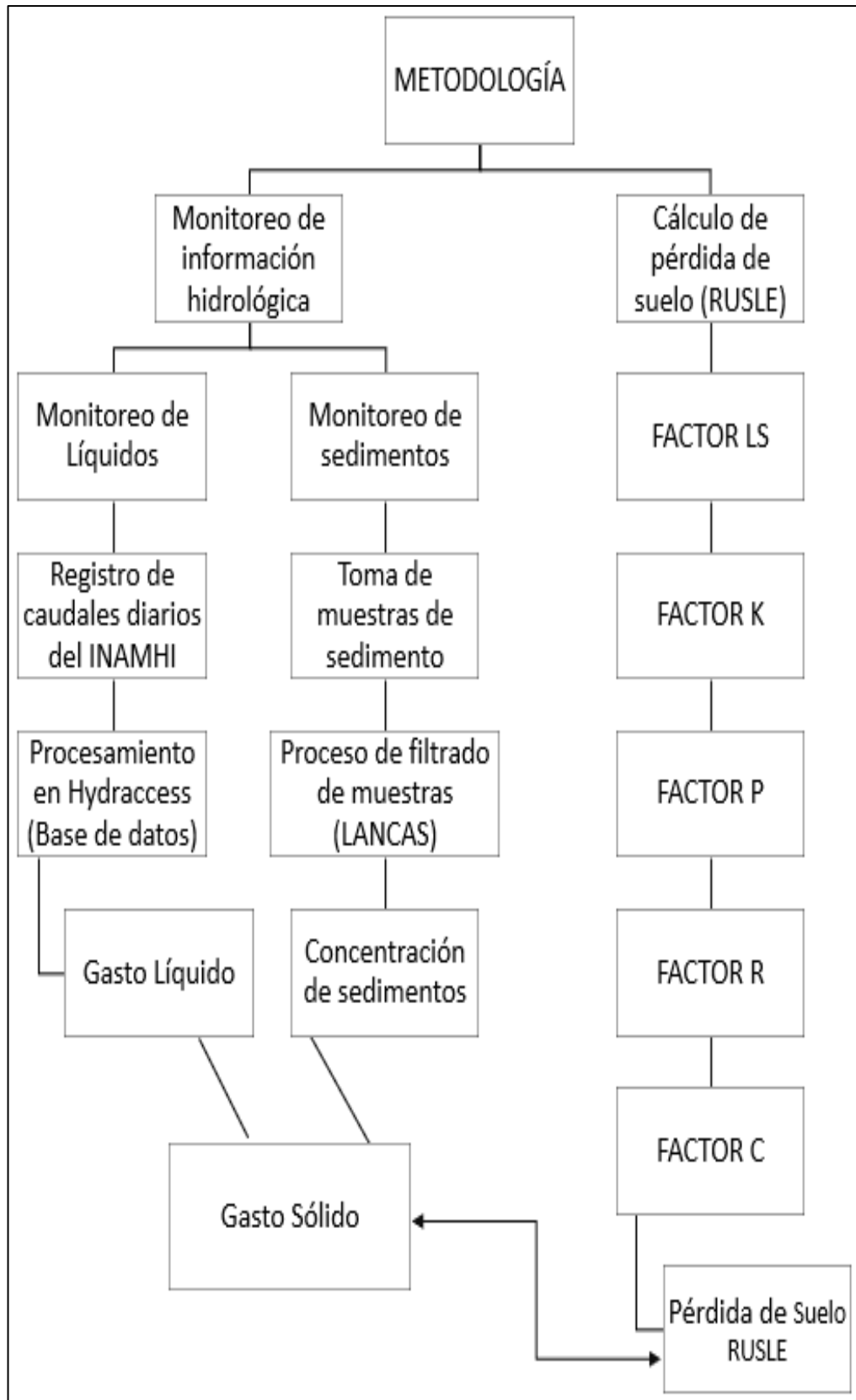


Figura 5-10: Esquema detallado de la metodología aplicada en la investigación.
Realizado por: Torres, Mario, 2022

2.4.1. Monitoreo de Caudal Líquido

Para esta investigación se utilizó como base los datos hidrométricos de las estaciones del INAMHI ubicadas en la cuenca del río Guayllabamba. Esta base de datos contiene registros de caudales, cotas instantáneas y diarias del nivel del agua en las estaciones Alambi en Churupamba (H0136), Guayllabamba DJ Alambi (H0146), Guayllabamba DJ Pisque (H0148), Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149), Intag DJ Pamplona (H0150), y Guayllabamba AJ Blanco (H0170). Esta serie de datos está conformada por los registros históricos registrados en cada una de las estaciones antes mencionadas cuyos periodos de registro se detalla en la **tabla 4**, además, se realizó un tratamiento y relleno de datos mediante la aplicación del método de regresión lineal.

Adicional a los datos de caudal, los técnicos del INAMHI realizaron dos campañas de monitoreo donde midieron el caudal líquido en cada estación hidrológica. La primera campaña se realizó en noviembre y diciembre del 2020 y la segunda en marzo del 2021. Para las mediciones en campo se sigue el protocolo del INAMHI en su Manual Práctico de Operaciones Hidrométricas [47]. Las mediciones de caudal se realizaron usando un molinete con equipos de aforo con encallados de 25 y 50 Kg, torno, riel, mientras que el acceso se lo realizó con la ayuda de una tarabita. Finalmente, los datos obtenidos en las mediciones en campo y los datos históricos registrados fueron procesados mediante con el Software Hydraccess y posteriormente se construyeron las curvas de descarga.

2.4.2. Monitoreo de Caudal Sólido

El material en suspensión (MES) es la fracción de sólidos presentes en un flujo de agua y que pueden ser separados mediante un proceso de filtración. La concentración de sólidos en suspensión en el lecho del río está estrechamente relacionada con la tasa de flujo y la entrada de sedimentos transportados por la escorrentía en las pendientes pronunciadas de la cuenca [56]. Para esta investigación se realizó el filtrado de sedimentos usando un filtro de celulosa de 45 μm . Una vez realizada el proceso de filtrado y secado de las muestras se procede a calcular la concentración de sedimentos (sólido en suspensión MES) mediante la ecuación del MES:

$$MES \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{B - A}{Vol. de muestra filtrada} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

A= Peso del filtro limpio (antes de filtrar).

B= Peso del filtro con muestra (después de la filtración).

El procedimiento adoptado fue el recomendado por el INAMHI en su Manual Práctico de Operaciones Hidrométricas [47]. Durante el muestreo, una de las prioridades fue no modificar las características originales de la muestra, también se realizaron una serie de mediciones de parámetros físico-químicos como: pH, temperatura y conductividad eléctrica, además de tomar muestras para determinar concentraciones de los sedimentos de la zona de la parte alta del río Guayllabamba. La recolección de muestras se llevó a cabo en las siguientes estaciones hidrológicas del INAMHI; Alambi en Churupamba (H0136), Guayllabamba DJ Alambi (H0146), Guayllabamba DJ Pisque (H0148), Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149), Intag DJ Pamplona (H0150) y Guayllabamba AJ Blanco (H0170).

Finalmente, una vez obtenidas las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Calidad de Agua y Sedimentos (LANCAS) perteneciente al INAMHI. En el laboratorio se llevó a cabo el proceso de filtrado y pesaje de los sedimentos por parte de los técnicos del laboratorio. Con los datos se realizó el cálculo del gasto sólido mediante la ecuación, la cual establece que el gasto sólido como una función del gasto líquido. Esta relación (**ecuación 8**) puede hacerse, por ejemplo, para valores diarios, mensuales, anuales, estacionales, etc.

$$t_s = \sum_{h=a}^{h=y} C_h V_h \Delta h \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

C: la concentración de sedimentos obtenido del filtrado

V: velocidad del flujo en la sección

h: la altura del flujo

a: fondo del cauce

y: superficie del cauce

2.4.3. Técnicas De Relleno De Datos

Los datos históricos de caudal líquido y concentración de sedimentos obtenidos presentaban vacíos los cuales fueron rellenos por los técnicos del INAMHI mediante el método de regresión lineal simple y múltiple. El análisis de regresión permite desarrollar ecuaciones matemáticas de estimación, para representar la relación entre la variable independiente que es la que proporciona datos para el cálculo, denotada con la letra X; y la variable dependiente que es la que se calcula, denotada por la letra Y [24]. La regresión lineal múltiple pretende realizar un ajuste de modelos lineales o linealizables entre una variable dependiente y varias variables independientes. El análisis de Regresión Lineal Múltiple nos permite establecer una relación entre una variable dependiente Y, y un conjunto de variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_n). Este modelo de regresión lineal múltiple es similar al modelo de regresión lineal simple, con la diferencia de que aquí aparecen más variables explicativas [57,58]. En este tipo de modelos es importante testar la heterocedasticidad, la multicolinealidad y la especificación [57,59]. Para ello se empleó los datos existentes de estaciones presentes en el mismo río.

2.4.4. Descripción De Los Datos

Los datos usados para esta investigación (caudal líquido y concentración de sedimentos), con los cuales se calculó el gasto sólido, provienen de los registros históricos de las estaciones hidrométricas del INAMHI presentes en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba. Además, se complementa con datos tomados en salidas de campo a las mismas estaciones en los meses de noviembre y diciembre del 2020 y marzo del 2021. Los datos de caudal líquido y concentración de sedimentos corresponden a las estaciones: Alambi en Churupamba (H0136) en los periodos comprendidos entre 1976 – 2021, Guayllabamba DJ Alambi (H0146) periodo 1971 – 2021, Guayllabamba DJ Pisque (H0148) periodo 1978 – 2021, Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) periodo 1978 – 2021, Intag DJ Pamplona (H0150) periodo 1976 – 2021 y Guayllabamba AJ Blanco (H0170) periodo 1978 – 2021, las cuales se describen en la **tabla 4**. Para lo cual se trabajará con las series de datos obtenidos en los periodos antes especificados en cada estación, donde se obtendrá las curvas de gastos de cada estación por separado, ya que no se presenta un periodo de datos común para todas las estaciones.

Tabla 4-15: Estaciones hidrológicas del INAMHI dentro de la cuenca.

Código	Nombre	Periodo de Registro	Latitud	Longitud	Altura [msnm]
H0136	Alambi en Churupamba	1976 - 2021	757856,88	16461,03	1069
H0146	Guayllabamba DJ Alambi	1971 - 2021	750988,18	26025,55	679
H0148	Guayllabamba DJ Pisque	1978 - 2021	788765,14	922,04	1742
H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	1978 - 2021	762589,64	19605,11	917
H0150	Intag DJ Pamplona	1976 - 2021	764352,4	24122,55	906
H0170	Guayllabamba AJ Blanco	1978 - 2021	678487,94	48124,12	90

Realizado por: Torres, Mario, 2022

2.4.5. Cálculo de Curvas y Correlación de Datos de Caudales Líquido y Sólido

El cálculo de curvas y la correlación de los datos se trabajó con Hydraccess para ellos se realizó una correlación de los datos de caudal líquido medido y gasto sólido calculado. Con estos datos se obtiene la curva de gasto sólido en función del gasto líquido. El software permite realizar la calibración de las curvas para cada estación de la base de datos, de esta manera Hydraccess facilita la operación y obtención del resultado buscado y así determinar la carga sedimentaria presente en la cuenca. Una vez obtenidas las bases de datos de cada estación, se procedió a exportar en tablas de formato Excel para posteriormente realizar gráficas de tendencia.

2.4.6. Cálculo de Pérdida del Suelo Mediante la Metodología RUSLE

Para realizar el cálculo de la pérdida de suelo en la cuenca del río Guayllabamba aplicando en modelo RUSLE, se requiere de información previa para estimar cada uno de los factores necesarios, los cuales se detallan en la **tabla 5**. El proceso se realizó mediante el uso de herramientas SIG.

Tabla 5-15: Información requerida para desarrollar el RUSLE

Factor	Información requerida	Fuente
	Shape de uso y cobertura del suelo	
C	Valores de factor C para diferente cobertura	Universidad del Azuay
	Shape de la cuenca del río Guayllabamba	
K	Mapa digital del suelo del mundo DSMW	FAO
R	Datos Climáticos (precipitación)	INAMHI (anuarios meteorológicos)
LS	Modelo Digital de Elevacion: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Escala 90x90 del año 2002	The National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Realizado por: Torres, Mario, 2022

A continuación, se detalla las ecuaciones y el proceso efectuado para determinar cada uno de los factores requeridos.

2.4.7. Factor de Erodabilidad del Suelo (Factor K)

El factor de erodabilidad está en función de las propiedades y características de suelos. La Organización de Naciones Unidas para el alimento y agricultura FAO, dispone de una base datos que contiene información sobre los suelos del mundo en formato (*.shp). Para esta investigación, es necesario extraer por corte (clip) la zona de estudio de la cuenca río Guayllabamba, con herramientas SIG. Para luego calcular el factor K, que está en función del contenido de arena, limo, arcilla y carbono orgánico en los suelos aplicando la metodología propuesta por Sharpley-Willians (1990) [60].

$$K = 0,1317 * f_{csand} * f_{cl-si} * f_{org} * f_{hisand} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$f_{esand} = \left(0,2 + 0,3 \exp \left[1 - \frac{m_{silt}}{100}\right]\right) \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}}\right)^{0,3} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$f_{org} = \left[1 - \frac{0,25orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95orgC]}\right] \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0,70 \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100}\right) + \exp \exp \left[-5,51 + 22,9 \left(1 - \frac{m_s}{100}\right)\right]}\right] \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

fcsand: Contenido de arena.

fcl-si: Contenido de limo – arcilla.

forg: Contenido de carbono orgánico.

fhisand: Parámetro relacionado con el contenido de arena.

Para los cálculos del coeficiente que corresponde a cada tipo de suelo que se encuentra dentro de la cuenca del río Guayllabamba, se debe explorar los atributos del mapa de

suelos del mundo DSMW. De esta manera se determina porcentajes de arena, limo-arcilla y materia orgánica y valores de K.

2.4.8. Factor de Erosionabilidad de la Lluvia (Factor R)

Indica cuál es el impacto que ejerce la lluvia sobre el suelo para que este sea erosionado [61]. Para este cálculo es necesario determinar el Índice Modificado de Fournier. En el cual, se considera el mes más lluvioso para cualquier año en la serie de tiempo que se dispone, este proceso debe ser aplicado para cada estación [62].

Método del índice modificado de Fournier

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde

IFM: índice modificado de Fournier.

P_i: Precipitación mensual del mes i (mm) de enero a diciembre.

P: Precipitación anual (mm).

Una vez que se obtuvo cuantitativamente el valor de R, se obtiene mediante interpolación en SIG, y así generar isolíneas R con base en la precipitación de las estaciones ubicadas dentro y fuera del cerco de la cuenca hidrográfica.

2.4.9. Factor Topográfico (Factor LS)

Se estima por separado L (longitudes que se forman en los cauces por donde pasa el flujo) y S (Pendientes), para luego multiplicar y tener el factor en función de la topografía del terreno [63]. La determinación del factor LS está en función de dos elementos morfométricos de la cuenca. El factor LS, es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ, entonces, se hace referencia al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos que están expuestos a la erosión laminar [64]. Para esta investigación se aplica la metodología propuesta por los autores Bolton (1995) y Renard (1997).

$$\lambda = \left(\frac{A_{acum.tif}}{3,1416} \right)^{0,5} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$F = \frac{\frac{\text{Sen}(\beta)}{0.0896}}{3 * (\text{Sen}(\beta))^{0,8} + 0,56} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$S = 10,8 * \text{Sen}(\theta) + 0,3; \text{ para } S < 9\% \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$S = 16,8 * \text{Sen}(\theta) - 0,5; \text{ para } S \geq 9\% \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m * S \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

L: Factor de la longitud de la pendiente.

λ : Longitud uniforme del terreno (m).

m: Exponente (0.2-0.5), depende de la inclinación de la pendiente entre < 1 y >5%.

S: Subfactor de inclinación de la pendiente.

β : Ángulo de la pendiente en grados.

Cabe recalcar que el ráster de pendiente se lo tiene en grados, al momento de realizar las operaciones en SIG se debe realizar la conversión a radianes.

2.4.10. Factor de Cobertura del Suelo (Factor C)

La vegetación incide notablemente en la erosión. Por lo tanto, suelos descubiertos presentan mayor erosión en comparación con suelos con mayor porcentaje de cobertura vegetal. El factor de cultivo C es un índice del grado de cobertura y protección que presenta la vegetación, ese factor es constante para cultivos permanentes y variable para cultivos anuales [65]. A continuación, en la **tabla 6** se presenta un resumen de la cobertura vegetal por cultivo en la cuenca del río Guayllabamba, con su respectivo Factor C:

Tabla 6-15: Valores del Factor C para diferentes coberturas del suelo

Tipo de Cobertura	Valor del Factor C	Referencia
Arboricultura	0,0095	Rubio, et. al, 1984
Pastos plantados	0,005	Saborio, 2002
Área erosionada	1	Pacheco, et. al, 2014
Asentamiento Poblado	1	Pacheco, et. al, 2014
Banano	0,062	FAO, 1989
Bosque natural	0,0034	FAO, 1989
Bosque natural intervenido	0,0034	FAO, 1989
Café	0,09	FAO, 1989
Caña de azúcar	0,263	FAO, 1989
Cuerpos de agua	0,0001	Pacheco, et. al, 2014
Cultivo bajo invernadero	0,65	Marchamalo, 2007
Cultivo de ciclo corto	0,7	Saborio, 2002
Frutales	0,003	Lianes, 2009
Maíz	0,519	FAO, 1989
Nieve	1	Pacheco, et. al, 2014
Palma africana	0,3	Saborio, 2002
Paramo	0,0574	Pacheco, et. al, 2014
Paramo intervenido	0,15	Pacheco, et. al, 2014
Pastos naturales	0,008	FAO, 1989
Plantaciones forestales	0,0095	Rubio, et. al, 1984
Vegetación arbustiva	0,013	Wischmeier y Smith, 1978

Realizado por: Torres, Mario, 2022

2.4.11. Factor de Prácticas de Manejo (Factor P)

El factor P hace referencia a las actividades antropogénicas que se realizan sobre el suelo, es decir la reforestación, cultivos, arado de tierra, uso, etc. Existen ciertas prácticas que intensifican la erosión, mientras que, otras atenúan este efecto. Los valores que toma van entre 0 y 1, dependiendo de las actividades desarrolladas se debe esperar uno u otro efecto [66]. En numerosas ocasiones los estudios en los que se aplica la RUSLE no se considera este factor bien por falta de información disponible al respecto o por no existir prácticas de conservación en la zona de estudio. El factor P de programas para el manejo de la vegetación agrícola no se toma en consideración por la inexistencia de dichas prácticas. Para esta investigación al desconocer de prácticas de conservación del suelo en la zona de estudio se toma como valor para el factor P de 1 tomando como referencia los estudios de López y sus colaboradores (2017), el cual determina la erosión potencial de la cuenca del río Ambato y el estudio de Rosales (2020) en la cuenca del río Chota [67].

3. CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se presentan según el parámetro medido: caudal líquido, concentración de sedimentos, cálculo de gasto sólido, la relación entre el gasto sólido y gasto líquido y finalmente la estimación de pérdida de suelo para cada subcuenca de estudio.

3.1. Caudal Líquido

Los datos de caudal líquidos provienen de los registros diarios de 6 estaciones pertenecientes al INAMHI, se recolectó datos desde los años 70 (1971 - 1976 - 1978) hasta los más actuales de marzo del 2021. En la **tabla 7**, se resumen los datos de cada estación y la media de caudal líquido en [m³/s] presentada para cada una de las 6 estaciones, donde se detalla el río donde se realiza el aforo. Se observa que las estaciones presentan un caudal medio, donde el menor caudal es de 16,3 (m³/s) y el mayor es de 309,6762 (m³/s).

