



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES



“CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL
MEDIO AMBIENTE”

TEMA

VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN
EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA



Tesis de grado previa a la obtención del título de:

INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

AUTOR:

Alvaro Aparicio Loayza Ruiz

DIRECTOR:

Biol. Alejandro Zury. M. Sc.

LOJA –ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Loja, 13 de noviembre de 2017

Biol. Alejandro Zury M. Sc

DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director de la tesis titulada “**VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA**”, de autoría del señor egresado **Alvaro Aparicio Loayza Ruiz** de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que la investigación se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo se continúe con el trámite de graduación.

Atentamente,



Biol. Alejandro Zury M. Sc

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de tribunal de grado Calificador de la Tesis titulada “**VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA**” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Alvaro Aparicio Loayza Ruiz**, certificamos que se han incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión de la tesis.

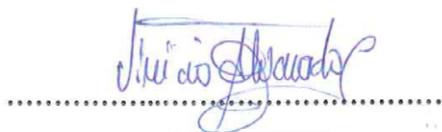
Loja, 05 de diciembre de 2017

Atentamente

Ing. Ermel Loaiza Carrión, Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.
Vocal del tribunal



Ing. Santiago Garcia Matailo, Mg. Sc.
Vocal del tribunal



AUTORÍA

Yo, Alvaro Aparicio Loayza Ruiz, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Alvaro Aparicio Loayza Ruiz

Cédula: 0705643781

Fecha: Loja, 5 de diciembre de 2017

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **Alvaro Aparicio Loayza Ruiz**, declaro ser autor de la tesis titulada **“VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad. A través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de diciembre del dos mil diecisiete, firma el autor.



Alvaro A. Loayza Ruiz

C.I. 0705643781

Correo electrónico: alvaloayza@hotmail.com

Dirección: Loja; Ciudadela Julio Ordoñez

Celular: 0986588780

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Biol. Alejandro Zury Mg. Sc

Tribunal de grado: Ing. Ermel Loaiza Carrión. Mg. Sc.

Ing. Santiago García Matailo Mg. Sc.

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc.

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres, que han sido y serán el pilar fundamental en mi vida, mil gracias por todo el amor, apoyo y paciencia que siempre me han sabido brindar, por ser el mejor ejemplo de trabajo, superación y honestidad, a mis hermanos y a toda la familia, por impulsarme con sus sabios consejos a culminar esta meta y aspirar a muchas más.

Mi agradecimiento inmenso a la Universidad Nacional de Loja, al personal docente y Administrativo de la Carrera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente; a todos mis amigos y amigas que conocí en mis años de estudio; de manera muy especial a Yohanna Paccha, Karina Esparza, Gabriela Moreno y Valeria Enriques, porque estuvieron a mi lado y me demostraron en toda ocasión su valiosa su amistad.

De igual manera, mi sincero reconocimiento a al Biol. Alejandro Zury M. Sc. Director de la presente investigación, y a la Ing. Natalia Samaniego, por su tiempo y dedicación, por sus valiosos aportes y sugerencias, pues sin ellas, este trabajo no hubiera sido concluido con éxito.

A Carlos Jiménez y Christian Cueva, ya que sin su ayuda y compromiso no hubiera logrado con este cometido, infinitas gracias por todo su apoyo, confianza y amistad. De igual manera, al departamento de Obras Públicas del Municipio de la ciudad de Loja por su colaboración y a todo el personal que labora en la planta de captación de agua potable “El Carmen 1”.

A mis amigos de siempre, Max Torres, Danny Cabrera, Deivy Ochoa, Darío Loayza, Claudio Loayza, Adrián Loayza, Tamara Maita, Alex Chamba, gracias por ser partícipes de los momentos importantes de mi vida, por ayudarme a crecer en mi vida profesional.

En fin, a todos y cada una de las personas que, con paciencia y oportuna cooperación, participaron en la realización de esta investigación, a todas/os ellas/os, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

El autor

DEDICATORIA

Con un gran amor y gran agradecimiento a mis padres: Jorge y Chanena, que son el pilar de mi vida y la razón de mí existir.

A Yohanna Paccha por su apoyo incondicional en todos los momentos difíciles de la carrera que me ayudó para conseguir este título.

A mis hermanos, Adrián por preocuparse por mí en los buenos y malos momentos y a Jorgito que ha sido el recuerdo de mi infancia y el motor de inspiración para continuar con mi carrera.

A mis primos: María José por sus consejos y por preocuparse desde el primer día que vine a estudiar a él Ing. Freddy Manzanares por ser mi ejemplo a seguir.

A todos los familiares: abuelitos, tíos, primos y amigos, quienes estuvieron pendiente de mí y me dieron ánimos para seguir adelante.

Finalmente, a mis compañeros, especialmente a Valeria, Gabriela, Karina, Carlos, Tamara, Bladimir, Christian, que hicieron de mi vida universitaria una época inolvidable. Gracias por brindarme su amistad.