Tabla 7-15: Lista de estaciones hidrológicas, afluentes y media de caudal líquido

Código	Nombre	Río	Q medio [m ³ /s]
H0136	Alambi en Churupamba	Río Alambi	16,3
H0146	Guayllabamba DJ Alambi	Río Guayllabamba	112,9
H0148	Guayllabamba DJ Pisque	Río San Pedro	39,9
H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	Río Guayllabamba	50,8
H0150	Intag DJ Pamplona	Río Apuela	37,1
H0170	Guayllabamba AJ Blanco	Río Guayllabamba	309,7

Realizado por: Torres, Mario, 2022

3.2. Concentración De Sedimentos

Los datos de concentración de sedimentos medidos en las 6 estaciones hidrológicas del INAMHI, los cuales corresponden a los registros diarios cuyos registros históricos se presentan para los mismos años que los datos de caudal líquido. Se obtuvo la concentración de sedimentos después de obtener los resultados del filtrado, secado y pesado de sedimentos realizado en el LANCAS de cada una de las muestras recolectadas. En la **tabla 8**, se detallan los datos de las estaciones donde se realizaron los aforos y la media registrada de concentración de sólidos en cada uno de los puntos,

donde la menor concentración es de 0,26 (kg/m³), mientras que la mayor concentración es de 1,86 (kg/m³).

Tabla 8-15: Lista de estaciones hidrológicas y media de concentración de sólidos

Código	Nombre	Concentración [Kg/m ³]
H0136	Alambi en Churupamba	0,34
H0146	Guayllabamba DJ Alambi	1,55
H0148	Guayllabamba DJ Pisque	0,15
H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	1,86
H0150	Intag DJ Pamplona	0,26
H0170	Guayllabamba AJ Blanco	0,33

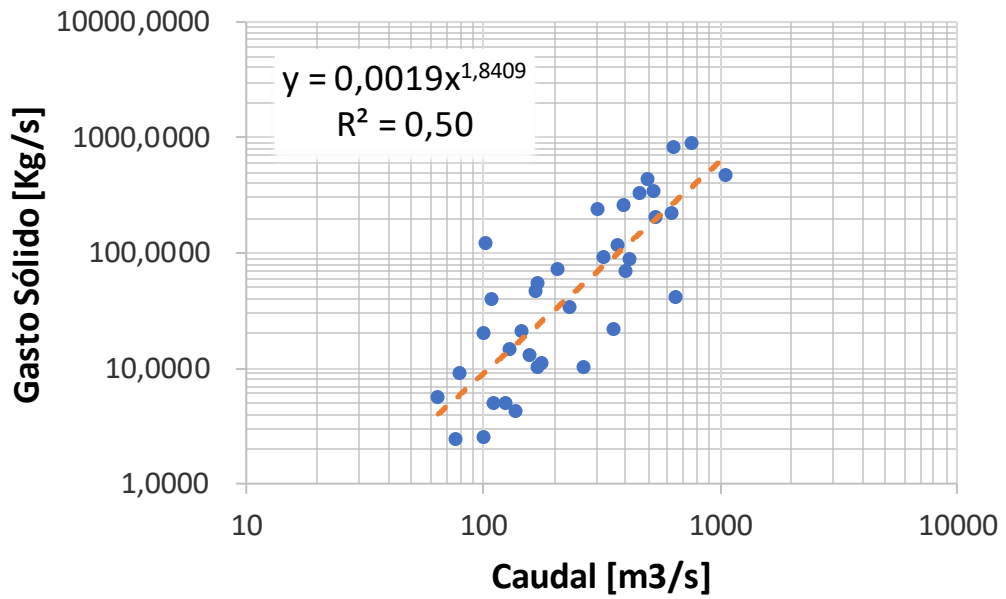
Realizado por: Torres, Mario, 2022

3.3. Curvas De Gasto Sólido En Función De Gasto Líquido

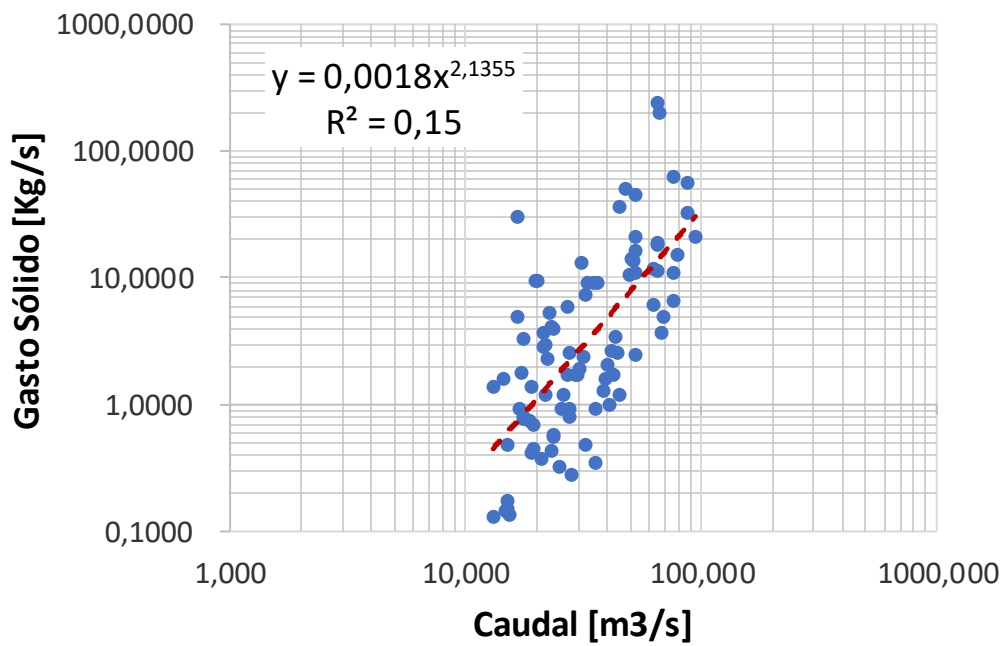
Con los datos de caudal líquido y caudal sólido, se obtiene la gráfica de la curva de gasto sólido en función del gasto líquido, por ende, podemos observar el coeficiente de correlación el cual permite observar el grado de correlación existente entre los gastos. De igual manera la ecuación del eje (y) tanto como del eje (x), nos permite calcular la carga sedimentaria presente en cada estación. Para esta investigación se contempla obtener las curvas mediante dos clasificaciones, una con todo el registro de datos obtenidos y la otra mediante una clasificación estacional para cada una de las 6 estaciones.

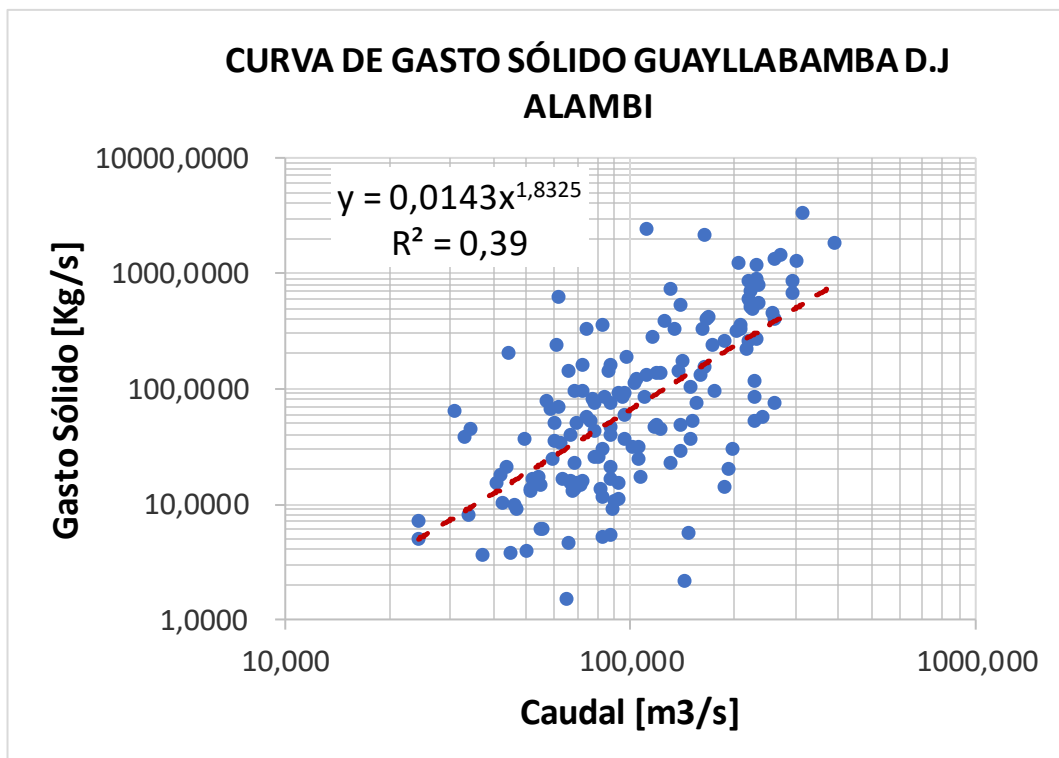
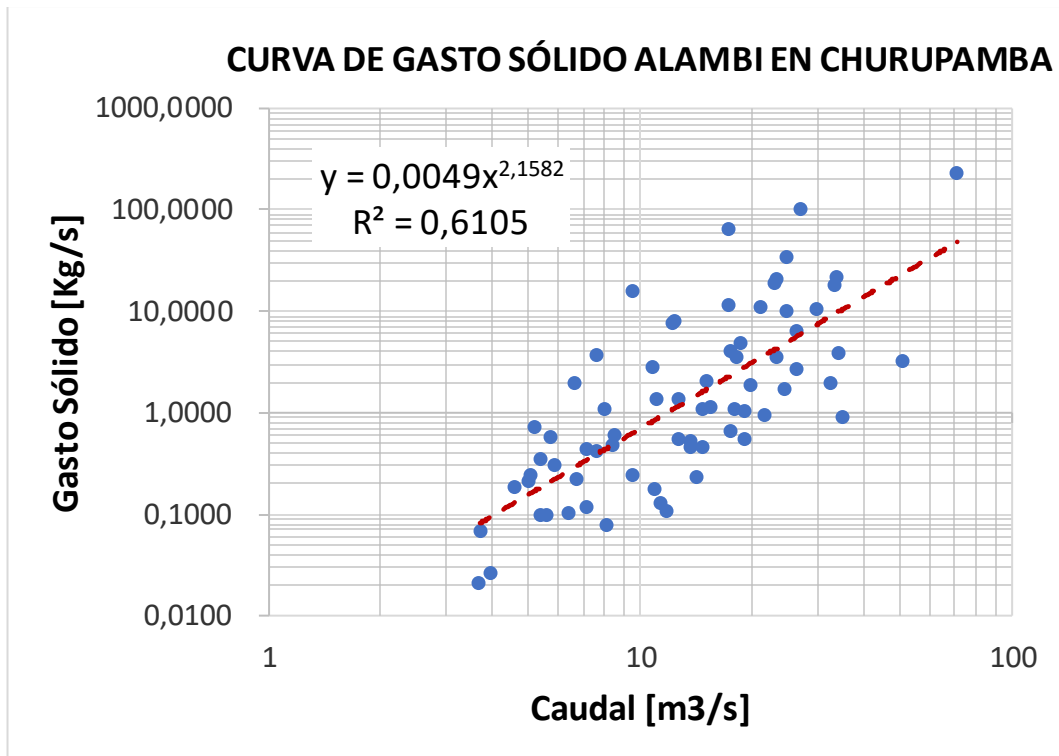
Los resultados obtenidos muestran una tendencia en las diferentes estaciones hidrológicas, durante el periodo de estudio como se puede observar en la **figura 6**. Por lo tanto, a mayor área de la cuenca se aforan mayores caudales, y a medida que aumenta en caudal líquido también aumenta el caudal sólido. En los resultados de las curvas se puede observar que el coeficiente de correlación varía notablemente en las diferentes estaciones, siendo el menor de 0.1534 en la estación Intag D.J Pamplona (H0150) lo que representa una correlación escasa o nula según [68] por lo cual su ecuación no se puede aplicar en la relación de gasto sólido y gasto líquido, es decir que no presenta una relación lineal entre las dos variables. Mientras que el mayor de 0.6357 en la estación Guayllabamba D.J Pisque (H0148) lo que representa una correlación moderada según [68], por lo que su ecuación se adapta mejor al análisis de las variables analizadas. Estos valores se dan debido al tamaño de la muestra, cuando más grande es la misma se presenta mayor precisión en el coeficiente de correlación.

CURVA DE GASTO SÓLIDO GUAYLLABAMBA A.J BLANCO



CURVA DE GASTO SÓLIDO INTAG D.J PAMPLONA





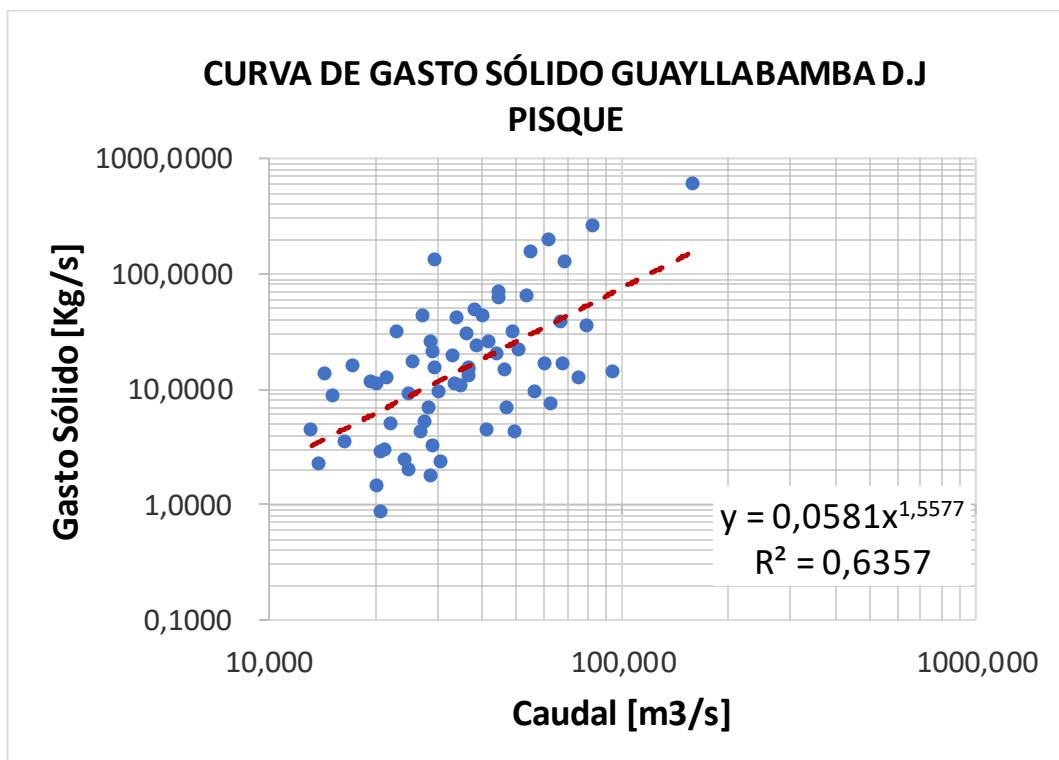
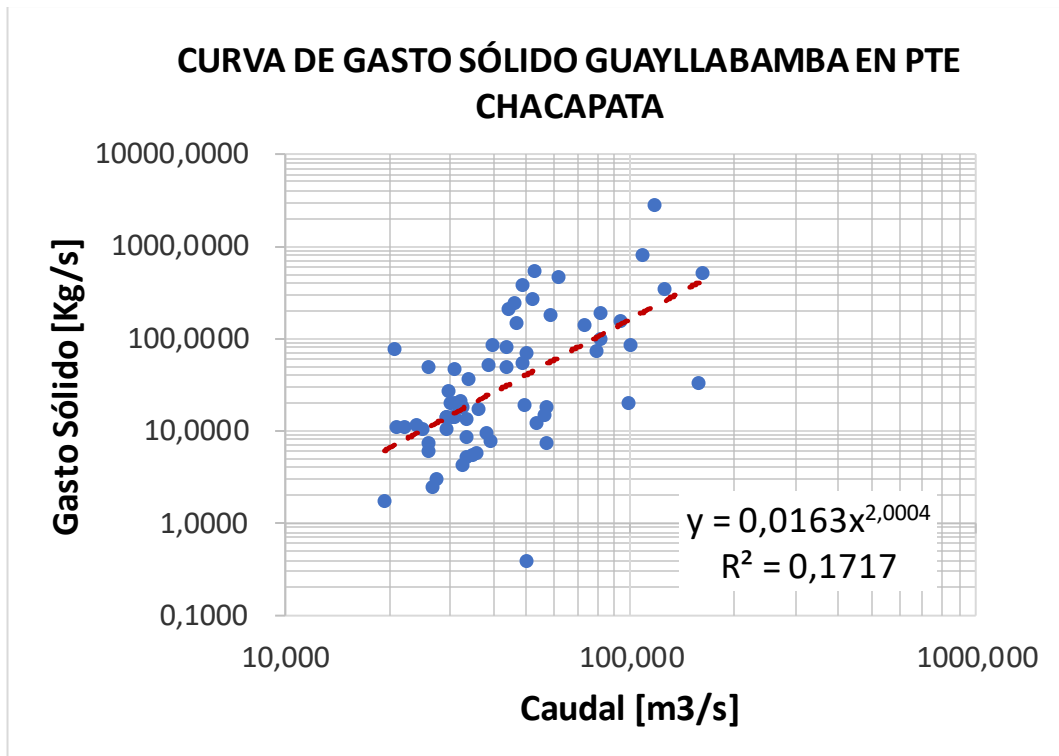


Figura 6-10: Curvas de caudal líquido vs gasto sólido en cada una de las estaciones
Realizado por: Torres, Mario, 2022

3.4. Cálculo De Gasto Sólido

Con los registros diarios de caudal líquido obtenidos de las estaciones hidrológicas del INAMHI y las concentraciones de sedimentos proporcionados por el LANCAS, se procede a calcular el gasto sólido en suspensión. Los resultados obtenidos al procesar cada una de las muestras obtenidas por cada sección de aforo de la cuenca alta del río Guayllabamba, permitió obtener las concentraciones de sólidos y con ello se calculó el gasto sólido en cada una de ellas. En la **tabla 9**, se presentan los resultados de gasto sólido mayor en cada una de las estaciones de aforo.

Tabla 9-15: Gasto sólido mayor registrado para las 6 estaciones en la cuenca

Fecha	Código	Estación	Gasto Sólido [Kg/s]
26/4/1997	H0136	Alambi en Churupamba	222,0192
26/5/2008	H0146	Guayllabamba DJ Alambi	3413,1798
08/4/2013	H0148	Guayllabamba DJ Pisque	604,218
16/3/2017	H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	2730,6458
22/2/1981	H0150	Intag DJ Pamplona	246,4027
02/3/1982	H0170	Guayllabamba AJ Blanco	892,0124

Realizado por: Torres, Mario, 2022

En la **tabla 9**, se muestra el resultado del gasto sólido mayor registrado en las 6 estaciones hidrológicas, esto se puede representar mediante un diagrama de barras reflejado en la **figura 7**, donde se puede observar que la estación H0146 Guayllabamba D.J Alambi presenta el gasto sólido mayor con un valor de 3413,18 Kg/s, mientras que la estación H0136 Alambi en Churupamba registra el gasto sólido menor con un valor de 222,02 Kg/s. Además, muestra que los valores más altos se registran en las estaciones ubicadas en la parte media y baja de la cuenca de estudio.