El autor

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
PORTADA -----	i
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DE TESIS-----	ii
CERTIFICACIÓN TRIBUNAL DE GRADO -----	iii
AUTORÍA-----	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN -----	v
AGRADECIMIENTO -----	vi
DEDICATORIA-----	vii
ÍNDICE GENERAL-----	viii
ÍNDICE DE TABLAS-----	x
INDICE DE CUADROS-----	xi
ÍNDICE DE FIGURAS-----	xii
ANEXOS-----	xiv
ACRONIMOS-----	xv
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA -----	3
2.1. Cuencas hidrográficas-----	3
2.2. Características morfológicas de una cuenca hidrográfica -----	4
2.3. Transporte de sedimentos en el cauce de un río -----	10
2.4. Factores que influyen en la tasa de sedimentación -----	11
2.5. Aforos líquidos -----	13
3. METODOLOGÍA -----	16
3.1. Ubicación del área de estudio -----	16
3.1.1. Microcuenca El Carmen 1 -----	16
3.1.2. Microcuenca Mónica -----	16
3.2. Metodología objetivo 1. Estimación de la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuenca seleccionada-----	17

3.2.1. Cálculo de caudales líquidos -----	17
3.2.2. Cálculo de caudales sólidos-----	21
3.3. Metodología objetivo 2. Análisis de la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuena seleccionada.-----	25
3.3.1. Precipitación en cada microcuena-----	25
4. RESULTADOS -----	27
4.1. Resultados objetivo 1. Estimar la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuena seleccionada-----	27
4.2. Resultados objetivo 2. Analizar la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuena seleccionada.-----	36
5. DISCUSIÓN-----	45
5.1. Discusión objetivo 1. Estimar la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuena seleccionada-----	45
5.2. Discusión objetivo 2. Análisis de la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuena seleccionada.-----	50
6. CONCLUSIONES -----	52
7. RECOMENDACIONES-----	53
8. LITERATURA CITADA-----	54
ANEXOS -----	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla. 1. Principales servicios que presta una microcuenca -----	3
Tabla. 2. Clases de desnivel altitudinal (msnm) -----	6
Tabla. 3. Clasificación de rangos de la pendiente de una microcuenca -----	7
Tabla. 4. Valores interpretativos de la densidad -----	8
Tabla. 5. Estudios de producción de sedimentos similares a la presente investigación	47
Tabla. 6. Comparación entre las dos microcuencas analizadas -----	49

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro. 1. Concentraciones de sal y mediciones, para realizar la calibración de la curva.	19
Cuadro. 2. Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación.....	25
Cuadro. 3. Aforos líquidos y sólidos para determinar su correlación en el "Carmen 1", Loja, 2016-2017.....	28
Cuadro. 4. Cálculo de la producción anual de sólidos suspendidos, caudal y turbiedad en la microcuenca El Carmen 1	29
Cuadro. 5. Aforos líquidos y sólidos para determinar su correlación en la microcuenca "Mónica", Loja, 2016-2017.	33
Cuadro. 6. Cálculo de la producción anual de sólidos suspendidos, caudal y turbiedad en la microcuenca Mónica	34
Cuadro. 7. Datos obtenidos en la microcuenca El Carmen.....	37
Cuadro. 8. Datos obtenidos en la microcuenca Mónica.....	40

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura. 1. Ubicación los puntos de aforo y estaciones pluviométrica y meteorológica en las microcuencas de El Carmen 1 y Mónica.	17
Figura. 2. Curva de calibración del factor de salinidad de la sal.....	18
Figura. 3. Conductividad del río, con la adición de sal	20
Figura. 4. Método de trazadores de sal.....	21
Figura. 5. Sección del río divida para la toma de muestras de agua.....	22
Figura. 6. Cápsula para determinar sólidos	23
Figura. 7. Caudal de la microcuenca de El Carmen 1 en el tiempo de estudio	29
Figura. 8. Correlación entre el caudal líquido y sedimentos en suspensión (ppm) (NTU)	30
Figura. 9. Región de aceptación o rechazo para el contraste de la hipótesis planteada en la investigación	31
Figura. 10. Correlación entre el caudal líquido y la turbiedad, Carmen 1, Loja, 2016-2017.	32
Figura. 11. Caudal de la microcuenca Mónica en el tiempo de estudio.....	34
Figura. 12. Correlación entre el caudal líquido y la solidos suspendidos, Mónica, Loja, 2016-2017	35
Figura. 13. correlación entre el caudal líquido y turbiedad, Mónica, Loja, 2016-2017	36
Figura. 14. Correlación de Pearson de la precipitación y la Css en la microcuenca El Carmen 1.....	38
Figura. 15. Comparación de los datos obtenidos en el tiempo de la investigación entre la precipitación con el caudal y los sólidos.	39

Figura. 16. Correlación de Pearson de la precipitación y la Css en la microcuenca Mónica	41
Figura. 17 Comparación de los datos obtenidos en el tiempo de la investigación.	41
Figura. 18. Comparación entre eventos máximos y producción de sedimentos en la microcuenca El Carmen 1.....	42
Figura. 19. Comparación entre eventos máximos y producción de sedimentos e la microcuenca Mónica.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de campo utilizada para apuntar los datos en campo que se utilizaron para realizar los aforos sólidos líquidos.....	62
Anexo 2. Hoja de cálculo del caudal líquido para cada microcuenca en una hoja de cálculo en Excel.....	63

ACRÓNIMOS

Cc	Coeficiente de compacidad
CSS	Concentración de sólidos suspendidos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la
ReBio	Bases ecológicas para la restauración de la biodiversidad y funcionalidad de ecosistemas degradados en la Región Sur del Ecuador, ante potenciales cambios ambientales climáticos
RSE	Región Sur del Ecuador
SD	Sólidos disueltos
ST	Sólidos totales
Tc	Tiempo de concentración

**VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRODUCCIÓN DE
SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN MICROCUENCAS
PRIORITARIAS DE LA PROVINCIA DE LOJA**

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Región Sur del Ecuador (RSE), en la provincia de Loja, en dos microcuencas: El Carmen 1 y Mónica, consideradas como prioritarias para la conservación del recurso hídrico en la ciudad de Loja. Tomando en cuenta que, El Carmen 1 es una microcuenca conservada, mientras que Mónica presenta un grado de intervención mayor. El objetivo principal de esta investigación es analizar la producción de sedimentos en suspensión que se genera en las zonas de estudio, donde se estableció un punto de muestreo periódico de aforos sólidos y líquidos para el cálculo del caudal y concentración de sólidos suspendidos (Css), al mismo tiempo se realizó la descarga de datos de las estaciones pluviométricas e hidrológicas para determinar la precipitación media de cada microcuenca. Para el cálculo del caudal se utilizó el método de trazadores químicos (sal), obteniendo un promedio de 397,66 l/s para la microcuenca Mónica y 464,90 l/s para El Carmen 1, mientras que para los sólidos suspendidos se siguió la metodología de Severiche, Castillo y Acevedo (2013) donde se obtuvo valores promedio de 78,75 y 118,55 ton/km²año para la microcuenca Mónica y El Carmen 1 respectivamente, lo que indica que las microcuencas se encuentran en un buen estado de conservación. En cuanto a la relación entre las variables Css y caudal de cada una de las microcuencas, estas presentan una fuerte relación lineal siendo el factor de determinación para El Carmen 1 de $R^2=0,93$ y $R^2=0,97$ para Mónica. Mediante estos resultados se pudo evidenciar que la microcuenca Mónica tiene mayor arrastre de sedimentos ya que presenta un mayor grado de intervención antrópica y por la composición de sus suelos. La precipitación influye en el arrastre de sólidos suspendidos en las dos microcuencas, pero existe una mayor correspondencia de precipitación y arrastre de sedimentos en la microcuenca Mónica. Por ende, la microcuenca Mónica es la que se encuentra mayormente degradada debido al grado de intervención antrópica, la cobertura vegetal, tipo de suelo y prioridad de uso en comparación con la microcuenca de El Carmen 1.

Palabras clave: microcuenca, sólidos suspendidos, caudal, prioritarias, arrastre de sedimentos.

SUMMARY

The present investigation was carried out in the Southern Region of Ecuador (RSE), in the province of Loja, in two microwatersheds: El Carmen 1 and Mónica, considered as priorities for the conservation of water resources in the city of Loja. Taking into account that, Carmen 1 is a preserved microbasin, while Monica has a higher degree of intervention. The main objective of this research is to analyze the production of suspended sediments that is generated in the study areas, where a continuous sampling point of solid and liquid gauges was established for the calculation of the flow and concentration of suspended solids (C_{ss}). At the same time, data was downloaded from rainfall and hydrological stations to determine the average precipitation of each micro-basin. To calculate the flow rate, the chemical tracer method (salt) was used, obtaining an average of 397.66 l / s for the Mónica micro-basin and 464.90 l / s for El Carmen 1, while for the suspended solids followed the methodology of Severiche, Castillo and Acevedo (2013) where average values of 78.75 and 118.55 ton / km² were obtained for the microbasin of Mónica and El Carmen 1 respectively, which indicates that the microbasins are in a good state of conservation. Regarding the relationship between the C_{ss} and flow variables of each of the micro-basins, these have a strong linear relationship, with the determination factor for El Carmen 1 being R² = 0.93 and R² = 0.97 for Mónica. By means of these results, it was possible to demonstrate that the microbasin of Mónica has greater drag of sediments since it presents a greater degree of anthropic intervention and the composition of its soils. Precipitation influences the dragging of suspended solids in the two microwatersheds, but there is a greater correspondence of precipitation and sediment carryover in the Mónica microbasin. Therefore, the microbasin of Mónica is the one that is mostly degraded due to the degree of anthropic intervention, the vegetal cover, type of soil and priority of use in comparison with the micro-basin of El Carmen 1

Key words: microbasin, suspended solids, caudal, priority, sediment carryover.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de montañas proporcionan diversos servicios ambientales como agua, energía, suelo, diversidad biológica y patrimonio cultural, también son de vital importancia para poblaciones locales, ecosistemas y poblaciones que se encuentran aguas abajo (Torres, 2014). En la actualidad la FAO (2016), menciona que los ecosistemas de montaña a nivel mundial siguen disminuyendo a medida que la población aumenta y las áreas forestales son aprovechadas en su mayoría para la agricultura.

Según Morgan (2005), la deforestación influye sobre los procesos de erosión hídrica, los mismos que están estrechamente relacionados con la cobertura vegetal del suelo. Otros factores que afectan directamente a la erosión y sedimentación son: el clima, la vegetación, la cantidad de hojarasca, el tipo de suelo, la topografía y la velocidad del flujo (Chevesich, 2010). Además, estos procesos se ven afectados por la intervención antrópica, que reduce la resiliencia de los sistemas naturales ante distintos agentes desestabilizadores tal como las lluvias (Restrepo y Restrepo, 2005).