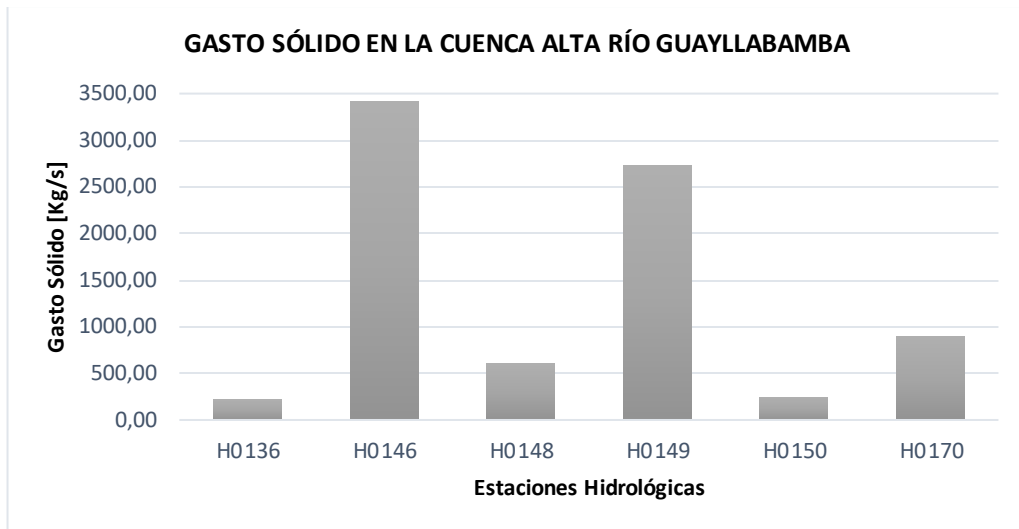


Figura 7-10: Diagrama de gasto sólido en las 6 estaciones hidrológicas analizadas
Realizado por: Torres, Mario, 2022

Con los valores más altos de gasto sólido de cada estación de aforo se estima el caudal sólido específico para cada subcuenca dentro de la cuenca de estudio. En la **tabla 10**, se detalla el caudal sólido específico de las 6 estaciones hidrológicas.

Tabla 10-15: Caudal sólido específico

Código	Nombre	Qsol específico [Ton/km2/año]
H0136	Alambi en Churupamba	344,43
H0146	Guayllabamba DJ Alambi	362,43
H0148	Guayllabamba DJ Pisque	114,24
H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	426,59
H0150	Intag DJ Pamplona	186,12
H0170	Guayllabamba AJ Blanco	79,46

Realizado por: Torres, Mario, 2022

En la **figura 8**, se puede observar la media de caudales sólidos en cada estación para los diferentes meses en cada una de las estaciones. Al comparar los caudales mensuales en cada estación de aforo, se observa un comportamiento similar en las 6 estaciones en el periodo de menor caudal que son los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Pero esta apreciación no aplica para la estación Guayllabamba D.J Alambi (H0146), que para el mes de agosto presenta un gasto sólido de 29046,35 (Ton/d) el cual sobresale notablemente de las demás estaciones para dicho mes. Los mayores caudales registrados varían en las 6 estaciones en los meses febrero, marzo, abril y

mayo. Al relacionar este comportamiento con la estacionalidad climática, se puede notar que, en todas las estaciones los gastos sólidos en MES tienden a aumentar cuando el caudal aumenta el cual se ve afectado por las precipitaciones. También, se puede notar que el mes de febrero a pesar de no ser un mes considerado de baja precipitación, presenta valores bajos de gasto sólido en 5 de las 6 estaciones.

Los resultados presentan un comportamiento similar para los meses de mayor precipitación. En Alambi en Churupamba (H0136) (**figura 8a**), presenta su máximo en el mes de abril y el mínimo en julio y la estación Intag D.J Pamplona (H0150) (**figura 8e**) el máximo tiene en febrero y el mínimo en julio, siendo estas las estaciones con menor área de drenaje. La estación Guayllabamba D.J Pisque (H0148) (**figura 8c**) el máximo se registra para abril y el mínimo para agosto; mientras que la estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) (**figura 8d**) tiene el máximo en marzo y el mínimo en julio siendo estas las estaciones ubicadas sobre el cauce principal del río Guayllabamba y abarcan mayor área que las anteriores. Mientras que la estación Guayllabamba D.J Alambi (H0148) (**figura 8b**) presenta un valor máximo para el mes de mayo y el mínimo en el mes de julio. Finalmente, la estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170) (**figura 8f**) que abarca a todas las subcuencas presenta un mínimo en julio y el máximo en marzo.

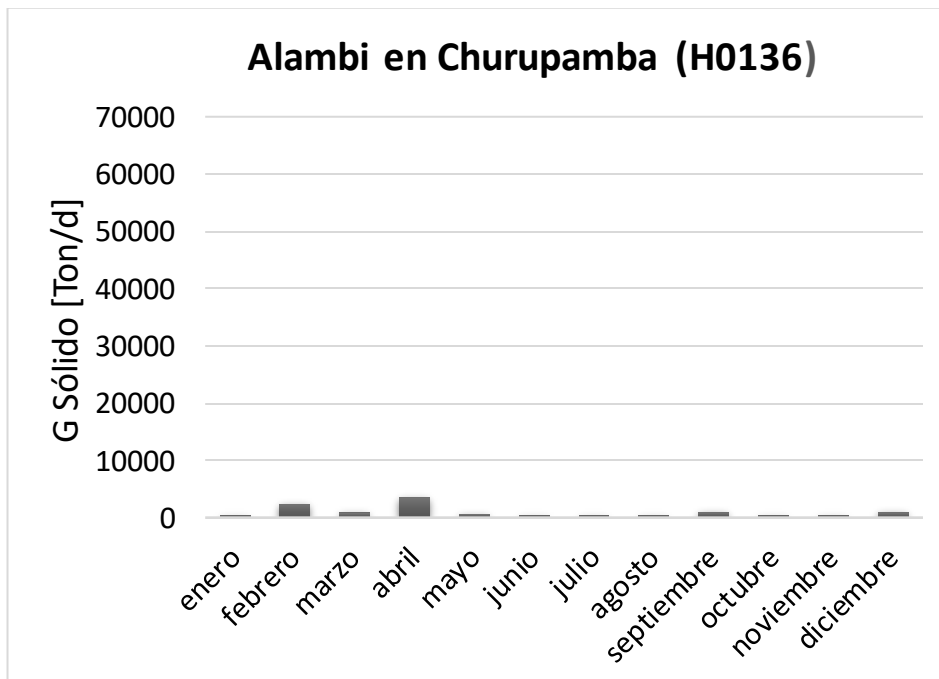


Figura 8a. Media mensual de caudales en (H0136)

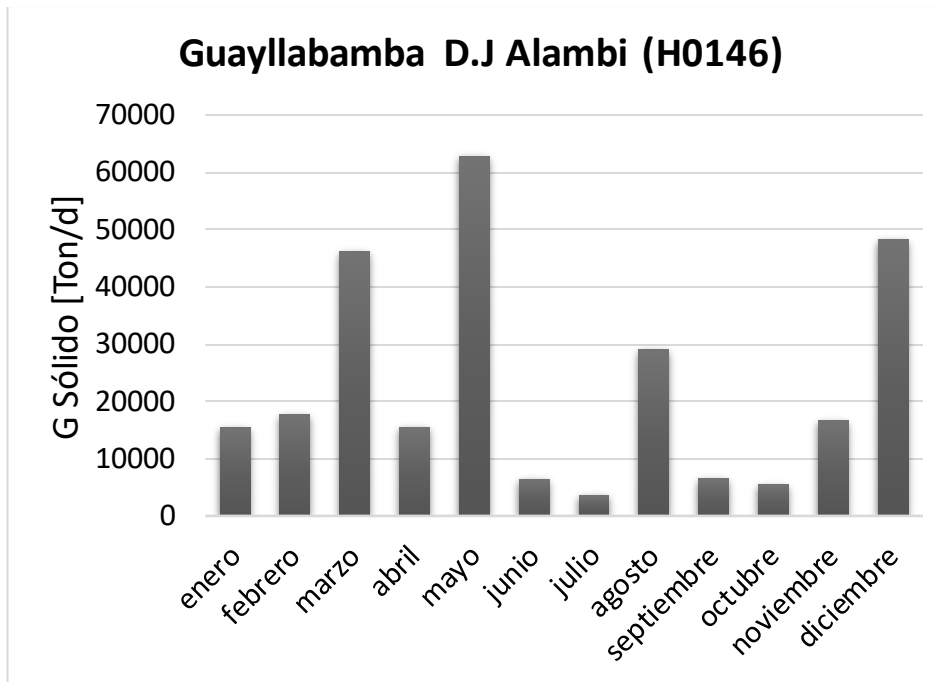


Figura 8b. Media mensual de caudales en (H0146)

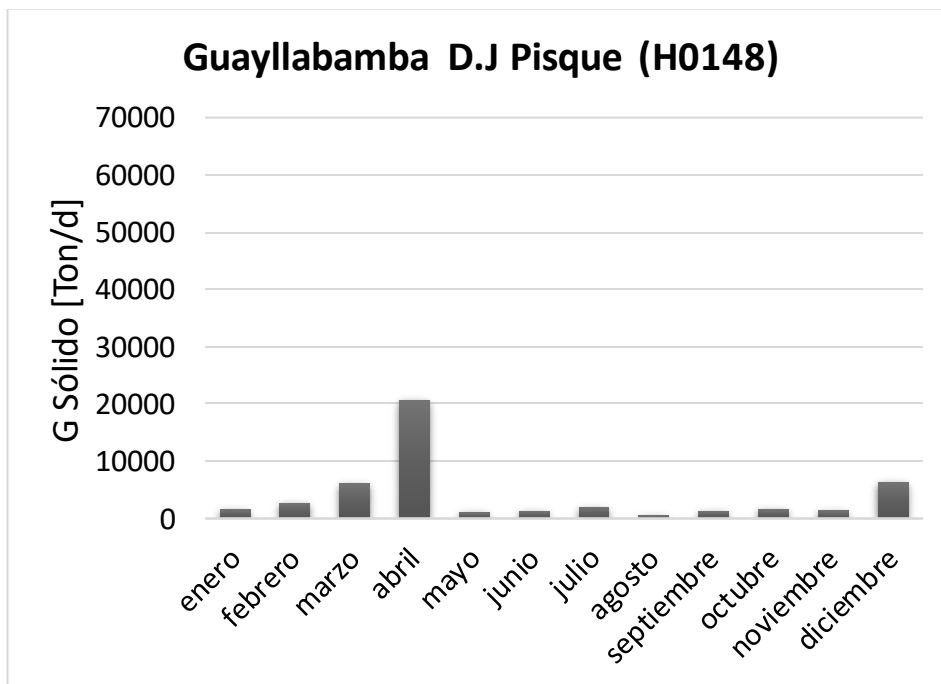


Figura 8c. Media mensual de caudales en (H0148)

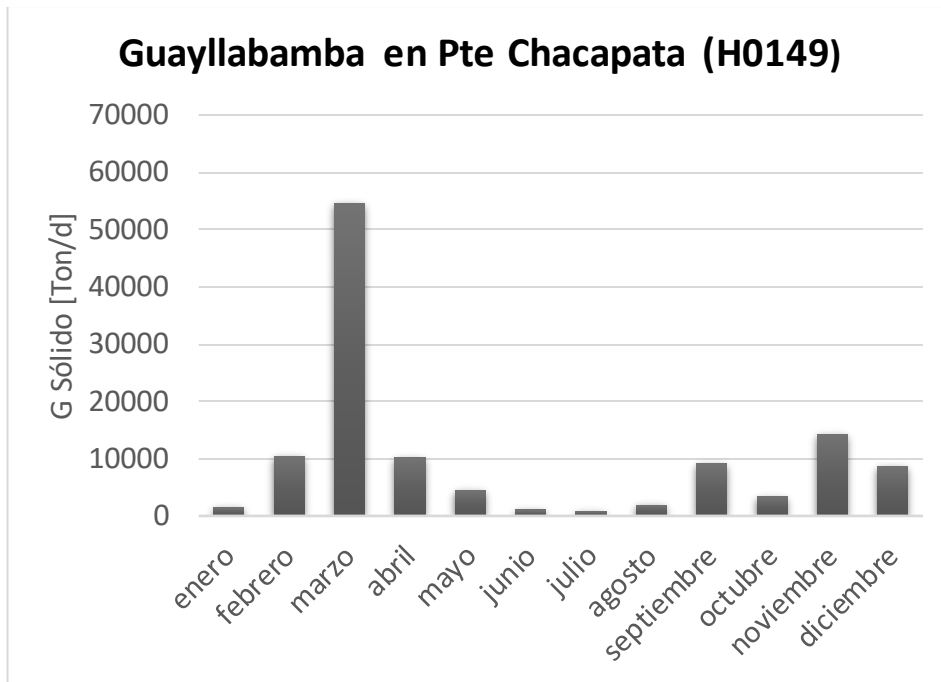


Figura 8d. Media mensual de caudales en (H0149)

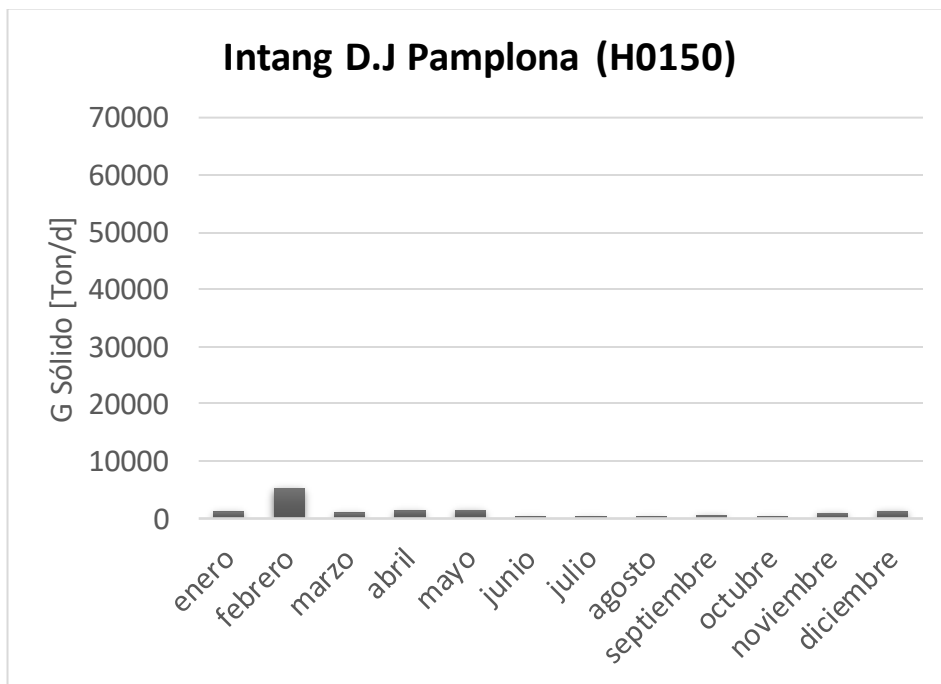


Figura 8e. Media mensual de caudales en (H0150)

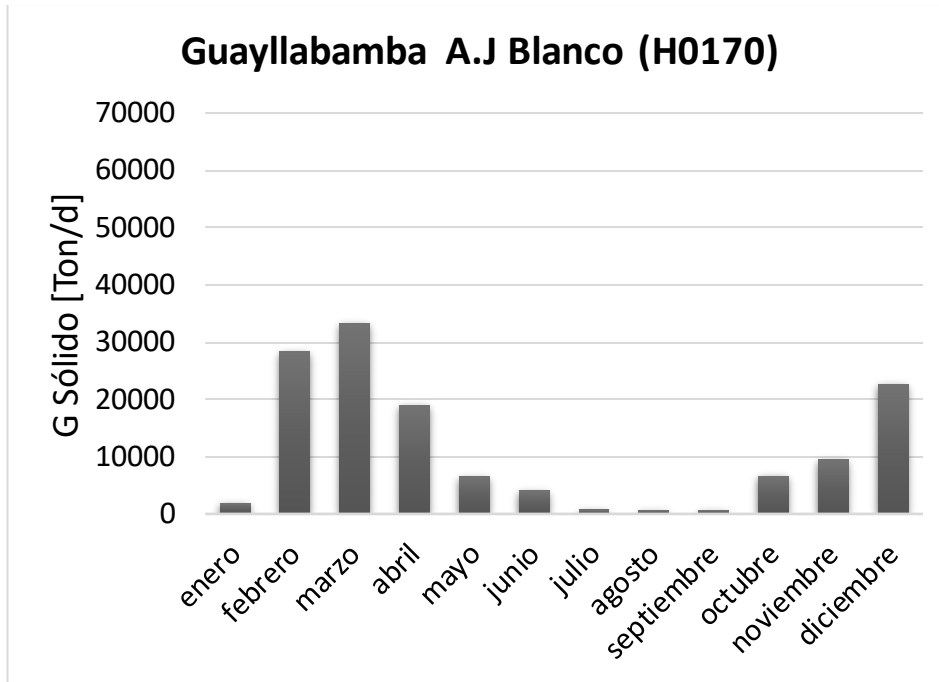


Figura 8f. Media mensual de caudales en (H0170)

Figura 8-10: Gasto sólido medio mensual [Ton/d] para cada estación

Realizado por: Torres, Mario, 2022

3.5. Estimación de la Pérdida de Suelo Mediante la Aplicación del RUSLE

La aplicación del método RUSLE en cada una de las subcuencas generadas para cada estación de monitoreo, muestran los siguientes resultados. La cuenca en su conjunto presenta un máximo de 69.88 (Ton/ha/a), siendo la parte media y baja de la cuenca las zonas con mayor impacto erosivo, pero no presenta gran diferencia con las subcuencas de la parte alta. Mostrando así un comportamiento similar a lo largo de la cuenca de estudio. ICONA (1998) clasifica los niveles erosivos de la siguiente manera:

Tabla 11-15: Rangos de calificación RUSLE

Pérdida de suelo [Ton/ha/a]	Indicador de riesgo
0 - 5	Leve
5 - 10	Bajo
10 - 25	Medio
25 - 50	Alto
50 - 100	Muy Alto
> 100	Severa

Fuente: ICONA (1998)

Conociendo esta clasificación, se procedió a preparar los mapas de cada subcuenca para conocer el nivel de pérdida de suelo en cada una de ellas mediante la aplicación

de RUSLE. Además, se presenta una tabla de resumen con los parámetros físico-morfométricos de cada subcuenca con información obtenida usando un SIG.