Actualmente en la Región Sur del Ecuador (RSE) la Universidad Nacional de Loja, trabaja en la generación de información de microcuencas prioritarias para la conservación del recurso hídrico del cantón Loja, con el propósito de conocer el estado y comportamiento eco-hidrológico de estas microcuencas (Aguirre y Samaniego, 2014).

Una forma de conocer el comportamiento y manejo de las microcuencas es la producción de sedimentos, éste es un indicador de la cantidad de material erodado mecánicamente sobre un área dada. La producción de sedimentos es el resultado de la interacción entre parámetros geológicos, hidrológicos y climáticos, así como la actividad antrópica del lugar (Restrepo y Restrepo, 2005), por lo tanto la cantidad de sedimentos encontrados en la corriente del cauce está estrechamente ligado al tipo de suelo, topografía, geografía, cobertura vegetal, y uso de suelo, lo que permitirán conocer el estado de conservación en que se encuentran las microcuencas (Stott y Mount, 2004).

En la provincia de Loja se está avanzando en el conocimiento del comportamiento de los ecosistemas fluviales (Aguirre y Samaniego, 2014; Iñiguez, López, Morocho, Maldonado y Iñiguez, 2013; F. López, 2013). Sin embargo, todavía se necesita conocer temas importantes tales como la producción de sedimentos que se generan a nivel de las microcuencas, lo que permitirá comprender de mejor manera el comportamiento de las

microcuencas y su estado de conservación para así poder contar con insumos que permitan mejorar la toma de decisiones en estas áreas de interés local.

En esta investigación se ejecutaron los de los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Analizar la producción de sedimentos en suspensión que se genera en dos microcuencas prioritarias (El Carmen 1 y Mónica) de la provincia de Loja.

Objetivos específicos:

- Estimar la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuenca seleccionada.
- Analizar la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuenca seleccionada.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica se define como un territorio delimitado por la naturaleza (el escurrimiento de las aguas superficiales convergen hacia un mismo cauce), donde existe un espacio producido por un conjunto de relaciones e interacciones, procesos y fenómenos de intercambio, flujo de materia y energía, asociada al agua y uso de los recursos que la microcuenca contiene (físicos, biológicos, económicos, sociales y culturales) (Aguilar, 2007; Aguirre, 2011; Celleri, Bièvre, & Ochoa, 2012; Cruz, 2014; Fuentes, 2004; Mendéz, 2011).

Además, las cuencas hidrográficas brindan distintos e importantes servicios relacionados con el agua, como abastecimiento de agua potable y riego, actividades productivas, provisión de servicios indirectos tales como los de regulación, de hábitat y servicios relacionados con el ecoturismo (Aguirre, 2011). En el Tabla 1, se mencionan los servicios que ofrece una microcuenca a la sociedad en general:

Tabla. 1. Principales servicios que presta una microcuenca

Servicios económicos directos	Servicios de regulación
Servicios centrados en proveer directamente productos alimenticios y comerciales:	1. Regulación de la calidad del aire.
1. Abastecimiento de agua dulce	2. Regulación climática.
2. Comida derivada de plantas, animales y microbios.	3. Regulación del agua: El momento y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones y la recarga del acuífero.
3. Fibra: madera, algodón, lana y yute.	4. Regulación de la erosión.
4. Combustibles: madera y estiércol	5. Control de plagas y enfermedades.
5. Medicinas, biocidas y materiales biológicos.	6. Polinización.
6. Energía hidro-eléctrica.	7. Regulación de peligros naturales como los manglares reducen el daño de los huracanes.
7. Recursos ornamentales: como pieles, conchas y flores, y las plantas enteras se utilizan para paisajismo y adornos.	

.... Continuación de la tabla 1. Principales servicios que presta una microcuenca

Servicios de apoyo	Servicios culturales y de recreo
<p>Servicios que se proveen para apoyar a hábitats y al funcionamiento de ecosistemas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Hábitat de vida silvestre. 2. Régimen de caudales necesarios para mantener el hábitat y los usos río abajo. 	<p>Servicios relacionados con recreo e inspiración humana</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Diversidad cultural. 2) Valores espirituales y religiosos. 3) Sistemas de conocimiento (tradicionales y formales). 4) Valores educativos. 5) Valores estéticos. 6) Relaciones sociales. 7) Valores del patrimonio cultural. 8) Recreación y ecoturismo

Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

2.2. Características morfológicas de una cuenca hidrográfica

Existe una estrecha relación entre el régimen hidrológico y los elementos morfológicos de una cuenca. Por esta razón, al establecer relaciones y comparaciones con datos hidrológicos conocidos pueden determinarse indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés (Villegas, 2004).

Es necesario caracterizar una cuenca en sus aspectos morfométricos con la finalidad de conocer y establecer escenarios, donde puedan generarse nuevos episodios de procesos de remoción en masa y respuestas hidrológicas agresivas así como los elementos geométricos que condicionan dichas respuestas (Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, y León, 2015).

A continuación, se mencionan los parámetros morfométricos más sobresalientes en el tema de estudio:

- ***Parámetros asociados a la forma de la microcuenca***

- **Área**

Constituye la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural (Villegas, Oropeza, y Enrique, 2004) mientras que Gisbert, Ibáñez, y Moreno (2010), define el área como el espacio delimitado por la curva del perímetro que se mide en una unidad de área (km², m², ha, etc.).

- **Perímetro**

Es la longitud del contorno del área que bordea la cuenca (Vanegas, 2016). El área y el perímetro determinan la forma de la cuenca, los perímetros mayores corresponden a cuencas alargadas mientras que los perímetros menores representan cuencas redondeadas (Gisbert et al., 2010).

- **Longitud de cauce**

Medición lineal del cauce principal desde la salida de la cuenca hasta su cabecera principal, los cauces secundarios se miden desde la cabecera hasta su descarga (Senciales, 1998). Este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos, además, se utiliza para definir la densidad de drenaje en una cuenca hidrográfica (World Visión, n.d.).

- **Factor de forma**

Se expresa como la proporción entre el área de la cuenca y con la longitud de la cuenca al cuadrado. Cuanto mayor sea el valor del factor de forma más circular será la cuenca, caso contrario, una cuenca larga y estrecha tiene un valor de factor de forma bajo. Las cuencas hidrográficas con alto factor de forma tienen flujos con picos altos y una duración más corta, mientras que las cuencas alargadas con bajo factor de forma tienen caudales con picos bajos durante más tiempo (López, Batalla, Vericat y Francke, 2009).

- **Coefficiente de compacidad**

Según Ahmed y Srinivasa, (2015) el coeficiente de compacidad (Cc) es la relación entre el perímetro de la cuenca (P) y la circunferencia del área circular, que es igual al área (A) de la cuenca y se expresa en la Ecuación 1 .

Ecuación 1.
$$C_c = 0.2821 P / A^{0.5}$$

Donde:

El valor de C_c indica la tasa de erosión y la naturaleza de la forma de la cuenca.

P = perímetro

A = El área de la microcuenca

- **Parámetros asociados al relieve de la microcuenca**
- **Desnivel altitudinal (DA)**

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja, se relaciona con la variabilidad climática y ecológica. Mientras exista mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas y por ende mayor variación en su precipitación y temperatura (Fuentes, 2004; Gisbert et al., 2010).

Tabla. 2. Clases de desnivel altitudinal (msnm)

Rangos de altitudes	Clases de altitudes
600-1220	Bajo
1221-1841	Mediano
1842-2462	Alto

Fuente: Fuentes, 2004.

- **Pendiente media de la cuenca**

Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud. Es un elemento importante al correr el agua por su superficie por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Además, controla el tiempo del flujo y tiene influencia directa en la magnitud de las crecidas (Gisbert et al., 2010).

Ecuación. 2.
$$PMC = 100 \frac{\sum Li * E}{A}$$

Donde:

L_i : Longitud de cada una de las curvas de nivel

E : Equidistancia de las curvas de nivel

A : Área de la cuenca

Tabla. 3. Clasificación de rangos de la pendiente de una microcuenca

Pendiente (%)	Tipo de terreno
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
50>	Muy escarpado

Fuente: Ibáñez, Gisbert y Moreno, 2007.

- **Altitud media de la cuenca**

Las variaciones de altitud en el interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación (Vanegas, 2016). La variación altitudinal está asociada con la distribución de formaciones vegetales discontinuas, por esta razón, la elevación del terreno se utiliza como un referente de la distribución de los tipos de vegetación (MAE, 2012).

- *Parámetros relativos al drenaje de la microcuenca*

- **Densidad de drenaje**

Es la longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica (L), dividida por el área total de drenaje (A), este parámetro se expresa en Km/Km² (Bateman, 2007; Delgadillo y Moreno, 2011; Farfán, Urbina, Ferreira y Brandan, 2010).

Ecuación 3.
$$D = \frac{A}{L}$$

Donde:

A= área de drenaje

L=longitud total de los cauces

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca (Londoño, 2001).

Tabla. 4. Valores interpretativos de la densidad

Densidad de Drenaje (Km/Km2)	Categoría
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy alta

Fuente: Delgadillo y Moreno, 2011.

- **Tiempo de rezago**

Según Rojo (2017), el tiempo de rezago es el comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. Se asume que el rezago es constante para una cuenca ya que depende de los parámetros morfométricos de la misma, por tanto, el tiempo de rezago se lo calcula con la siguiente formula.

Ecuación 4.
$$T_R = \frac{L_c^{0,8}(S+1)^{0,7}}{1900S_c^{0,5}}$$

Donde:

T_r = representa el tiempo de rezago en horas

L_c = es la longitud del canal principal en pies

S es el factor de retención o almacenamiento

S_c = es la pendiente de la cuenca en porcentaje

Si el tiempo de rezago es mayor que el tiempo de concentración se recomienda utilizar la siguiente relación:

Ecuación 5.
$$T_R = 0,6 * T_C$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración

- **Tiempo de concentración**

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante (Londoño, 2001).

El punto hidrológicamente más alejado es donde el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida. El tiempo de concentración (t_c) depende de los siguientes factores:

- 1) del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño mayor t_c ,
- 2) de la topografía: a mayor accidentalidad o pendiente, menor t_c ,
- 3) de la forma, a igualdad de otros factores, las cuencas alargadas presentan menores t_c que las cuencas redondeadas (Gisbert et al., 2010).