Tabla 12-15: Parámetros físicos de las diferentes subcuencas generadas

Parámetro	Unidad	H0136	H0146	H0148	H0149	H0150	H0170
Área	Km2	451,73	6456,24	3879,04	4694,56	927,76	8233,49
Perímetro	Km	150,79	666,61	469,07	552,35	188,82	909,03
Pendiente de la cuenca	%	39,93	28,11	22,06	25,13	35,23	26,77
Longitud del río	Km	16,9	144,35	84,40	128,28	35,67	249,37
Longitud axial	Km	36,38	107,7	81,43	99,28	46,7	168,13
Cota superior	msnm	4546	5875	5875	5875	4902	5875
Cota inferior	msnm	1046	641	1725	912	968	49
Pendiente del río	%	8,75	2,92	1,37	2,05	5,5	2,09
C. compacidad (kc)	-	1,99	2,32	2,11	2,26	1,74	2,81
T.C (Kirpich)	hora	0,83	4,97	3,61	4,74	1,55	7,71
T.C. (California)	hora	1,07	10,65	6,44	9,75	2,43	19,75
Factor de forma	-	0,34	0,56	0,59	0,47	0,43	0,29

Realizado por: Torres, Mario, 2022

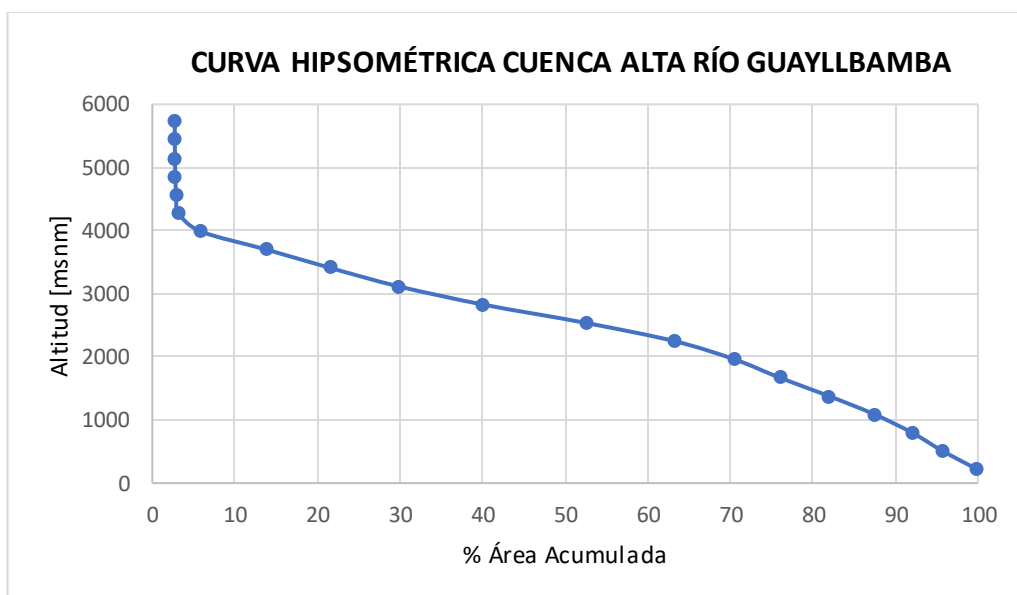
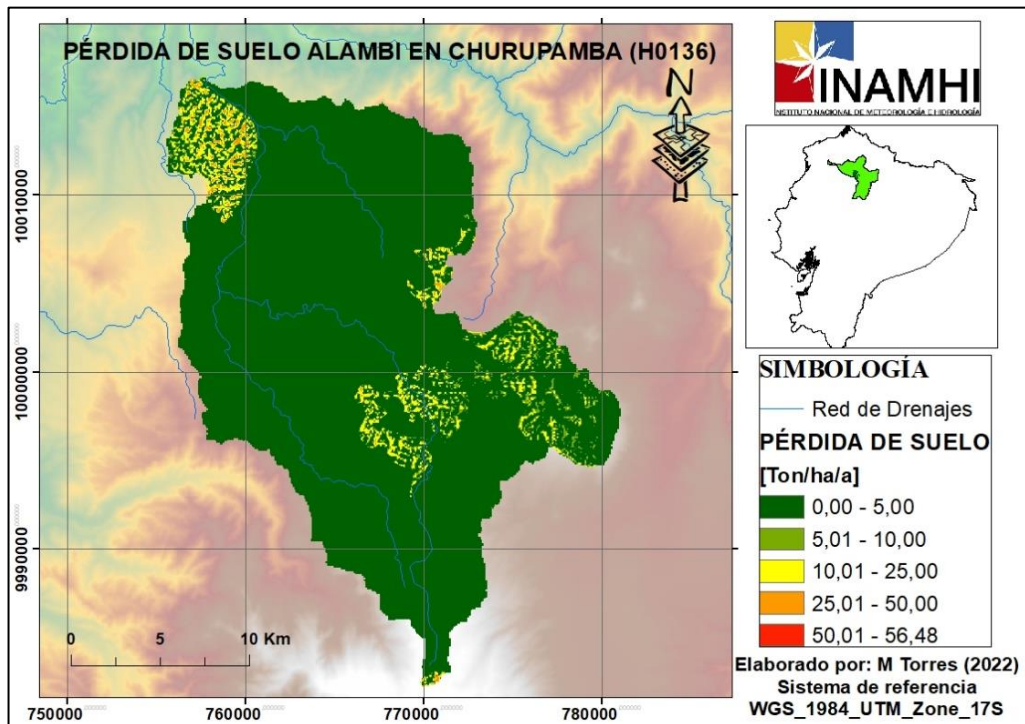


Figura 9-10: Curva hipsométrica de la cuenca de estudio

Realizado por: Torres, Mario, 2022

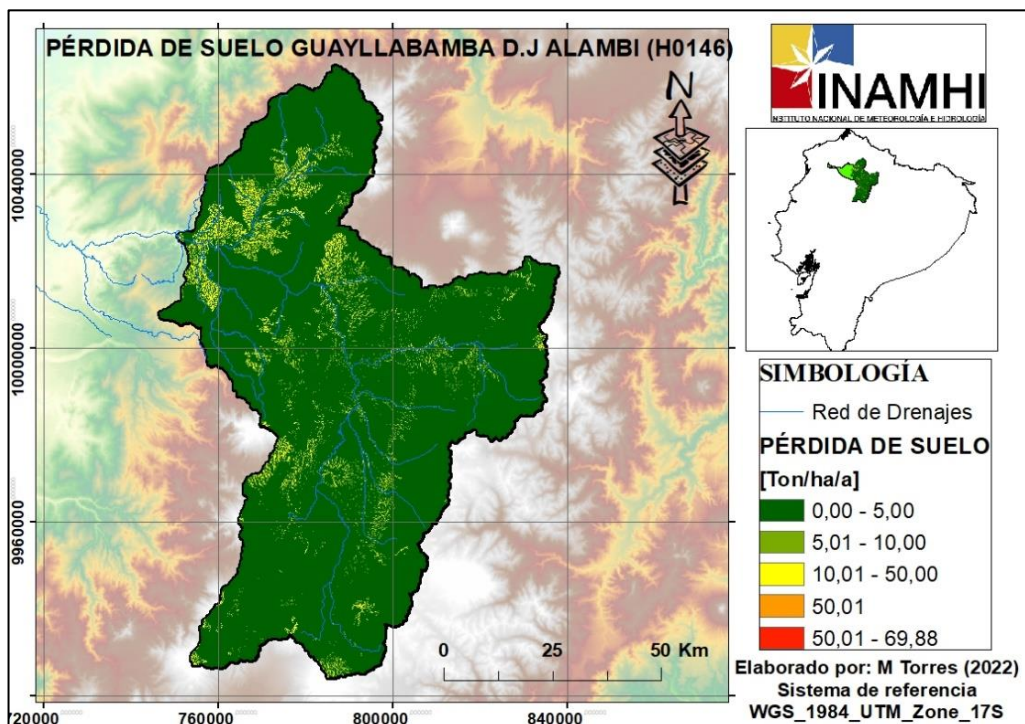
La curva hipsométrica de la cuenca de estudio presenta una forma de curva tipo B según la clasificación de curvas hipsométricas [69]. Las curvas tipo B son características de cuencas en equilibrio (fase de madurez), típicas de cuencas que no presentan índices altos de erosión [25].

- **Subcuenca Alambi en Churupamba (H0136)**



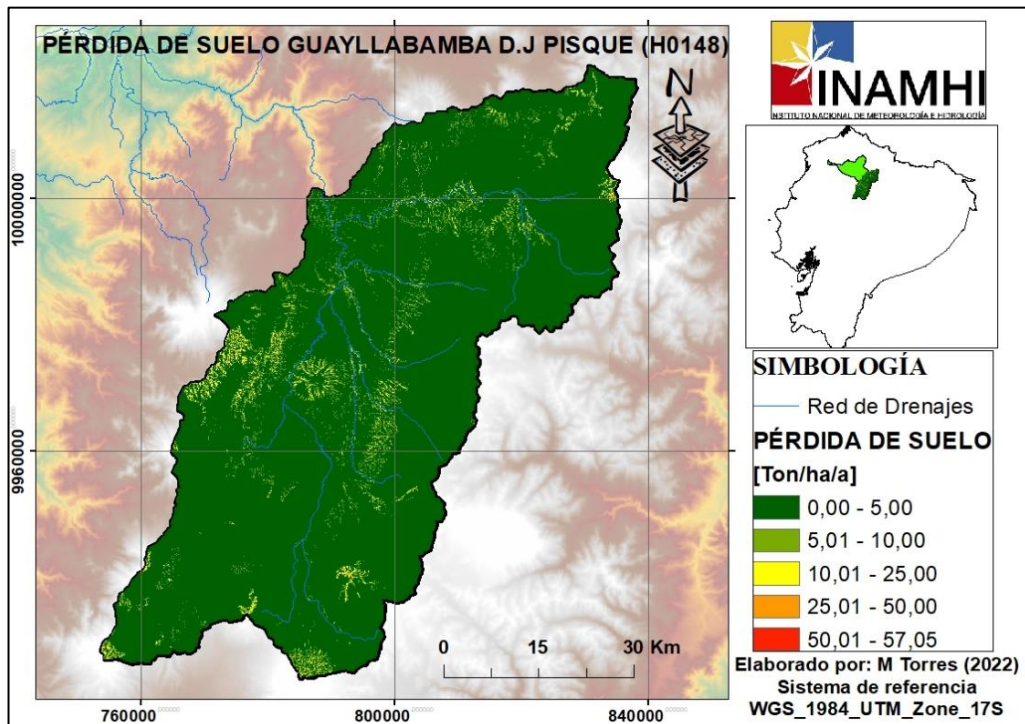
Mapa 7-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Alambi en Churupamba

- **Subcuenca Guayllabamba D.J Alambi (H0146)**



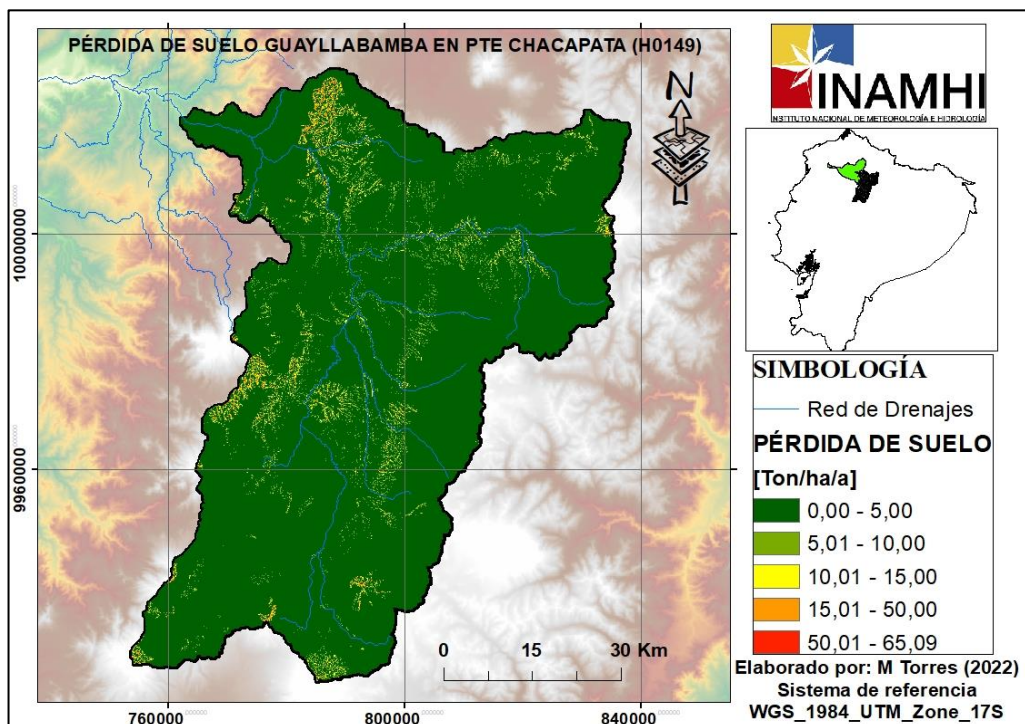
Mapa 8-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Alambi

- **Subcuenca Guayllabamba D.J Pisque (H0148)**



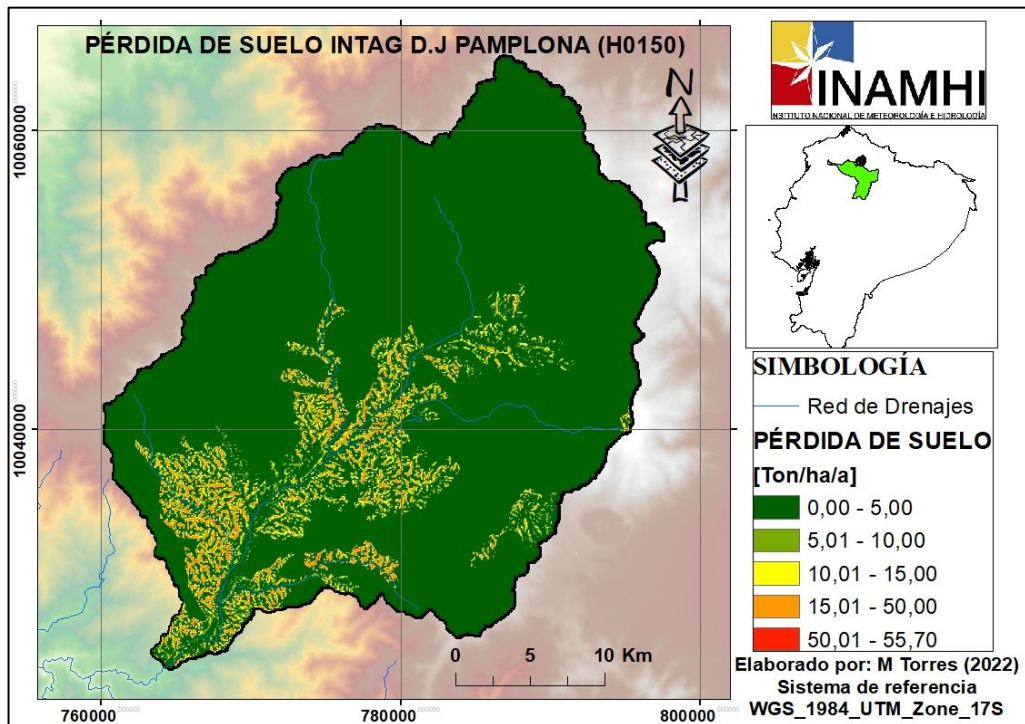
Mapa 9-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Pisque

- **Subcuenca Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149)**



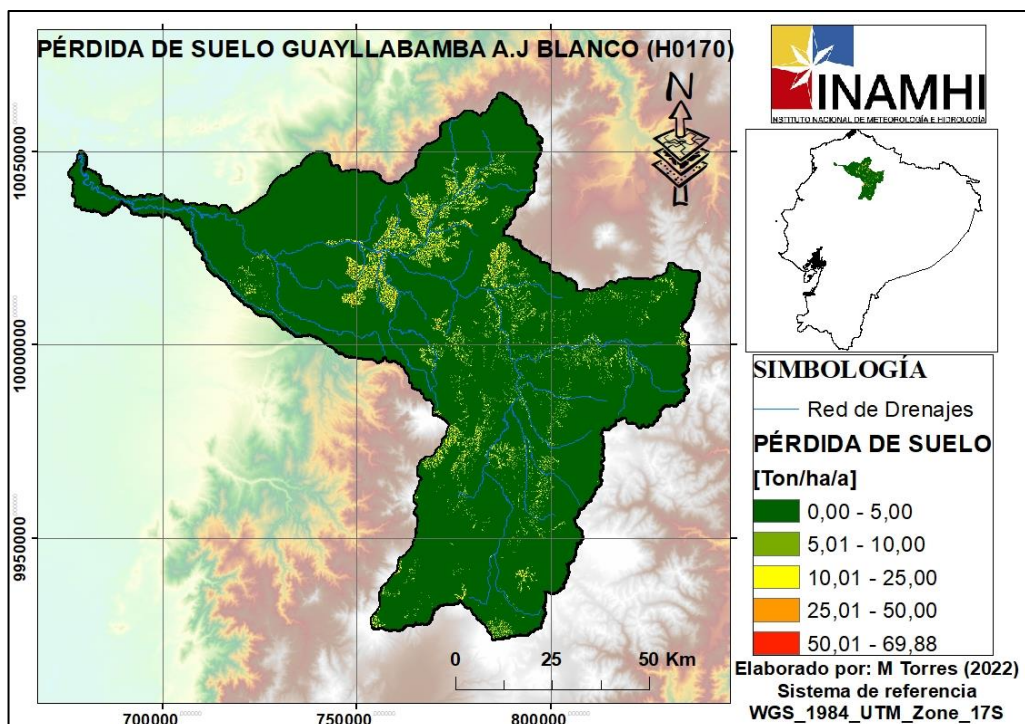
Mapa 10-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba en Pte. Chacapata

- Subcuenca Intag D.J Pamplona (H0150)



Mapa 11-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Intag D.J Pamplona

- Subcuenca Guayllabamba D.J Blanco (H0170)



Mapa 12-13: Mapa RUSLE de la subcuenca Guayllabamba D.J Blanco

Los resultados de la aplicación del RUSLE en cada una de las subcuencas presentan un comportamiento similar en cada una de ellas como se observa en los **mapas 7 al 12**. Todas las áreas analizadas mantienen procesos de pérdida de suelo a un nivel medio, pero en la mayor parte de su superficie no presentan procesos erosivos. Las zonas con mayor tasa de erosión presentan influencia de las zonas altas de la cuenca debido a la pendiente pronunciada existente en las riberas de los cauces principales. En todas las subcuencas analizadas presentan valores de pérdida de suelo (alto y muy alto) pero su área de influencia es mínima.

Con respecto a los resultados generados al calcular cada uno de los factores calculados, estos presentaron los siguientes resultados:

- **Factor LS**

Los resultados del factor LS presentaron valores comprendidos entre 0 y 14,96 que corresponde a superficies planas y pendientes pronunciadas de gran longitud. Con ello podemos tener un mejor entendimiento del área de estudio, al momento de analizar los valores altos de factor LS estas se ubican en zonas de cauces del flujo y por ello su influencia de erosión en las zonas más elevadas y con mayor pendiente.

- **Factor K**

Por su parte los resultados del factor K presentaron un rango entre 0,023 y 0,032 los cuales se clasifican como moderado y fuerte. Estos valores dependen directamente de la composición del suelo: arcilla, limo, arena y carbono orgánico.

- **Factor R**

Los resultados del factor R, muestran un valor mínimo de 26,53 y un máximo 599,57 (MJ*mm/ha*h), siendo la parte andina y alta de la cuenca la menos propensa a erosión hídrica. La zona baja y media de la cuenca es más propensa a sufrir erosión por eventos de lluvias intensas.

- **Factor C**

Por su parte los resultados del factor C, muestran gran variedad de usos del suelo y cobertura del mismo en la cuenca. Los valores obtenidos van desde 0,0001 a 1,00. Las zonas donde presenta mayor pérdida de suelo por su uso se encuentran en las zonas altas de la cuenca, correspondientes a las áreas cercanas a las grandes ciudades y caracterizadas por la intensa actividad industrial, agrícola y desarrollo urbano.

3.6. Validación Del Modelo RUSLE

Los valores más altos de erosión de cada subcuenca se encuentran en los drenajes y quebradas con pendientes muy montañosas y escarpadas como se observa en el **mapa 13**. Se realizó una comparación entre la erosión medida (aforos de las estaciones hidrológicas) y la erosión calculada (RUSLE) para cada subcuenca de análisis como se observa en la **tabla 13**.

Tabla 13-15: Erosión hídrica medida y erosión hídrica calculada

Subcuenca	Erosión medida [Ton/ha/año]	Erosión calculada [Ton/ha/año]
Alambi en Churupamba	154,99	28,00
Guayllabamba DJ Alambi	166,70	34,01
Guayllabamba DJ Pisque	49,12	26,15
Guayllabamba en Pte. Chacapata	183,43	31,7
Intag DJ Pamplona	83,77	27,07
Guayllabamba AJ Blanco	34,16	34,01

Realizado por: Torres, Mario, 2022

Con la comparación de los resultados de las dos metodologías, se evidencia que la erosión producida en la cuenca no es igual a la medida en las estaciones, pero presenta una proporcionalidad similar, pero en diferente magnitud. El método RUSLE en este caso nos permite identificar las zonas de la cuenca que sufren mayor pérdida de suelo, por ende, no se puede comparar estos valores. Los resultados obtenidos en las dos metodologías difieren en magnitud debida a que los periodos de obtención de datos en cada una de ellas son diferentes, lo cual infiere en la diferencia en los resultados obtenidos. En el RUSLE se analiza la cobertura y uso de suelo, para la cual se utilizó información actualizada. Para determinar el Factor R se tomaron los datos de precipitación en el periodo 1981 – 2015, mientras que los datos de los caudales sólidos y líquidos de las estaciones hidrológicas presentan diferentes periodos. Esta diferencia

en no nos permite realizar una comparación entre los resultados obtenidos. Los resultados del RUSLE nos permite identificar espacialmente las zonas más afectadas.

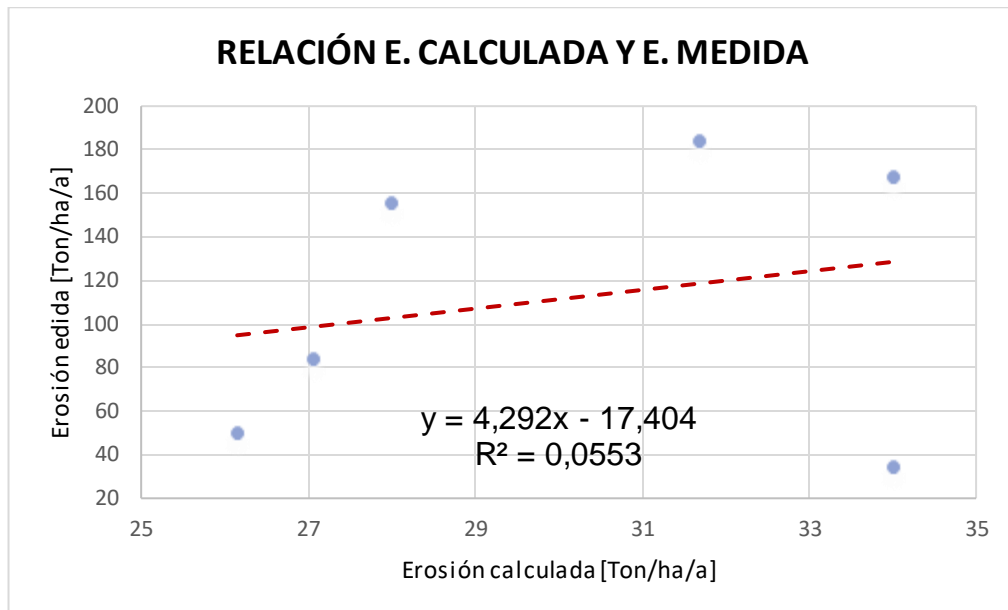


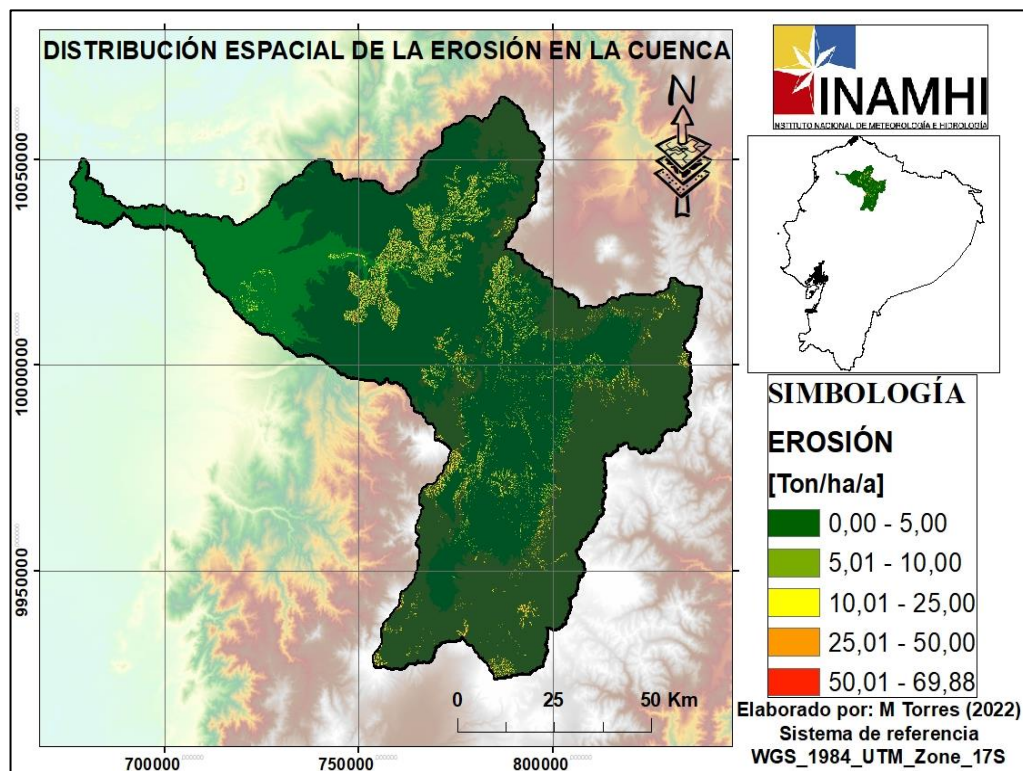
Figura 10-10: Erosión medida vs erosión calculada
Realizado por: Torres, Mario, 2022

En la **tabla 13** se muestran los valores medios de la erosión calculada y medida para cada una de las subcuencas del área de estudio. Los resultados difieren entre las dos metodologías ya que el valor de ($r^2= 0.0553$) que se observa en la **figura 10** representa solo un 5% de correlación entre los resultados de las dos metodologías. El modelo RUSLE no es demasiado preciso, ni pretende predecir eventos específicos puntuales, además no considera efectos antrópicos puntuales tales como reservorios, puntos de extracción de material e infraestructura puntual o lineal a lo largo del río [70].

La erosión presente en la cuenca presenta tendencias similares a la carga sedimentaria mediada en cada estación, a pesar de ser diferentes en orden de magnitud. La erosión producida en la cuenca mantiene una proporcionalidad con la erosión medida en los cauces, pero también se debe tener en cuenta que no es una proporcionalidad lineal, la cual depende de ciertas características, por ejemplo, la máxima erosión producida en la cuenca y la capacidad de transporte del río, los cuales son fenómenos altamente no lineales. Además, del que el método RUSLE usado para calcular la erosión en la cuenca no contempla factores antrópicos como obstrucciones del libre cauce. Las actividades humanas generan fenómenos como la degradación de las propiedades físicas del suelo y el aumento de la escorrentía superficial, también el inadecuado uso del suelo en las actividades agrícolas, mineras, deforestación, sobrepastoreo, construcción de

carreteras en zonas de montaña son elementos que favorecen el fenómeno erosivo [67]. Estos factores no son contemplados con exactitud dentro del modelo RUSLE, es por ello que los resultados de la erosión calculada difieren de la erosión medida y presentan un coeficiente de correlación bajo. Los cauces son el destino final de los sedimentos erosionados en la cuenca, por ello la medición realizada en cada una de las estaciones refleja valores altos de concentración de sedimentos, pero se debe tomar en cuenta que solo se midió el material en suspensión mas no el material de fondo. De esta manera se estima que la erosión medida en la cuenca debería ser igual a la medida en los cauces, pero se debe analizar factores como el transporte de sedimento y sedimentación de los mismos.

Para conocer la distribución espacial de áreas con riesgo de erosión se clasificó a la cuenca de estudio en zonas (alta, media y baja) mediante curvas de nivel ya así se pudo determinar la distribución espacial de la erosión dentro de la cuenca como se observa en el **mapa 13**.



Mapa 13-13: Erosión en las partes alta, media y baja de la cuenca.

En la **tabla 14** se observa las áreas de cada nivel de clasificación de la cuenca y la erosión calculada para cada uno de los niveles. La parte media de la cuenca que

comprende una altura entre 1000 – 3000 presenta mayor erosión, además es la sección con mayor área.

Tabla 14-15: Erosión promedio en las partes alta, media y baja de la cuenca

Cuenca	Área [ha]	Erosión [Ton/ha/a]
Baja (69 - 1000 msnm)	93889,83	31,50
Media (1000 - 3000 msnm)	430328,30	34,01
Alta (3000 - 5875 msnm)	299129,58	31,17

Realizado por: Torres, Mario, 2022

4. CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

4.1. Curvas de Gasto Sólido en Función del Gasto Líquido

Las gráficas de gasto sólido en función del gasto líquido como se muestra en la **figura 6**. Con ello se obtuvo el coeficiente de correlación mediante el cual se aprecia el grado de correlación existente entre los gastos. También, se observa la ecuación del eje (y) tanto como del eje (x), la misma que nos permite calcular la carga sedimentaria en cada una de las estaciones analizadas. Los resultados de las gráficas presentan el mismo comportamiento en las diferentes estaciones, con poca variabilidad en las líneas de tendencia durante todo el periodo de estudio. En las 6 estaciones en las que se realizaron los aforos presentaron tendencias similares, es decir que se registra un mayor caudal líquido a medida que el área de la cuenca aumenta. También se apreció que a mayor caudal líquido se registró mayor gasto sólido. En las diferentes estaciones se obtuvieron diferentes coeficientes de correlación como se muestra en la **tabla 15**. Los coeficientes de correlación mayores a 0,50 indican menor dispersión de los datos mientras que los valores menores a 0,50 indican mayor dispersión de los datos. Esto sucede debido a que hay estaciones con menor cantidad de datos registrados. Mientras que el coeficiente “a” es la constante de la ecuación, mientras que “b” representa la intensidad de las fuerzas erosivas, cuando se tiene un coeficiente b mayor a 1 indica que las concentraciones crecen cuando las descargas aumentan lo que se conoce como efecto purga [71].

Tabla 15-15: Ecuaciones y coeficiente de correlación de caudal líquido vs caudal sólido

Código	Estación	Ecuación	R ²
H0136	Alambi en Churupamba	$y = 0,0049x^{2,1582}$	0,6105
H0146	Guayllabamba DJ Alambi	$y = 0,0143x^{1,8325}$	0,395
H0148	Guayllabamba DJ Pisque	$y = 0,0581x^{1,5577}$	0,6357
H0149	Guayllabamba en Pte. Chacapata	$y = 0,0163x^{2,0004}$	0,1717
H0150	Intag DJ Pamplona	$y = 0,0018x^{2,1355}$	0,153
H0170	Guayllabamba AJ Blanco	$y = 0,0019x^{1,8409}$	0,502

Realizado por: Torres, Mario, 2022

4.2. Resultados de la Carga Sedimentaria

Los resultados obtenidos al realizar los aforos y posteriormente analizar las muestras de sedimentos en el laboratorio LANCAS, se obtuvo como resultados la concentración y con ello el gasto sólido para cada estación hidrológica. Los resultados obtenidos se pueden considerar normales según las características de los ríos donde se realizó el aforo ya que sus afluentes se caracterizan por ser caudalosos y torrentosos, además de tener orígenes sísmicos y volcánicos lo que los hace propensos al arrastre de sedimentos [72]. La cuenca es propensa a erosión ya que esta es una cualidad de las zonas ubicadas al pie de los Andes, el cual presenta un levantamiento tectónico muy activo, con formaciones fluviales muy débiles, este levantamiento tectónico surge del proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana [73]. Existe dificultad para realizar estudios de cuantificación de flujos sedimentarios en las cuencas hidrográficas que nacen en los Andes, estas cuencas presentan una gran actividad hidrológica con tiempos muy cortos de respuesta a las precipitaciones, provocando fuertes crecidas las cuales vienen cargadas de material en suspensión, difíciles de determinar [72].

En la **tabla 9** se presentan los valores más altos registrados de gasto sólido para cada una de las estaciones hidrológicas con estos datos se representó el resultado mediante el gráfico de barras donde se apreció que la estación que presenta mayor gasto sólido es la estación Guayllabamba DJ Alambi H0146 (3413,18 Kg/s), a pesar de no ser la estación que presenta la mayor área de drenaje. La cantidad de gasto sólido registrado para esta estación es un valor esperado por sus características de cuenca a pesar de no ser la de mayor tamaño. Esta estación recibe las descargas de todas las otras subcuencas de estudio a excepción de la estación H070 que es la de mayor tamaño, por lo cual el caudal sólido registrado es el esperado. Para la estación Guayllabamba

D.J Blanco H070 se obtuvo (892,01 Kg/s) que representa la mayor área de drenaje y sin embargo presenta un valor máximo de gasto sólido el cual no es el esperado debido a sus características de cuenca. Antes de que el cauce principal llegue al punto de aforo está edificada la represa del proyecto hidroeléctrico Manduriacu el cual se encuentra ubicado en las parroquias de Pacto (cantón Quito – Provincia de Pichincha) y García Moreno del (cantón Cotacachi - Provincia de Imbabura), esta estructura provoca una retención de sedimento generando alteración en la dinámica de transporte en la cuenca. Las represas actúan como barreras al flujo natural de los ríos, haciendo que se acumulen excesivamente en el embalse sedimentos, nutrientes y organismos y no fluyan a niveles adecuados río abajo [74,75]. A pesar de presentar estos valores en el último punto de aforo los resultados muestran que el cauce principal del Guayllabamba es el río que más aporta sedimentos en la cuenca.

La **tabla 8** presenta los valores promedios de la concentración en Kg/m^3 y su variabilidad, donde se puede observar la secuencia y la manera en la que los cauces mantienen su curso y van arrastrando sedimentos en suspensión hasta llegar al punto de cierre, presentando una concentración total de $5,1 \text{ Kg/m}^3$. La estación con mayor concentración de sedimentos es Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) la cual se considera como la subcuenca más erosionada por su alta concentración de sólidos en suspensión. La cuenca alta del río Guayllabamba presenta una intensa actividad agrícola e industrial, además en estas zonas se pueden observar varios puntos donde se realiza minería de pétreos en las riberas del río especialmente en la parroquia San José de Minas. Este tipo de minería genera graves efectos en los sistemas fluviales, desbalance en el transporte de sedimentos en el sitio de extracción; lo cual genera erosión general en el cauce afectando a grandes distancias aguas arriba y aguas abajo, esto a su vez provoca inestabilidad en las orillas, cambios en la morfología de cauce, erosión regresiva en los afluentes y afección a las principales estructuras, flora y fauna localizada a lo largo del cauce y sus tributario [76,77].

Además, la cuenca alta del río Guayllabamba abarca a las grandes ciudades como Quito y Sangolquí en las cuales habitan más de 4 millones de personas. Las zonas urbanas también provocan alteraciones en los regímenes hidrológicos y sedimentológicos en los ríos. El crecimiento de las zonas urbanas provoca pérdida de la vegetación en las laderas, esto se ve agravado por el aumento en la escorrentía superficial provocando un aumento en la erosión y por ende mayor violencia en la descarga de agua en épocas de lluvias aumentando la producción de sedimentos [78]. Finalmente, la parte alta de la

cuenca presenta una pendiente mayor que el resto de la cuenca debido a estar ubicada en la cordillera occidental de los andes caracterizada por pendientes pronunciadas, este factor contribuye en el aumento en la producción de sedimentos que son arrastrados por los cauces.

En la **figura 6** se aprecia el porcentaje de concentración de sedimentos, donde la estación Intag D.J Pamplona (H0150) (5%) presenta la menor concentración de sedimentos de la cuenca. Este resultado se sustenta debido a que la subcuenca generada para esta estación es la segunda en menor tamaño. Además, el Valle de Intag ubicado en esta subcuenca se ha caracterizado por un manejo integral de la cuenca, reduciendo así el impacto en los cuerpos hídricos y con ello la generación de sedimentos. Las demás estaciones presentan valores directamente relacionados con sus características físicas de la cuenca y las actividades que en ellas se desarrollan. Por último, la estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170) a pesar de ser la de mayor tamaño registra una concentración baja de sedimentos en suspensión esto influenciado por la presencia de estructuras que alteran la dinámica fluvial aguas arriba del punto de aforo.

Los resultados del caudal sólido específico de las 6 estaciones hidrológicas se muestran en la **tabla 10**. El caudal específico se refiere al caudal expresado en unidades de volumen por tiempo y por unidad de superficie [79]. Las estaciones presentaron los siguientes resultados. En la estación Alambi en Churupamba (H0136) con 45 años de registro de datos donde se registró un caudal sólido específico de 344 (Ton/km²/año) la misma que presenta la menor área de drenaje. Por su parte la estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) que es la subcuenca con mayor erosión y producción de sedimentos presenta un caudal sólido específico de 427 (Ton/km²/año), por lo tanto, es la que aporta mayor cantidad de sedimentos a la cuenca principal. Finalmente, la subcuenca que aporta menor cantidad de sedimentos es la generada en la estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170) con un caudal sólido específico de 79 (Ton/km²/año).

En la **figura 8** se muestran los diagramas de caudales mensuales multianuales en cada una de las 6 estaciones de estudio. Las gráficas presentan una gran dependencia con el régimen de precipitaciones. Los menores caudales se registran en los meses comprendidos entre junio y septiembre, mientras que los caudales mayores se registran en los meses comprendidos entre febrero y mayo con variaciones notables entre estaciones. Estos resultados presentan variaciones entre estaciones debido a la falta de

datos registrados en las diferentes estaciones a lo largo de los periodos de muestreo. Además, observamos que los ríos que aportan mayor caudal sólido son los ríos Alambi, Pisque y Apuela los cuales descargan en el cauce principal del río Guayllabamba. Finalmente, se puede notar que, en todas las estaciones los gastos sólidos en MES tienden a aumentar cuando el caudal líquido aumenta.

Las cuencas de zonas de montaña o con pendientes pronunciadas presentan una producción de sedimentos el cual se los puede asociar a dos fenómenos: erosión superficial generalizada del suelo y por procesos de remoción en masa en sitios puntuales [80]. Estos procesos influyen en los procesos de inundación, sedimentación de embalses, cambios en la morfología fluvial y a su vez produce degradación ambiental. Los sedimentos producidos mediante erosión superficial están relacionados principalmente a la erosión causada por la lluvia y escorrentía, este proceso presenta cierta continuidad temporal asociada al clima e hidrología de la cuenca [81]. Mientras que los sedimentos producidos por remoción en masa están asociados a los deslizamientos de laderas, colapso de márgenes, flujos de lodo, actividades antropogénicas en las riberas, etc., están relacionados con la inestabilidad hidrogeológica de la cuenca, por lo tanto, no presentan una continuidad temporal [82].

4.3. Comparación de Resultados de Datos Medidos y Datos Calculados

En Ecuador se han realizado varias investigaciones de cuantificación de procesos erosivos en los suelos de los Andes Ecuatorianos teniendo como base el cálculo de la tasa de erosión. La mayoría de estas investigaciones se basaron en la aplicación de la metodología RUSLE y USLE a excepción de la investigación de Rosales (2020), el cual aplicó la metodología RUSLE y comparo los resultados con los datos de registros de las estaciones hidrológicas en la cuenca del río Chota, el cual presenta una metodología innovadora la cual puede ser aplicada a todas las cuencas donde se cuente con instrumentos hidrometeorológicos [67].

En esta investigación se aplicó la metodología RUSLE con el uso de un SIG en la cuenca del río Guayllabamba referente a los siguientes factores: erosionabilidad del suelo (K), erosionabilidad de la lluvia (R), longitud e inclinación de pendiente (LS), cobertura del suelo (C) y prácticas de manejo (P). Donde se obtuvieron tasas medias de erosión actual de 34 (Ton/ha/a) determinada como erosión moderada, esta erosión se extiende por un área de 193,22 km², lo que representa el 2,35% del área de la cuenca. La erosión grave solamente representa un área de 0,36 km² el 0.004 % del área. Con estos resultados se

puede deducir que la cuenca está en buen estado de conservación del suelo, acorde con la curva hipsométrica tipo B.