La fórmula para calcular el tiempo de concentración se presenta a continuación:

Ecuación 6.
$$T_c = 60 * \frac{(0,87075 * L^3)^{0,385}}{H}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración en minutos

L : Longitud del cauce principal

H : Desnivel altitudinal de la cuenca

- **Duración de la escorrentía superficial**

Es el tiempo que transcurre desde que empieza a ver escurrimiento hasta que termina de aportar agua al cauce, el cálculo del tiempo base de hidrograma unitario se estima mediante la siguiente Ecuación 7.

Ecuación 7.
$$t_b = 3 + 3 \frac{T_R}{24}$$

Donde:

t_b = es el tiempo base en días

T_R = tiempo de rezago en horas

2.3. Transporte de sedimentos en el cauce de un río

Los sedimentos suspendidos consisten en partículas suspendidas en el flujo del agua, la suspensión de una partícula se mantiene por la fuerza de elevación generada por diferencias de presión en los lados superior e inferior de la partícula (Tran, 2014). Los ríos tienen la capacidad de transporte dada por sus características hidráulicas y el tamaño del sedimento, mientras más sedimentos están presentes en el cauce tienen tendencia a precipitarse. Por otro lado, si en el río existiese concentraciones bajas de sedimento la capacidad de transporte está dada por la erosión (Guillén, 2015).

Como menciona Bravo, Osterkamp y Lopes (2004), el transporte de sedimentos establece que las variables que controlan el movimiento de sedimentos en un cauce natural son la capacidad de transporte y la disponibilidad de sedimento (Montoya y Montoya, 2005). Los ríos son la principal fuente de transporte de sedimentos, el agua, además de erosionar los suelos por el impacto directo de las gotas de lluvia, es el principal factor de transporte de suelo que al llegar a las corrientes se convierte en sedimentos en suspensión (Pea-Bermejo, 2010).

La cantidad de sedimentos generados en una cuenca hídrica y el grado de erosión de la misma puede ser evaluada en forma indirecta a través de relevamientos topo-batimétricos de lagos y embalses o mediante la utilización de mediciones sistemáticas de caudales sólidos en los cursos de agua (Pea-Bermejo, 2010). Además como mencionan Borja y Alcantara (2004), la remoción de sólidos es el movimiento de masas de suelo, detritos y rocas que se producen en una ladera por la influencia directa de la gravedad y que pueden ser desencadenados por factores internos o externos como:

- Erosión
- Socavamiento
- Incisión de un río
- Excavaciones artificiales
- Cargas y descargas
- Sismos
- Vibraciones por explosiones o uso de maquinaria pesada
- Intensidad y duración de las precipitaciones

- Actividades antrópicas (minería, irrigación, pérdida de la cobertura vegetal, incremento de peso en las laderas).

2.4. Factores que influyen en la tasa de sedimentación

Según Morgan, (2005); Tran, (2014); Unesco, (2010), la cantidad de sedimento está en función del tipo de erosión, las características del suelo, los sedimentos, las fuerzas erosivas, factores externos, incluido el clima, uso de la tierra y cobertura del suelo, estos factores se analizarán a continuación:

- **Clima**

La variable climática más importante es la lluvia, debido a su fuerte influencia en ciertos procesos de erosión hídrica (erosión de impacto, riles, cárcavas, etc.) (Morgan, 2005). Las variables como cantidad de agua caída (mm) e intensidad de la tormenta (mm/h), son las que determinan la erodabilidad del evento. Las variables utilizadas para describir la agresividad de la precipitación son: la cantidad de lluvia, intensidad de la lluvia, energía cinética de la lluvia, tamaño de la gota y la duración del evento (Tran, 2014; Unesco, 2010).

- **Vegetación**

Según un estudio de Chevesich (2010); Morgan (2005); Unesco (2010), la vegetación actúa como cubierta protectora, estableciéndose como un buffer entre el suelo y la atmósfera. Se conoce comúnmente que la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos).

Las hojas lobuladas, típicas de especies arbóreas latifoliadas, forman gotas que doblan las de la lluvia. Además, a siete metros de altura de copa, las gotas que impactan el suelo lo hacen a una velocidad equivalente al 90% de su velocidad máxima, por lo que indica que algunos árboles no reducen la energía cinética de las gotas de agua y como resultado, las tasas de erosión de impacto bajo las copas de los árboles pueden ser hasta tres veces mayores que las producidas en suelos desnudos que reciben precipitación directa (Chevesich, 2010; J. Villegas, 2004).

Sin embargo, los componentes aéreos (ramas y hojas) de algunas especies arbóreas son más efectivos en la absorción de energía cinética contenida en las gotas de agua, y la

disminución del escurrimiento superficial, así como la velocidad del viento. Especies frondosas, de ramas horizontales y copas relativamente bajas, son consideradas las más efectivas contra la erosión de impacto (Unesco, 2010).

- **Hojarasca**

Es constituida por material vegetal no pútrido, en donde el material vegetal se encuentra parcialmente descompuesto, al igual que la cobertura vegetal, la hojarasca también protege el suelo contra la erosión de impacto, impidiendo que la gota de lluvia golpee directamente la superficie del suelo. Por otro lado, la hojarasca disminuye la velocidad del flujo superficial debido al aumento en la rugosidad por la que éste viaja (Chevesich, 2010; Unesco, 2010).