En la **tabla 13** se observa los resultados obtenidos para cada una de las dos metodologías utilizadas para cuantificar la erosión y carga sedimentaria en la cuenca del río Guayllabamba. Los resultados difieren para cada una de las metodologías empleadas, pero se debe tener en cuenta que el modelo RUSLE es una herramienta que nos permite generar mapas y así identificar zonas vulnerables con riesgo potencial a sufrir erosión. Los datos medidos por el INAMHI nos permiten conocer el estado del río y la cuenca con mayor exactitud, el aporte del modelo RUSLE nos permitió identificar las zonas con mayor producción de sedimentos.

4.3.1. Distribución Espacial de la Erosión en la Cuenca

Para poder representar y entender con facilidad se clasificó la cuenca mediante curvas de nivel con cotas de 2000 y 3000 msnm, separando así a la cuenca en parte alta, media y baja. Los resultados demuestran que la zona alta y media son aquellas que tienen mayor porcentaje de área erosionada. Estos resultados concuerdan con los procesos geológicos de erosión que predominan en la parte alta, el transporte de sedimento ocurre en la parte media y la sedimentación en la parte baja [67,83]. Además, se puede identificar que procesos de erosión en zonas de montaña dependen de las características del paisaje: morfología, vegetación, uso de suelo, litología, climatología y pendiente [83].

4.4. Impactos de la Carga Sedimentaria (Técnicos, Social, Ambientales y Económicos)

4.4.1. Técnicos

Dentro de los impactos técnicos que genera la carga sedimentaria en la cuenca alta del río Guayllabamba se destacan principalmente la erosión en las bases de estructuras como puentes y muros de contención también genera pérdida de nutrientes del suelo. Además, la cuenca se caracteriza por la presencia de proyectos hidroeléctricos en funcionamiento y otros en plan de ejecución, la alta carga sedimentaria puede llegar a producir sedimentación en los embalses perdiendo así la capacidad de almacenamiento de agua, general falencias en el funcionamiento de las turbinas, compuertas y maquinaria de la hidroeléctrica Manduriacu.

4.4.2. Social

Esta investigación es de gran soporte para la ciudadanía y los entes de gobierno los cuales son los beneficiarios del uso y manejo de los recursos hídricos en la cuenca. La alta concentración de sedimentos puede generar pérdida de calidad de agua afectando a la población y sus diferentes formas de consumo del recurso. Además, junto al sedimentos estas aguas presentan otros contaminantes como nutrientes químicos, contaminación por herbicidas, insecticidas y metales pesados. Las malas prácticas de uso y descarga de recursos hídricos genera afección a la salud de la población debido a la aparición de enfermedades gastrointestinales y problemas de nutrición.

4.4.3. Ambiental

La alta carga sedimentaria en la cuenca genera cambios en la morfología de ríos, los cuales se ven agravados en eventos de alta precipitación provocando inundaciones repentinas, derrumbes causando destrucción del hábitat de especies vegetales y animales que habitan en las riberas de los cauces. La destrucción de las riberas provoca alteraciones irreparables en el paisaje.

4.4.4. Económico

En lo que se refiere a impacto económico se ven comprometidas las principales actividades económicas de la población: turismo, agricultura, generación hidroeléctrica y gastos en la reparación de estructuras existentes y en la edificación de obras de prevención de desastres.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El software Hydraccess nos permitió crear una base de datos con las 6 estaciones hidrológicas para el periodo 1975 – 2021 (46 años). La base de datos se creó con los datos históricos de caudal líquido y concentración de sedimentos registrado en cada punto de aforo. La información de concentración de sedimentos se obtuvo de los resultados de laboratorio realizados por el

Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos (LANCAS). Con la información de caudal líquido y concentración de sedimentos se calculó el gasto sólido en cada estación.

- A partir de los datos históricos registrados de caudal líquido y gasto sólido del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de las 6 estaciones hidrológicas en el periodo 1975 – 2021 (46 años), se calculó carga de sedimentos en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba.
- La relación entre caudal y gasto sólido en función del gasto líquido presentó los siguientes valores de correlación de datos: 0,611 (H0136), 0,395 (H0146), 0,636 (H0148), 0,172 (H0149), 0,153 (H0150) y 0,502 (H0170), los cuales se consideran como valores bajos de correlación con una media general de 41,2 % lo que nos permite concluir que la cuenca presenta niveles bajos a medios en lo que refiere a degradación ambiental por erosión del suelo. Además, se evidenció que a mayores caudales líquidos se aforan mayor concentración de sedimentos por ende la carga sedimentaria aumenta según la estacionalidad en la cuenca.
- Los procesos de erosión y transporte de sedimentos dependen de factores temporales como la precipitación ya que los datos demostraron que los meses donde se registra aumento de la precipitación coinciden con los meses donde el gasto sólido aumenta. Además, se identificaron patrones espaciales que influyen en la generación de sedimentos tales como elevación, pendiente, características del suelo. Finalmente, el factor antropológico influye en los resultados: las actividades agrícolas, la extracción de material pétreo y los asentamientos urbanos son agentes que están provocando un impacto en el suelo y por ende generan un incremento en la tasa de erosión.
- La aplicación del modelo RUSLE para determinar la tasa de erosión que se genera en la cuenca del río Guayllabamba permitió tener una visión general sobre el proceso de erosión en la cuenca. A pesar de que las tasas de erosión obtenidas difieren de las tasas de erosión medidas, el modelo RUSLE es una herramienta muy útil en estos estudios ya que permiten entender la dinámica de erosión en la cuenca e identificar las zonas vulnerables. Con el modelo RUSLE y usando un SIG se obtuvieron mapas de riesgo de erosión, y así identificar las zonas que generan mayor aporte de sedimento. Con ello se identificó que la zona media de la cuenca entre los 1000 – 3000 msnm, es la zona donde ocurre mayor tasa de erosión del suelo.

- Los registros de caudal sólido no permiten identificar que la estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149) presentó el valor más alto MES (material en suspensión) con 183 (Ton/ha/a), material que es arrastrado por el cauce principal del río Guayllabamba y se tiene al río Alambi como uno de los cauces con mayor aporte de sedimentos lo que indica que en la zona media de la cuenca ocurre un proceso de transporte de sedimentos. Además, la estación Guayllabamba A.J Blanco a pesar de ser la estación con mayor área de drenaje presenta una carga sedimentaria de 34 (Ton/ha/a), lo que indica que en la zona baja de la cuenca ocurre un proceso de sedimentación.

5.2. Recomendaciones

- En esta investigación se trabajó con grandes cantidades de datos en distintos periodos de muestreo, para ello se recomienda el uso de programas especializados para el manejo de datos meteorológicos e hidrológicos como Hydraccess, el cual se permite gestionar los datos para obtener resultados claros y precisos.
- Para futuras investigaciones se recomienda el uso de puntos de aforo en otros sectores de la cuenca, existen otras estaciones en las cuales no se lleva un registros sistemático, pero se puede aprovechar las instalaciones existentes, por ejemplo las estaciones: Guayllabamba A.J Cubi (H0145), Intag en Balzapamba (H0151), Pilaton A.J Toachi (H0156) y Esmeraldas D.J Sade (H0168), el incluirlas en futuros estudios permitirá obtener información para validar y contrastar resultados de otras zonas de la cuenca.
- Para la aplicación del modelo RUSLE se recomienda el uso de información cartográfica de preferencia en escala 1:50 000, con ello se puede tener mejor detalle y precisión del área de estudio. También se recomienda el uso de los modelos RUSLE y USLE como un complemento en este tipo de investigaciones.
- Se recomienda a los entes de control y beneficiarios de la cuenca del río Guayllabamba implementar estrategias y técnicas que garanticen la protección de los cuerpos hídricos, ya que la cuenca presenta tasas de erosión normales, una correcta administración de cuenca evitaría daños ambientales, sociales, económicos a futuro.

6. REFERENCIAS

1. Restrepo-López JC, Ortíz -Royero JC, Otero-Díaz L, Ospino-Ortiz SR. Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. *Rev la Acad Colomb Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* 2015;39: 527. doi:10.18257/raccefy.209
2. Basile PA. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y MORFODINÁMICA DE RÍOS ALUVIALES. UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario. 2018.
3. Béjar M, Vericat D, Nogales I, Gallart F, Batalla RJ. Effects of gravel mining on suspended sediment transport in mountain rivers (Upper river cinca, central pyrenees). *Geogr Res Lett.* 2018;44: 641–658. doi:10.18172/cig.3256
4. Gordon WM. Downstream effects of dams on alluvial rivers. 1286th ed. United States. Geological Survey, editor. 1984.
5. García-Anquela JA, Tena JM, Mandado JA. Las explotaciones de áridos como factor modificador de los cauces fluviales naturales. *Cuad Investig Geográfica.* 1985;11: 83. doi:10.18172/cig.945
6. Kondolf GM. PERFIL: agua hambrienta: efectos de presas y extracción de grava en cauces fluviales. *Gestión Ambient.* 1997;21: 533–551.
7. P. J. Wood y P. D. Armitage. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environ Manage.* 1997;21: 203–217.
8. J. I. Jones, J. F. Murphy, A. L. Collins, D. S. Sear PSN y PDA. THE IMPACT OF FINE SEDIMENT ON MACRO-INVERTEBRATES. *River Res Appl.* 2012;28: 1055–1071.
9. Yang SL, Belkin IM, Belkina AI, Zhao QY, Zhu J, Ding PX. Delta response to decline in sediment supply from the Yangtze River: Evidence of the recent four decades and expectations for the next half-century. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2003;57: 689–699. doi:10.1016/S0272-7714(02)00409-2
10. Wang H, Yang Z, Saito Y, Liu JP, Sun X, Wang Y. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climate change and human activities. *Glob Planet Change.* 2007;57: 331–354. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.01.003
11. Gao S, Wang YP, Gao J hua. Sediment retention at the Changjiang sub-aqueous delta over a 57 year period, in response to catchment changes. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2011;95: 29–38. doi:10.1016/j.ecss.2011.07.015
12. J. L. Pretty AGH y MT. Nutrient dynamics in relation to surface–subsurface hydrological exchange in a groundwater fed chalk stream. *J Hydrol.* 2006;330: 84–100.
13. K. L. Parkill y J. S. Gilliver. Effect of inorganic sediment on whole-stream productivity. *Hydrobiologia.* 2002;472: 5–17.

14. Aguirre-Pe J, Olivero ML, Moncada AT. Transporte de sedimentos en cauces de alta pendiente. Ing del agua. 2000;7: 353. doi:10.4995/ia.2000.2851
15. Gray JR, Laronne JB, Osterkamp W. Bedload research international cooperative: BRIC. 2007.
16. Maza J. Introduction to river engineering. Adv Course Water Resour Manag Univ Ital per Stranieri. 1987.
17. iAgua. El INP impulsa el Plan Integral de Aprovechamiento Hidroeléctrico de la cuenca del Río Guayllabamba en Ecuador. 2012. Available: <https://www.iagua.es/noticias/inp/12/08/08/el-inp-impulsa-el-plan-integral-de-aprovechamiento-hidroelectrico-de-la-cuenca-del-rio-guayllabamba-19878>
18. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ¿Cómo se produce el proceso de transporte de sedimentos en los ríos? In: iagua [Internet]. 2014. Available: <https://www.iagua.es/noticias/mexico/imta/14/12/22/como-se-produce-proceso-transporte-sedimentos-lo-rios>
19. L. J. Jaramillo y R. D. Ramírez. Transporte de sedimentos en las corrientes del departamento de Antioquia. Rev Ing Univ Medellín. 2005;4: 101–109.
20. Guacapiña G, Lasso A. Valoración de la Calidad del Recurso Hídrico en la Subcuenca del río Alambi y Propuesta del Plan de Manejo. 2017; 135.
21. CELEC EP. Hidrología - Central Hidroeléctrica Manduriacu. 2015. Available: <https://www.celec.gob.ec/cocacodosinclair/index.php/nosotros/14-celec-ep-coca-codo-sinclair/blog/hidrologia-central-hidroelectrica-manduriacu/118>
22. Burbano N, Becerra S, Pasquel E. Introducción a la Hidrogeología del Ecuador 2da Edición. Recuper http://www.Serv.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf. 2014.
23. INAMHI. Inamhi Nota Explicativa. 2011. Available: <https://issuu.com/inamhi/docs/notaexplicativa/5>
24. Tucci C. Plan De Manejo Integrado De Los Recursos Hídricos. BID Banco Interam Desaro Económico y FONAG Fondo para la Protección del Agua. 2009; <http://www.fonag.org.ec/aguafondo/pmrhg050110.pdf>.
25. Chow V Te. Hidrología Aplicada. Editorial. Santafé de Bogotá; 1994.
26. Vélez Upegui JJ, Botero Gutiérrez A. Estimacion Del Tiempo Concentracion Y De Rezago En La Cuenca Experimental Urbana De La Quebrada San Luis , Manizales. Dyna. 2010;165: 58–71. Available: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>
27. Brieva C. CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS PNAGUA – PE 1133022 “Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas.” Programa Nac Agua - Pnagua Inst

Nac Tecnol Agropecu. 2018;1: 161. Available:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

28. Apaella R. Hidráulica Fluvial. Primera Ed. Vilcapoma J, Perales R, editors. Lima: Fondo Editorial - UNALM.2014;2014.
29. Espinoza J. Determinación del gasto sólido total y calibración del gasto sólido de fondo mediante los métodos de H. A. Einstaein Y Meyer-Peter & Muller, para el Río Sama, región Tacna. Univsersidad Nacional Agraria La Molina. 2004.
30. Goyburo Peña A. MONITOREO Y CARACTERIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DURANTE CRECIDAS O EVENTOS EXTREMOS DE EL NIÑO EN EL RÍO TUMBES. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 2017.
31. Turowski JM, Rickenmann D, Dadson SJ. The partitioning of the total sediment load of a river into suspended load and bedload: A review of empirical data. *Sedimentology*. 2010;57: 1126–1146. doi:10.1111/j.1365-3091.2009.01140.x
32. Alba S, Alcázar M, Cermeño F, Barbero F. Erosión Y Manejo Del Suelo. Importancia Del Laboreo Ante Los Procesos Erosivos Naturales Y Antrópicos. *Agric Ecológica*. 2011;7: 13–38. Available: http://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13_38.pdf
33. Escobar D. Erosion De Suelos. 2018;54. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/9/cap8.pdf>
34. Julien P. Erosion and Sedimentation. (Cambridge Univ Press Ed. 2010;2nd ed. doi:doi:10.1017/CBO9780511806049
35. Yang C., Randle T., Daraio J. Erosion and Sedimentation Manual. 2006. doi:10.1300/J155v07n03_01
36. Ackermann F, Schubert B. Trace Metals as Indicators for the Dynamics of (Suspended) ParticulateMatter in the Tidal Reach of the River Elbe. *Springer, Environ Eng*. 2007; 430.
37. Perillo GM. Dinámica del transporte Sedimentos. *Asoc Argentina Sedimentol*. 2003;201.
38. Spalleti L. Nociones sobre transporte y depositación de sedimentos clásticos. *Rev Fac Cienc Nat y Museo, UNLP, Ser Téc yDid*. 1986;13: 102.
39. Suárez PA, Orfeo O, Vega M. Introducción al estudio de sedimentos fluviales de llanura. *Extensionismo, Innovación y Transf Tecnológica*. 2018;4: 254. doi:10.30972/eitt.402892
40. Gómez N, Charles Donato J, Giorgi A, Guasch H, Mateo P, Sabater S. La biota de los ríos: los microorganismos autótrofos. *Conceptos y técnicas en Ecol Fluv*. 2009;219–247.
41. van Rijn L. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. *Princ Sediment Transp Rivers , Estuaries Coast Seas*. 1993;1–17.

42. Oyarzún CE, Frêne C, Lacrampe G, Huber A, Hervé P. Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. *Bosque*. 2011;32: 10–19. doi:10.4067/S0717-92002011000100002
43. Universidad Nacional de Córdoba. Cátedra de obras hidráulicas; obras fluviales. Univ Nac Córdoba. 2014; 1–41. Available: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/hidraul/ObrasHidraulicas/oh_archivos/FLUVIAL.PDF
44. Martín Vide J. Ingeniería fluvial. Edicions UPC. 1997.
45. Bowles E. Propiedades geofísicas de los suelos. Mc Graw-Hill; 1982.
46. OMM. Guía de prácticas hidrológicas. 2011; Volumen I. doi:OMM-No 168
47. Pombosa R, Molina J. Manual Práctico de Operaciones Hidrométricas . INAMHI. 2020.
48. Holmes R., Holmes R. Measurement of bedload transport in sand-bed rivers: A look at two indirect sampling methods. *US Geol Surv Sci Investig Rep*. 2010;1914: 236–252. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Measurement+of+Bedload+Transport+in+Sand-Bed+Rivers+:+A+Look+at+Two+Indirect+Sampling+Methods#0>
49. Celeri. A. Cálculo de descarga sólida. *Hidrosedimentología*. 2008; 225.
50. Curran JC, Waters KA, Cannatelli KM. Real time measurements of sediment transport and bed morphology during channel altering flow and sediment transport events. *Geomorphology*. 2015;244: 169–179. doi:10.1016/j.geomorph.2015.03.009
51. Espejo G, Maliza J. DETERMINACIÓN DE LA CARGA SEDIMENTARIA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO NAPO, PROVINCIA NAPO, PERÍODO 2019-2020. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES. Universidad Técnica De Cotopaxi Facultad. 2018. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>
52. Lewis WM, Saunders JF. Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry*. 1989;7: 203–240. doi:10.1007/BF00004218
53. Aguilar J, Naranjo L. Elaboración de la base de información hidrometeorológica de la cuenca del río Guayas para el procesamiento con el modelo hydraccess ante inundaciones. 2018; 169. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15838/1/T-UCE-0011-ICF-014.pdf>
54. Pereyra LE. Hydraccess, manual de usuario basico. 2017; 67. Available: https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manuales_tecnicos_de_oficina/Manual_HYDRACCESS.pdf
55. Kaless G. Evaluación del modelo RUSLE para estimar la erosión de suelos en ambientes de clima desértico en patagonia. *Cuad Ing Civ Orientación Hidráulica*. 2015;2.

56. Iroume A. Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la Cordillera de los Andes de la Novena Región de Chile. 2003;24: 125–135. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000100010>
57. Montero R. Modelos de regresión lineal múltiple. Doc Trab en Econ Apl. 2016; 60. Available: https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf
58. Sarango CS. Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en Cuenca El Limón, en el río Zamora. Univ Técnica Part Loja. 2013;1: 125.
59. Rojo Abuín JM. Regresión lineal múltiple. Inst Econ y Geogr. 2008;150:22–23.
60. Piscitelli, Marcela; Varni, Marcelo; Sfeir AAMG. Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul - Buenos Aires). Rev la Fac Agron La Plata. 2010;109: 17–22.
61. Gisbert J, Ibañez S, Moreno H. El Factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). 2008;9.
62. Gvozdenovich J, Crettaza E, Saluzzio M. Calculo del factor R de la USLE a traves del indice modificado de Fournier. 2016;9. Available: <https://www.researchgate.net/publication/321058206>
63. Geler Roffe T, Penteadó Crósta A, Perez Filho A. XV Encuentro de Geógrafos de América Latina Cuba 2015. Análisis del Factor LS en los Difer Model predicción la erosión hídrica del suelo. 2015; 16. Available: <http://observatorigeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>
64. Gvozdenovich J, Saluzzio M. Propuesta De Modificacion En El Cálculo Del Factor Ls De La Usle. INTA EEA Paraná. 2016; 8. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjX9qrK1_rzAhVJILkGHW-ABw4QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F321058434_PROPUESTA_DE_MODIFICACION_EN_EL_CALCULO_DEL_FACTOR_LS_DE_LA_USLE&usg=AOvVaw1YIB
65. Lianes E, Marchamalo M, Roldán M. Evaluación del Factor C de la Rusle para el Manejo de Coberturas Vegetales en el Control de la Erosión en la Cuenca del Río Birrís, Costa Rica. Agron Costarric. 2009;33: 217–235. Available: www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_217.pdf
66. Clerici C, García Préchac F. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. Agrociencia. 2001; 92–103. Available: <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL5/1/p92-103.pdf>
67. Rosales O. Aplicación del modelo RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica. Caso de estudio de la cuenca del río Chota, Ecuador. UNIGIS. 2020.