- **Erosión del suelo**

Marín y Desir (2010), mencionan que la erosión del suelo es uno de los problemas ambientales más importantes que se conoce en la actualidad, se produce debido a un conjunto de procesos que movilizan las partículas de suelo, ocasionando la reducción de su capacidad productiva así como de su diversidad vegetal.

Desir (2001); Montoya y Montoya (2005), indican que la erosión que ocurrirá en un suelo específico va a depender directamente de ciertas variables mencionadas a continuación: Clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad del flujo, uso de la tierra, escorrentía .

Marín y Desir (2010); Montoya y Montoya (2005), mencionan que las variables de mayor impacto en la erosión hídrica son las siguientes:

1. El agua, además de ser agente activo en la erosión de los suelos, constituye un factor importante en el transporte del suelo, que al llegar a las corrientes se convierte en sedimentos.
2. El clima, que controla la cantidad e intensidad de las precipitaciones en una zona.
3. La litología, ya que no todos los materiales presentan la misma facilidad a ser erosionados.
4. La pendiente, a mayor pendiente, mayor erosión.

No todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erodabilidad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia

orgánica, estructura y permeabilidad. La materia orgánica puede mejorar casi todas las propiedades del suelo, pues la presencia de ésta aumenta la aireación e infiltración, así como la cohesividad interparticular (Morgan, 2005).

- **Topografía**

Es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y, por ende, el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución. El efecto de la topografía sobre la erosión del suelo es mayor cuando el suelo es más susceptible a la erosión por escorrentía que por el impacto de las gotas de lluvia (Chevesich, 2010; Morgan, 2005; Tran, 2014).

- **Uso del suelo y cobertura vegetal**

La vegetación es uno de los principales factores que produce un impacto en el uso del suelo. La vegetación proporciona el dosel, que intercepta la energía de las gotas de agua antes de que golpeen la superficie, y la materia orgánica, que aumenta la capacidad de retención de agua del suelo y disminuye la erodabilidad del suelo (Morgan, 2005).

2.5. Aforos líquidos

Existen un sin número de aforos líquidos que se realizan de acuerdo a las distintas particularidades de cada zona de estudio.

Aforo líquido es el conjunto de actividades hidrométricas que tiene como fin realizar el cálculo del caudal que escurre por una sección de un río en un momento determinado: $Q = v/s$, donde v es la velocidad de la corriente y S es la sección que es atravesada por la corriente (Dussaubat y Vargas, 2005).

- **Métodos de aforo líquidos**

Existen diferentes métodos de aforo que se pueden realizar en escenarios con el fin de tener una mayor precisión en los mismos, a continuación, se describe el método utilizado en el presente estudio.

- **Trazadores químicos**

Un trazador puede ser cualquier sustancia o líquido que se mezcle con el agua de un cauce y que pueda ser detectado. Dependiendo del trazador utilizado, existen distintas formas para detectarlos ya sea midiendo la concentración de forma directa o indirecta, donde se mide un parámetro específico, como: conductividad, pH, etc., y se relaciona con la concentración del trazador (Galecio, 2007).

Galecio, (2007); Marbello, (2005), afirman que para utilizar una sustancia como trazador debe cumplir con ciertos requisitos:

- Seguro y fácil de manejar.
- Deben mezclarse fácil y homogéneamente con el agua.
- Debe ser barato, soluble en agua, inocuo, no corrosivo, ni tóxico.
- Debe ser fácilmente detectable en el agua, aún en concentraciones pequeñas.
- Debe estar ausente o presente en pequeñas cantidades en la corriente natural de agua.
- Debe ser conservativo, es decir, no degradable, ni reactivo, entre el momento de la inyección y el momento del análisis final de las muestras.
- Debe ser foto estable, es decir, no decolorarle, ni reactivo ante la acción de la luz.

- **Trazadores químicos utilizando sal**

Entre las distintas sales utilizables la más común es el Cloruro de Sodio (sal), debido a que es fácil de conseguir y es económicamente accesible (Galecio, 2007). La inyección de sal funciona bien en corrientes escarpadas y altamente turbulentas (Moore, 2005).

Cuando se emplea la sal común (NaCl) como trazador químico, se mide el tiempo de paso entre los dos puntos de control utilizando un conductivímetro. Este método de medición es posible debido a que la sal inyectada aumenta la concentración de sólidos disueltos y por lo tanto la conductividad del agua (Marbello, 2005)

Las ventajas de las sales NaCl como mencionan Merz y Doppmann (2006); Moore (2005) se describen a continuación:

- Es perfecto para medir la descarga de pequeños arroyos de alta montaña con flujos turbulentos
- Es un método sencillo y fácil de usar en condiciones climáticas adversas.

- Permite una medición rápida durante las condiciones de inundación y flujo alto.
- Permite un análisis simple de los datos y la disponibilidad directa de los datos
- Es barato y fácil de conseguir.
- **Aspectos que se deben tomar en consideración para realizar aforos con NaCl.**

Para realizar los aforos con NaCl es muy importante tener en cuenta las siguientes consideraciones para evitar errores en la medición y obtener datos confiables, los cuales se describe a continuación:

- Turbulencia en el cauce.
- Gradiente pronunciado: Algunos canales con gradientes entre 3 y 5% se pueden medir con dilución de sal.
- Evitar lo más posible piscinas o pequeñas lagunas y otras áreas de remanso
- No hay afluencia de afluentes en el alcance de medición.
- No debe existir obstrucciones en la sección de aforo
- Los criterios anteriores son fáciles de evaluar en un sitio de campo. Sin embargo, las consideraciones más críticas en la aplicación del método son:
 - Capacidad de realizar una inyección limpia en un punto que favorece la mezcla y la rápida disolución.
 - La sal debe mezclarse completamente con el flujo en el punto donde se mide la CE en el canal.