68. Martínez Ortega RM, Tuya Pendás LC, Martínez Ortega M, Pérez Abreu A, Cánovas AM. EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. Rev Habanera Ciencias Médicas. 2009;8: 1–20.
69. Ibáñez S, Moreno H, Gisbert J. Morfología de las cuencas hidrográficas. Univ Politécnica Val. 2010; 12.
70. Florensa D. ESTUDIO DEL ESTADO EROSIVO DE LAS CUENCAS VERTIENTES AL RÍO GUADARRAMA A SU PASO POR CARRANQUE (TOLEDO). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. 2012.
71. Díaz D V. Estudio de transporte de sedimentos en la cuenca del río Ronquillo. Univ Nac Cajamarca. 2018; 1–96. Available: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2037>
72. LARAQUE A, GUYOT JL, POMBOSA R. Hidroclimatología del Oriente e hidrosedimentología de la Cuenca del Napo. Institut f. In: Baby P, Rivadeneira M, Barragán R, editors. La Cuenca Oriente: Geología y petróleo [en línea]. Institut f. 2004. doi:10.4000/books.ifea.3005
73. Baby P, Guyot JL, Deniaud Y, Zubieta D, Christophoul F. The High Amazonian Basin : tectonic control and mass balance. Hydrol Geochemical Process large scale river basins. 1998; 1–6.
74. Quispe E, Rafael F, Ramírez G, Ramos A, Ramos J, Ramos J, et al. INVESTIGACIÓN ACERCA DE LA HIDROELÉCTRICA SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO. 2021. Available: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-centro-del-peru/realidad-nacional-y-globalizacion/proyecto-de-investigacion/23840892>
75. Kopas J, Puentes A. Grandes Represas en América. ¿Peor el remedio que la enfermedad? Principales consecuencias ambientales y en los derechos humanos y posibles alternativas. 2009. Available: http://www.aida-americas.org/sites/default/files/InformeAIDA_GrandesRepreseas_BajaRes.pdf
76. Ramirez CA, Bocanegra RA, Santacruz S, Quintero HJ, Sandoval MC. Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río. Ing Y Compet. 2011;11: 79–93. doi:10.25100/iyc.v11i2.2463
77. Alarcón S. Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río. Universidad del Azuay. 2016. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5831/1/12151.pdf>
78. Dourojeanni A, Jouravlev A. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. 1999.
79. Cevallos Meza RJ, Ruales Lara ME. Estudio de la geodinámica actual del río Napo (Amazonía Ecuatoriana - Peruana) usando datos hidrológicos y de DGPS. 2005; 196. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/2666>
80. Brea JD, Spalleti P. Generación y transporte de sedimentos en la Cuenca Binacional del Río

Bermejo. Caracter y análisis los procesos intervinientes COBINABE, Buenos Aires. 2010.

81. Polanski J. Flujos rápidos de escombros rocosos en zonas áridas. Editorial Universitaria de Buenos Aires; 1966.
82. Collinson J. Alluvial sediments. Sediment Environ Process facies, Stratigr. 1996; 37–82.
83. Rafaelli S, Peviani M, Perez Ayala F. Estudio de Produccion de sedimentos en la Cuenca Montanosa del Rio Iruya (Argentina). XVIII Congreso Latinoamericano de Hidraulica Oaxaca, Mexico. 1998. pp. 215–224.

7. ANEXOS

Anexo 1-6: Resultados de laboratorio estación Alambi en Churupamba (H0136)



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0136
ESTACION: ALAMBI EN CHURUPAMBA
CUENCA : ESMERALDAS

N°	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (UpH)	T° (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO S. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	76-11-22	0,62	0,62	-	-	-	5,85	0,0500	0,2925
2	77-02-24	0,90	0,90	-	-	-	14,79	0,0710	1,0501
3	77-02-28	0,90	0,90	-	-	-	15,43	0,0730	1,1264
4	77-04-22	1,00	1,00	-	-	-	23,24	0,1510	3,5092
5	77-04-26	1,52	1,52	-	-	-	71,16	3,1200	222,0192
6	77-06-25	0,85	0,85	-	-	-	12,65	0,0430	0,5440
7	77-08-08	0,69	0,69	-	-	-	6,71	0,0320	0,2147
8	77-08-09	0,69	0,69	-	-	-	7,15	0,0600	0,4290
9	77-09-21	0,60	0,60	-	-	-	4,57	0,0400	0,1828
10	77-09-28	0,71	0,71	-	-	-	5,76	0,0970	0,5587
11	77-11-30	0,58	0,58	-	-	-	5,03	0,0410	0,2062
12	78-02-21	0,91	0,91	-	-	-	17,57	0,0360	0,6325
13	78-02-28	0,88	0,88	-	-	-	14,73	0,0310	0,4566
14	78-04-11	1,16	1,16	-	-	-	34,24	0,1110	3,8006
15	78-05-17	1,08	1,08	-	-	-	26,21	0,2430	6,3690
16	78-05-24	1,00	1,00	-	-	-	21,64	0,0430	0,9305
17	78-02-20	0,80	0,80	-	-	-	11,31	0,0110	0,1244
18	78-05-20	0,76	0,76	-	-	-	9,49	0,0250	0,2373
19	78-09-22	0,61	0,61	-	-	-	5,6	0,0170	0,0952

20	78-11-20	0,60	0,60	-	-	-	5,37	0,0180	0,0967
21	78-11-20	0,60	0,60	-	-	-	3,74	0,0180	0,0673
22	79-02-04	0,84	0,84	-	-	-	13,74	0,0370	0,5084
23	79-02-04	0,83	0,83	-	-	-	13,69	0,0330	0,4518
24	79-05-12	0,83	0,83	-	-	-	19,17	0,0520	0,9968
25	79-05-12	0,97	0,97	-	-	-	19,07	0,0280	0,5340
26	79-05-14	0,95	0,95	-	-	-	19,86	0,0910	1,8073
27	79-07-28	0,71	0,71	-	-	-	8,55	0,0680	0,5814
28	79-07-29	0,72	0,72	-	-	-	8,42	0,0570	0,4799
29	79-10-09	0,68	0,68	-	-	-	7,62	0,0540	0,4115
30	79-12-10	0,60	0,60	-	-	-	5,4	0,0630	0,3402
31	81-02-20	1,14	1,14	-	-	-	27,14	3,7020	100,4723
32	81-04-07	1,38	1,38	-	-	-	50,91	0,0630	3,2073
33	81-06-01	0,86	0,86	-	-	-	14,24	0,0160	0,2278
34	81-06-02	0,96	0,96	6,50	18,6	-	17,897	0,0587	1,0506
35	82-01-07	1,16	1,18	-	-	-	32,711	0,0580	1,8972
36	82-05-19	1,02	1,02	-	-	-	24,47	0,0690	1,6884
37	82-07-10	0,77	0,77	7,00	18,6	-	11,078	0,1211	1,3415
38	82-09-11	0,62	0,62	6,50	13,0	-	5,099	0,0475	0,2422
39	83-03-26	0,79	0,79	-	-	-	34,909	0,0253	0,8832
40	83-05-11	1,01	1,01	-	-	-	23,27	0,8690	20,2216
41	83-06-14	0,94	0,94	-	-	-	18,891	0,2500	4,6728
42	83-08-28	0,55	0,55	-	-	-	26,41	0,0990	2,6146
43	83-10-21	0,60	0,60	7,00	18,0	-	6,664	0,2936	1,9566
44	83-10-26	0,63	0,63	-	-	-	7,63	0,4840	3,6929
45	83-12-07	0,92	0,92	-	-	-	23,05	0,8150	18,7858
46	84-01-16	0,90	0,90	-	-	-	18,21	0,1910	3,4781
47	84-05-10	0,98	0,98	-	-	-	24,67	0,3960	9,7693
48	84-05-11	0,98	0,98	7,00	19,2	-	20,98	0,5134	10,7711
49	84-05-28	0,84	0,84	-	-	-	17,32	0,6420	11,1194
50	84-06-02	0,76	0,76	-	-	-	12,18	0,608	7,4054
51	84-09-20	0,88	0,88	-	-	-	17,396	3,63	63,1475

52	84-10-03	0,69	0,69	6,70	18,0	-	9,52	1,6242	15,4624
53	84-12-13	0,76	0,76	-	-	-	12,31	0,64	7,8784
54	85-02-01	1	1	-	-	-	24,729	1,374	33,9776
55	85-06-25	0,76	0,76	7,40	-	145,0	10,785	0,2599	2,8030
56	89-09-03	1,23	1,23	-	-	-	29,661	0,35	10,3814
57	89-06-19	0,89	0,89	-	-	-	15,088	0,134	2,0218
58	91-01-24	0,86	0,86	-	-	-	12,739	0,105	1,3376
59	09-09-30	0,46	0,46	-	-	-	3,696	0,0056	0,0207
60	09-10-23	0,44	0,44	-	-	-	3,951	0,0064	0,0253
61	19-11-20	0,63	0,63	-	-	-	8,035	0,1312	1,0539
62	19-12-09	0,89	0,89	-	-	-	17,489	0,2316	4,0511
63	20-09-12	0,58	0,58	8,66	22,8	157,4	7,15	0,0158	0,1131
64	20-09-23	0,55	0,55	8,39	21,7	166,9	6,407	0,0158	0,1013
65	20-10-15	0,53	0,53	8,27	21,2	169,1	11,748	0,0088	0,1036
66	20-10-26	0,55	0,55	8,39	21,7	161,7	10,886	0,0156	0,1697
67	20-11-09	0,50	0,50	8,24	20,3	168,1	8,166	0,0094	0,0765
68	20-11-22	0,54	0,54	7,82	21,8	161,9	5,212	0,1332	0,6942
69	20-12-07	0,55	0,55	-	-	-	33,85	0,6385	21,6118
70	21-03-22	1,18	1,17	7,50	17,8	100,8	33,524	0,5359	17,9665

Anexo 2-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba D.J. Alambi (H0146)



**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS**

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0146
ESTACION: GUAYLLBAMBA D.J. ALAMBI
CUENCA : ESMERALDAS

N°	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (UpH)	T° (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO \$. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	75-10-23	2,03	2,03	-	-	-	97,070	1,9850	192,6840
2	75-10-24	1,87	1,87	-	-	-	96,950	0,9820	95,2049
3	75-10-24	1,86	1,86	-	-	-	94,940	0,9030	85,7308
4	76-04-02	1,00	1,00	-	-	-	263,030	0,2920	76,8048
5	76-04-03	1,10	1,10	-	-	-	242,260	0,2380	57,6626
6	76-04-04	1,12	1,12	-	-	-	230,820	0,2310	53,3194
7	76-05-21	1,57	1,57	-	-	-	203,490	1,5590	317,2409
8	76-05-21	1,58	1,58	-	-	-	187,870	1,3890	260,9514
9	76-01-07	1,14	1,14	-	-	-	122,200	0,3710	45,3362
10	76-07-02	1,31	1,31	-	-	-	150,980	0,3590	54,2018
11	76-07-02	1,24	1,24	-	-	-	155,420	0,4880	75,8450
12	76-02-07	1,44	1,44	-	-	-	175,910	0,5550	97,6301
13	76-08-27	1,13	1,13	-	-	-	111,510	22,4760	2506,2988
14	76-08-28	0,86	0,86	-	-	-	72,710	2,2140	160,9799
15	76-06-28	0,82	0,82	-	-	-	66,630	2,1780	145,1201
16	76-11-21	0,82	0,82	-	-	-	84,490	1,0420	88,0386
17	76-11-20	0,81	0,81	-	-	-	86,810	1,6950	147,1430
18	76-11-21	0,84	0,84	-	-	-	92,210	0,9980	92,0256
19	77-02-26	1,23	1,23	-	-	-	125,580	3,0800	386,7864

20	77-02-26	1,17	1,17	-	-	-	116,780	2,4200	282,6076
21	77-02-27	1,10	1,10	-	-	-	106,040	0,3000	31,8120
22	77-04-24	1,51	1,51	-	-	-	172,220	1,4300	246,2746
23	77-04-25	1,38	1,38	-	-	-	150,320	0,6930	104,1718
24	77-06-22	0,98	0,98	-	-	-	87,790	0,1900	16,6801
25	77-06-23	0,98	0,98	-	-	-	87,550	0,2400	21,0120
26	77-06-24	0,95	0,95	-	-	-	89,500	0,1040	9,3080
27	77-08-05	0,65	0,65	-	-	-	55,190	0,1140	6,2917
28	77-08-06	0,66	0,66	-	-	-	55,910	0,1090	6,0942
29	77-08-07	0,72	0,72	-	-	-	62,340	10,1030	629,8210
30	77-09-22	0,65	0,65	-	-	-	58,480	1,1730	68,5970
31	77-09-23	0,71	0,71	-	-	-	62,390	1,1510	71,8109
32	77-09-24	0,81	0,81	-	-	-	78,230	1,0650	83,3150
33	77-12-02	0,71	0,71	-	-	-	59,770	0,4220	25,2229
34	78-02-22	0,88	0,88	-	-	-	82,140	0,1700	13,9638
35	78-02-23	0,96	0,96	-	-	-	92,280	0,1670	15,4108
36	78-02-23	0,86	0,86	-	-	-	63,660	0,2650	16,8673
37	78-02-24	1,08	1,08	-	-	-	105,890	0,2410	25,5195
38	78-04-12	1,43	1,43	-	-	-	220,340	1,1850	261,1029
39	78-04-13	1,40	1,40	-	-	-	209,170	1,7300	361,8641
40	78-04-21	1,74	1,71	-	-	-	233,600	3,9119	913,8198
41	78-05-23	1,20	120,00	-	-	-	130,540	0,1740	22,7140
42	78-06-21	1,07	1,07	-	-	-	106,710	0,1650	17,6072
43	78-06-22	1,07	1,07	-	-	-	67,520	0,5900	39,8368
44	78-07-18	0,88	0,88	-	-	-	87,610	0,8900	77,9729
45	78-07-19	0,93	0,93	-	-	-	95,830	0,6220	59,6063
46	78-09-22	0,56	0,56	-	-	-	24,460	0,2973	7,2720
47	78-09-23	0,58	0,58	-	-	-	51,730	0,2510	12,9842
48	78-09-24	0,60	0,60	-	-	-	54,180	0,3210	17,3918
49	78-11-29	0,48	0,48	-	-	-	42,640	0,2420	10,3189
50	78-11-30	0,57	0,57	-	-	-	49,620	0,742	36,8180
51	79-02-06	0,80	0,80	-	-	-	72,930	0,225	16,4093

52	79-02-07	0,88	0,88	-	-	-	81,380	0,326	26,5299
53	79-02-07	0,79	0,79	-	-	-	70,070	0,219	15,3453
54	79-05-01	1,77	1,77	-	-	-	216,210	1,03	222,6963
55	79-05-01	1,81	1,81	-	-	-	234,540	2,41	565,2414
56	79-05-01	1,85	1,85	-	-	-	260,530	1,55	403,8215
57	79-02-01	1,87	1,87	-	-	-	260,060	1,762	458,2257
58	79-05-01	1,79	1,79	-	-	-	225,900	2,252	508,7268
59	79-05-02	1,89	1,89	-	-	-	294,770	2,345	691,2357
60	79-05-02	2,00	2,00	-	-	-	293,870	3,005	863,0794
61	79-05-02	1,96	1,96	-	-	-	303,880	4,213	1280,2464
62	79-05-02	1,90	1,90	-	-	-	272,740	5,425	1479,6145
63	79-05-02	1,81	1,81	-	-	-	260,900	5,245	1368,4205
64	79-05-02	1,76	1,76	-	-	-	234,180	3,466	811,6679
65	79-07-24	0,71	0,71	-	-	-	67,550	0,241	16,2796
66	79-10-01	0,69	0,69	-	-	-	33,140	1,183	39,2046
67	79-10-08	0,71	0,71	-	-	-	34,530	1,328	45,8558
68	79-10-08	0,70	0,70	-	-	-	60,200	0,591	35,5782
69	79-12-05	1,33	1,32	-	-	-	141,300	1,279	180,7227
70	79-12-12	0,47	0,47	-	-	-	44,170	0,49	21,6433
71	79-12-13	0,65	0,65	-	-	-	60,620	0,855	51,8301
72	80-06-12	1,25	1,25	-	-	-	138,400	1,0327	142,9257

Anexo 3-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba D.J. Pisque (H0148)



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0148
ESTACION: GUAYLLABAMBA D.J. PISQUE
CUENCA : ESMERALDAS

N°	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (UpH)	T° (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO S. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	78-07-13	1,05	1,05	-	-	-	21,700	0,5780	12,5426
2	78-07-24	0,58	0,58	-	-	-	19,410	0,6150	11,9372
3	78-09-13	0,83	0,83	-	-	-	28,460	0,2460	7,0012
4	78-09-18	0,81	0,81	-	-	-	27,770	0,1890	5,2485
5	78-09-20	0,78	0,78	-	-	-	27,000	0,1580	4,2660
6	78-11-15	0,70	0,70	-	-	-	21,260	0,1410	2,9977
7	79-08-04	0,55	0,55	-	-	-	22,090	0,2340	5,1691
8	79-10-13	0,68	0,68	-	-	-	27,130	1,5930	43,2181
9	79-12-18	0,77	0,77	-	-	-	29,510	4,6100	136,0411
10	80-12-20	0,60	0,60	-	-	-	20,245	0,5554	11,2441
11	81-04-11	0,46	0,46	-	-	-	63,200	0,1190	7,5208
12	81-05-30	-0,40	-0,40	6,50	20,2	-	41,720	0,6367	26,5631
13	81-06-05	-0,66	-0,66	-	-	-	22,940	1,3840	31,7490
14	81-11-29	0,53	0,53	-	-	-	33,350	0,5830	19,4431
15	82-05-16	-0,20	-0,20	-	-	-	35,020	0,3140	10,9963
16	82-09-16	-0,40	-0,40	-	-	-	14,320	0,9728	13,9305
17	83-04-04	0,28	0,28	-	-	-	69,100	1,8940	130,8754
18	83-06-10	0,20	0,20	-	-	-	46,800	0,3195	14,9526
19	83-10-18	0,10	0,10	-	-	-	36,750	0,3602	13,2374

20	83-10-31	0,09	0,09	-	-	-	38,040	1,3270	50,4791
21	83-12-13	0,15	0,15	-	-	-	44,580	1,5630	69,6785
22	84-01-26	0,06	0,06	-	-	-	29,380	0,5200	15,2776
23	84-02-28	0,30	0,30	-	-	-	53,970	1,2200	65,8434
24	84-03-08	0,21	0,21	-	-	-	51,010	0,4360	22,2404
25	84-04-24	0,34	0,34	-	-	-	62,360	3,2640	203,5104
26	84-05-08	0,30	0,30	7,00	18,0	-	94,000	0,1547	14,5418
27	84-06-03	0,32	0,32	-	-	-	60,130	0,2830	17,0168
28	84-06-20	0,12	0,12	-	-	-	41,630	0,1090	4,5377
29	84-08-06	-0,06	-0,06	-	-	-	30,400	0,3220	9,7888
30	84-09-06	-0,45	-0,45	-	-	-	17,390	0,9430	16,3988
31	84-09-16	-0,03	-0,03	-	-	-	36,381	0,8550	31,1058
32	84-09-29	0,22	0,22	-	-	-	56,895	0,1694	9,6380
33	84-10-29	0,18	0,18	-	-	-	47,328	0,1470	6,9572
34	84-12-01	0,48	0,48	-	-	-	79,030	0,4480	35,4054
35	85-01-25	0,11	0,11	-	-	-	43,938	0,4730	20,7827
36	92-10-22	0,90	0,90	7,00	19,0	-	16,458	0,2121	3,4907
37	93-04-23	1,40	1,40	-	15,5	-	67,687	0,2466	16,6916
38	94-03-14	1,50	1,50	-	16,0	-	75,283	0,1698	12,7831
39	96-11-25	0,73	0,73	-	17,4	-	20,273	0,0719	1,4576
40	03-05-20	1,26	1,26	7,60	-	260,0	36,635	0,4297	15,7421
41	06-02-26	1,68	1,68	7,00	-	497,3	33,472	0,3434	11,4943
42	06-10-27	2,00	2,00	8,70	20,2	541,0	13,801	0,1651	2,2785
43	07-02-23	2,48	2,48	7,96	19,8	572,0	15,242	0,5917	9,0187
44	07-08-17	2,60	2,60	7,11	17,7	373,0	24,747	0,3772	9,3346
45	07-11-21	2,73	2,73	7,85	18,4	413,0	28,942	0,1128	3,2647
46	08-07-06	2,62	2,62	7,50	17,8	351,0	49,280	0,6535	32,2045
47	09-08-10	2,34	2,34	7,21	18,9	364,0	24,272	0,1038	2,5194
48	09-11-29	2,46	2,46	-	-	-	36,900	0,3979	14,6825
49	10-02-05	2,18	2,18	-	-	-	13,212	0,3418	4,5159
50	10-06-29	2,42	2,42	7,60	17,5	392,0	28,914	0,0623	1,8013
51	12-05-07	2,59	2,59	8,12	19,8	339,0	49,423	0,0894	4,4184

52	12-11-11	2,33	2,33	8,08	25,0	234,0	29,226	0,7233	21,1394
53	13-04-08	3,25	3,2	-	18,8	201,0	158,005	3,8240	604,2180
54	14-05-12	2,37	2,32	-	-	-	24,982	0,0818	2,0443
55	15-03-25	2,7	2,7	8,10	21,4	314,0	82,471	3,2647	269,2445
56	17-02-23	2,48	2,48	8,24	18,8	-	40,525	1,0677	43,2679
57	19-11-22	2,29	2,33	-	-	-	45,009	1,4054	63,2576
58	19-12-09	2,49	2,45	-	-	-	55,286	2,8988	160,2630
59	20-09-17	2,12	2,12	9,21	22,0	502,00	28,876	0,9163	26,4577
60	20-09-29	2,11	2,07	9,12	21,3	523,0	25,432	0,6934	17,6347
61	20-10-18	1,98	1,98	8,26	24,9	243,0	20,689	0,1415	2,9278
62	20-10-29	2,10	2,12	8,75	24,9	570,0	33,896	1,2222	41,4292
63	20-11-12	2,00	1,98	-	-	-	20,671	0,0423	0,8751
64	20-11-25	2,15	2,17	8,12	19,4	488,0	30,628	0,0795	2,4342
65	20-12-10	2,28	2,28	-	-	-	38,866	0,6289	24,4415
66	21-04-01	2,48	2,46	8,25	19,1	338,0	66,720	0,5908	39,4205

Anexo 4-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba en Pte. Chacapata (H0149)



**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS**

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0149
ESTACION: GUAYLLABAMBA EN PTE CHACAPATA
CUENCA : ESMERALDAS

N°	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (Uph)	T° (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO s. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	78-09-21	1,04	1,04	-	-	-	29,230	0,3580	10,4643
2	78-09-28	1,21	1,21	-	-	-	43,930	1,8030	79,2058
3	78-11-28	1,00	1,00	-	-	-	24,120	0,4700	11,3364
4	79-02-05	1,00	1,00	-	-	-	31,160	0,4540	14,1466
5	7902-05	1,00	1,00	-	-	-	29,500	0,4690	13,8355
6	79-02-11	0,99	0,99	-	-	-	27,550	0,1078	2,9699
7	79-05-13	1,28	1,28	-	-	-	48,860	1,0720	52,3779
8	79-06-30	1,08	1,08	-	-	-	30,900	0,6270	19,3743
9	79-10-11	1,07	1,07	-	-	-	31,160	1,4800	46,1168
10	79-12-11	0,97	0,97	-	-	-	25,970	1,8850	48,9535
11	80-05-31	1,17	1,17	-	-	-	33,780	0,2480	8,3774
12	80-07-31	1,08	1,08	-	-	-	33,570	0,1540	5,1698
13	80-09-18	0,98	0,98	-	-	-	21,030	0,5010	10,5360
14	80-12-11	1,11	1,11	-	-	-	24,980	0,4020	10,0420
15	81-02-21	1,30	1,30	-	-	-	44,540	4,6560	207,3782
16	81-04-08	1,85	1,85	-	-	-	158,940	0,2010	31,9469
17	81-02-06	1,17	1,17	-	-	-	43,610	1,0810	47,1424
18	83-07-24	1,45	1,45	-	-	-	35,150	0,1960	5,4834
19	83-10-29	1,28	1,28	-	-	-	50,220	1,3690	68,7512
20	83-12-08	1,32	1,32	-	-	-	57,000	0,3040	17,3280
21	84-01-16	1,33	1,33	-	-	-	56,900	0,2590	14,7371
22	84-03-10	1,43	1,43	-	-	-	79,690	0,9140	72,8367
23	84-05-29	1,61	1,61	-	-	-	100,830	0,8150	82,1765
24	84-07-05	1,30	1,30	-	-	-	49,800	0,3690	18,3762
25	84-09-20	1,56	1,56	-	-	-	81,930	2,3050	188,8487
26	84-12-13	1,28	1,28	-	-	-	49,848	0,0075	0,3739
27	85-02-02	1,35	1,35	-	-	-	53,612	0,2220	11,9019
28	82-02-05	1,20	1,20	-	-	-	39,301	0,1920	7,5458
29	85-05-18	1,14	1,14	-	-	-	32,886	0,1260	4,1399
30	85-06-20	1,85	1,85	-	-	-	35,947	0,1530	5,4999
31	85-07-19	1,19	1,19	-	-	-	38,627	0,2380	9,1932
32	06-11-21	1,16	1,14	6,85	18,0	335,0	52,449	4,9224	258,1750
33	09-10-01	0,80	0,80	-	-	-	19,363	0,0898	1,7388
34	09-10-22	1,07	1,06	-	-	-	38,886	1,2767	49,6075
35	09-11-28	0,98	0,98	-	-	-	30,416	0,4660	14,1739
36	09-11-28	0,93	0,93	-	-	-	29,542	0,4614	13,6307
37	09-11-29	1,23	1,17	-	-	-	58,718	3,0589	179,6125
38	09-11-29	1,16	1,16	-	-	-	47,206	3,1078	146,7068
39	09-12-05	1,10	1,10	-	-	-	48,989	7,6699	375,7407
40	09-12-05	1,08	1,08	-	-	-	46,326	5,1420	238,2083
41	0912-06	0,99	0,99	-	-	-	36,414	0,4641	16,8997
42	09-12-06	0,99	0,99	-	-	-	32,291	0,6326	20,4273
43	10-01-28	0,96	0,96	-	-	-	30,002	0,6430	19,2913
44	10-03-25	0,94	0,94	-	-	-	26,069	0,2740	7,1429
45	11-02-15	1,56	1,54	-	-	-	125,192	2,6709	334,3753
46	12-05-08	1,20	1,20	8,21	21,6	387,0	57,380	0,1286	7,3791
47	12-11-08	0,98	0,98	6,32	25,0	614,0	32,821	0,5327	17,4833
48	13-04-10	0,95	0,95	-	-	-	29,841	0,9012	26,8930
49	13-10-22	0,96	0,94	8,00	21,2	516,0	26,090	0,2216	5,7827
50	14-05-15	1,4	1,4	-	21,2	300,0	94,442	1,6346	154,3789
51	15-03-18	1,18	1,22	-	23,5	349,0	74,311	1,8400	136,7304

52	16-03-18	1,03	1,03	8,44	22,4	422,0	20,896	3,5573	74,3329
53	17-03-16	1,44	1,44	8,21	21,9	270,0	117,186	23,3018	2730,6458
54	18-11-23	0,98	0,98	-	-	-	52,845	10,0226	529,6463
55	19-11-21	1,16	1,14	-	-	-	81,654	1,1645	96,0853
56	19-12-10	1,06	1,06	-	-	-	62,161	7,1637	445,3017
57	20-09-15	0,74	0,74	8,51	20,5	555,0	22,219	0,4892	10,8698
58	20-09-26	0,87	0,84	8,68	21,7	496,0	34,251	1,0469	35,8589
59	20-10-14	0,75	0,73	8,33	21,5	622,0	33,474	0,4008	13,4170
60	20-10-25	0,89	0,84	8,29	21,5	386,0	40,024	2,0666	82,7151
61	20-11-08	0,74	0,74	8,34	21,3	625,0	26,883	0,0915	2,4610
62	20-11-21	1,46	1,37	7,88	20,1	261,0	162,304	3,0635	497,2210
63	20-12-06	1,05	1,05	-	-	-	99,546	0,2007	19,9771
64	21-03-21	1,38	1,38	8,37	21,8	311,0	108,238	7,1043	768,9528

Anexo 5-6: Resultados de laboratorio estación Intag D.J. pamplona (H0150)



**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS**

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0150
ESTACION: INTAG D.J. PAMPLONA
CUENCA: ESMERALDAS

Nº	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (UpH)	T° (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO S. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	76-11-24	0,28	0,28	-	-	-	17,660	0,0460	0,8119
2	76-11-24	0,27	0,27	-	-	-	17,660	0,0440	0,7722
3	77-03-01	0,52	0,52	-	-	-	30,870	0,0620	1,9139
4	77-03-02	0,50	0,50	-	-	-	29,770	0,0590	1,7564
5	77-04-27	0,76	0,76	-	-	-	52,840	0,4040	21,3474
6	77-04-28	0,70	0,70	-	-	-	49,660	0,2200	10,9230
7	77-06-26	0,39	0,39	-	-	-	27,870	0,0340	0,9476
8	77-06-27	0,40	0,40	-	-	-	27,720	0,0960	2,6334
9	77-06-27	0,38	0,38	-	-	-	25,940	0,0470	1,2192
10	77-08-10	0,25	0,25	-	-	-	19,060	0,0730	1,3907
11	77-08-11	0,20	0,20	-	-	-	17,280	0,1030	1,7798
12	77-09-25	0,50	0,50	-	-	-	31,380	0,4270	13,3993
13	77-09-26	0,68	0,68	-	-	-	33,310	0,2800	9,3268
14	77-09-26	0,49	0,49	-	-	-	32,540	0,2260	7,3540
15	77-12-03	0,15	0,15	-	-	-	16,570	1,8800	31,1516
16	77-12-04	0,16	0,16	-	-	-	17,690	0,1880	3,3257
17	78-02-27	0,47	0,47	-	-	-	31,510	0,0760	2,3948
18	78-02-28	0,49	0,49	-	-	-	32,670	0,0150	0,4901
19	78-04-14	0,85	0,85	-	-	-	65,300	0,2900	18,9370

20	78-04-15	0,85	0,85	-	-	-	65,330	0,2800	18,2924
21	78-05-25	0,67	0,67	-	-	-	44,180	0,0590	2,6066
22	78-06-26	0,60	0,60	-	-	-	42,500	0,0410	1,7425
23	78-06-23	0,40	0,40	-	-	-	27,020	0,0650	1,7563
24	78-06-24	0,40	0,40	-	-	-	25,670	0,0370	0,9498
25	78-06-24	0,40	0,40	-	-	-	27,630	0,0300	0,8289
26	78-07-21	0,30	0,30	-	-	-	23,210	0,0190	0,4410
27	78-07-22	0,32	0,32	-	-	-	25,360	0,0130	0,3297
28	78-02-22	0,35	0,35	-	-	-	23,720	0,0240	0,5693
29	78-12-01	0,20	0,20	-	-	-	14,570	0,1130	1,6464
30	78-12-02	0,22	0,22	-	-	-	16,970	0,0560	0,9503
31	79-02-19	0,41	0,41	-	-	-	27,210	0,2180	5,9318
32	79-05-15	0,58	0,58	-	-	-	45,360	0,8270	37,5127
33	79-05-16	0,62	0,62	-	-	-	47,780	1,0690	51,0768
34	79-07-31	0,32	0,32	-	-	-	22,130	0,1380	3,0539
35	79-08-01	0,33	0,33	-	-	-	23,270	0,1820	4,2351
36	79-10-11	0,29	0,29	-	-	-	20,170	0,4690	9,4597
37	79-10-12	0,28	0,29	-	-	-	19,780	0,4810	9,5142
38	79-12-14	0,19	0,19	-	-	-	16,840	0,2940	4,9510
39	80-06-01	0,50	0,50	-	-	-	36,180	0,2530	9,1535
40	80-06-01	0,50	0,50	-	-	-	35,100	0,2650	9,3015
41	80-07-27	0,24	0,24	-	-	-	22,020	0,0550	1,2111
42	80-07-79	0,24	0,24	-	-	-	21,360	0,1740	3,7166
43	80-09-20	0,24	0,24	-	-	-	21,330	0,1350	2,8796
44	80-09-20	0,21	0,21	-	-	-	13,170	0,1080	1,4224
45	80-12-12	0,24	0,24	-	-	-	22,810	0,2350	5,3604
46	80-12-12	0,23	0,23	-	-	-	22,170	0,1070	2,3722
47	81-02-22	0,97	0,97	-	-	-	66,630	3,0860	205,6202
48	81-02-22	0,92	0,92	-	-	-	65,760	3,7470	246,4027
49	81-04-09	1,04	1,04	-	-	-	88,300	0,3790	33,4657
50	81-04-10	1,04	1,04	-	-	-	88,620	0,6370	56,4509
51	81-06-03	0,58	0,58	-	-	-	39,190	0,0420	1,6460

52	81-06-03	0,57	0,57	-	-	-	39,840	0,0520	2,0717
53	81-11-26	0,32	0,32	-	-	-	23,680	0,1690	4,0019
54	82-03-18	0,85	0,85	-	-	-	63,090	0,1000	6,3090
55	84-01-17	0,87	0,87	-	-	-	52,710	0,3100	16,3401
56	84-02-17	0,88	0,88	-	-	-	52,160	0,2700	14,0832
57	84-01-11	2,48	2,48	-	-	-	63,520	0,1880	11,9418
58	84-01-11	2,48	2,48	-	-	-	65,300	0,1770	11,5581
59	84-05-30	2,11	2,11	-	-	-	69,480	0,0730	5,0720
60	84-05-31	2,17	2,17	-	-	-	68,600	0,0550	3,7730
61	84-07-04	1,8	1,8	-	-	-	41,140	0,0250	1,0285
62	84-09-21	1,61	1,61	-	-	-	51,104	0,2800	14,3091
63	84-09-21	1,62	1,62	-	-	-	52,562	0,2100	11,0380
64	84-12-14	1,58	1,58	-	-	-	41,513	0,0650	2,6983
65	84-12-14	1,59	1,59	-	-	-	43,098	0,0800	3,4478
66	85-03-03	3,05	3,05	-	-	-	79,698	0,1920	15,3020
67	85-02-04	2,98	2,98	-	-	-	76,446	0,1480	11,3140
68	85-04-17	2,28	2,28	-	-	-	38,374	0,0340	1,3047
69	85-06-21	2,2	2,2	-	-	-	35,700	0,0260	0,9282
70	85-06-22	2,18	2,18	-	-	-	35,520	0,0100	0,3552
71	85-07-20	2,05	2,05	-	-	-	29,290	0,0600	1,7574
72	96-11-16	0,8	0,8	-	20,0	-	15,092	0,0325	0,4905

Anexo 6-6: Resultados de laboratorio estación Guayllabamba A.J Blanco (H0170)



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
LABORATORIO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS

REGISTRO DE AFOROS DE GASTO SOLIDO

CODIGO : H-0170
ESTACION: GUAYLLABAMBA A.J. BLANCO
CUENCA : ESMERALDAS

Nº	FECHA CAMPO	LECTURAS LIMNIMETRICAS		pH (UpH)	Tº (°C)	C.E. (µS/cm)	CAUDAL m³/s	CONCENT. Kg/m³	GASTO S. Kg/s
		INICIAL (m)	FINAL (m)						
1	78-10-21	0,74	0,74	-	-	-	64,519	0,0841	5,4260
2	79-06-13	1,89	1,89	-	-	-	417,742	0,2088	87,2245
3	80-02-13	2,12	2,12	-	-	-	456,2	0,7071	322,5790
4	81-09-12	1,34	1,31	6,00	23,0	-	171,182	0,0589	10,0826
5	82-03-02	3,46	3,35	-	-	-	758,772	1,1756	892,0124
6	82-09-13	0,99	0,99	-	-	-	80,073	0,1131	9,0563
7	83-03-19	2,07	2,07	-	-	-	397,609	0,1721	68,4285
8	83-08-19	1,24	1,24	7,00	25,8	-	158,112	0,0792	12,5225
9	83-12-08	2,15	2,15	7,00	23,0	-	324,064	0,2817	91,2888
10	84-10-29	1,75	1,75	7,00	20,0	-	308,237	0,7658	236,0479
11	86-04-05	3,42	3,42	7,30	25,4	-	1053,398	0,4316	454,6466
12	86-11-13	1,23	1,23	7,18	-	115,0	170,77	0,3127	53,3998
13	88-02-11	2,30	2,30	6,00	25,3	-	523,614	0,6354	332,7043
14	89-03-27	2,20	2,20	-	-	-	368,132	0,3155	116,1456
15	89-10-20	1,37	1,37	7,22	22,6	270,0	392,108	0,6484	254,2428
16	90-06-21	1,55	1,55	-	-	-	232,747	0,1447	33,6785
17	91-06-28	1,28	1,28	7,60	25,2	140,0	147,129	0,1406	20,6863
18	92-03-08	2,99	2,99	-	-	-	651,805	0,0624	40,6726
19	93-01-17	1,95	1,88	-	22,0	-	359,328	0,0606	21,7753

20	94-04-16	2,30	2,30	-	23,0	-	538,646	0,3741	201,5075
21	97-10-16	1,49	1,49	-	24,0	-	205,004	0,3439	70,5009
22	00-10-18	0,98	0,98	-	-	-	101,881	1,1808	120,3011
23	01-06-15	1,22	1,22	7,52	22,0	170,0	166,535	0,2760	45,9637
24	12-09-11	1,25	1,25	7,72	26,7	303,0	77,045	0,0313	2,4108
25	13-10-22	1,26	1,26	-	25,6	277,0	101,764	0,1922	19,5545
26	14-04-15	1,95	1,95	7,84	25,0	-	265,779	0,0372	9,8860
27	14-08-13	1,32	1,32	-	-	-	100,963	0,0248	2,5085
28	15-04-16	2,90	2,90	7,67	25,0	93,5	631,802	0,3381	213,6277
29	20-09-16	1,12	1,12	8,41	24,2	222,0	124,443	0,0387	4,8117
30	20-09-27	1,15	1,15	8,33	26,0	252,0	128,762	0,1106	14,2407
31	20-10-16	1,20	1,10	8,26	24,9	243,0	110,689	0,0438	4,8431
32	20-10-27	1,28	1,26	8,22	24,6	228,0	177,978	0,0623	11,0923
33	20-11-10	1,05	0,98	8,22	24,5	267,0	138,028	0,0304	4,1918
34	20-11-23	1,18	1,16	7,82	23,6	210,0	109,065	0,3521	38,4045
35	20-12-08	1,68	1,72	-	-	-	496,959	0,8725	433,5919
36	21-03-23	2,28	2,26	6,67	23,7	106,6	637,459	1,2673	807,8644