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se hace referencia a la ubicación del sitio donde el trabajo de investigación fue realizado, así como los materiales y la metodología utilizados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en la ciudad de Loja, ubicada al Sur de la Región Interandina (Sierra) de la República del Ecuador, en el valle de Cuxibamba, situada a 2.100 m.s.n.m., a 4° de latitud Sur y 79° 12' 18 de longitud oeste, tiene una superficie de 11.063 km² presenta un clima temperado-ecuatorial subhúmedo, caracterizado por una temperatura media de 16°C y una lluvia anual de 900 mm (PNUMA, Loja, y NCI, 2007)

3.1.1. Microcuenca El Carmen 1

Se encuentra ubicada al Este del cantón Loja, en el sector El Carmen 1 , tienen un rango altitudinal que va desde los 2320 hasta los 3400 m.s.n.m, su vegetación e encuentra distribuida de la siguiente manera: bosque 82,58%; matorral 4,71%; pastizal 0,75%; páramo 15,15%; plantaciones forestales; cuerpos de agua 0,043%; y área sin vegetación 0,29%, del área total de la microcuenca en 89% pertenece al Parque Nacional Podocarpus, posee una temperatura promedio de 12 – 14 °C y su precipitación varía entre 1250 – 2000 mm (CITIAB, 2016; Zarate, 2011).

3.1.2. Microcuenca Mónica

Se encuentra ubicada en el cantón Loja en la comunidad conocida como “Dos Puentes”, su rango altitudinal esta entre 2320 y 3400 m.s.n.m, presenta una vegetación se encuentra distribuida de la siguiente manera: bosque 71,82%; pastizal 11,11%; matorral 0,98%; área sin vegetación 0,60%; páramo 11,78%; y plantaciones forestales 0,58%, del área total de la microcuenca en 49% pertenece al Parque Nacional Podocarpus, tiene una temperatura media entre 10 – 14 °C y su precipitación oscila entre 1000 – 1700 mm anualmente (CITIAB, 2016; Zarate, 2011).

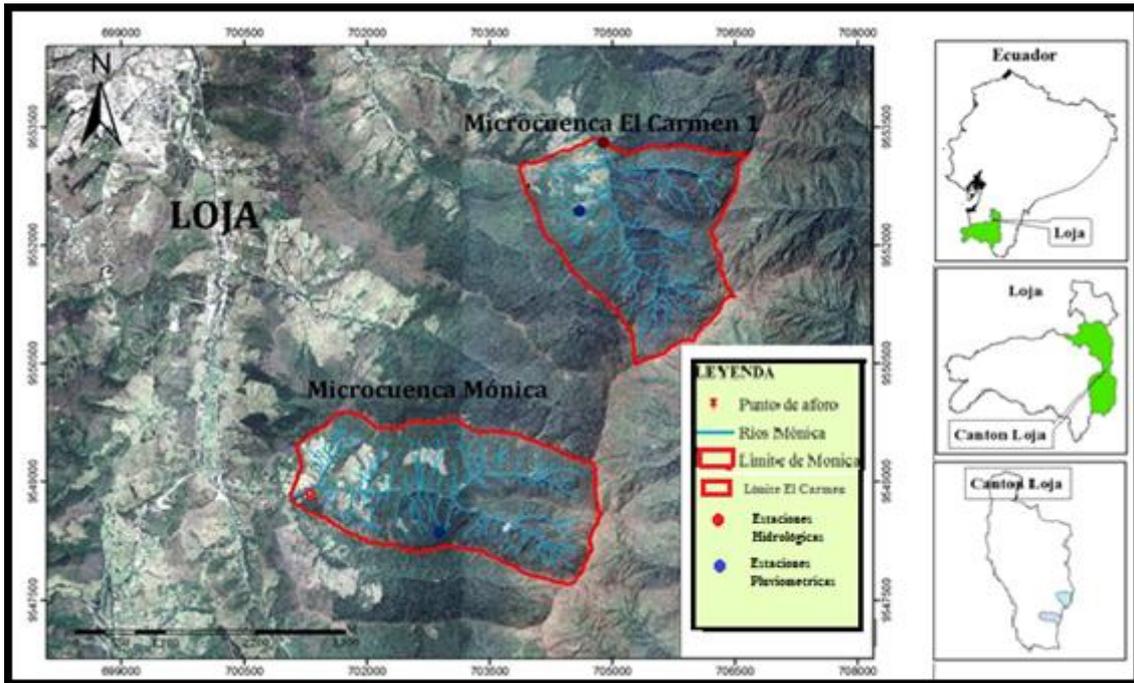


Figura. 1. Ubicación los puntos de aforo y estaciones pluviométrica y meteorológica en las microcuencas de El Carmen 1 y Mónica.

Fuente: Resultados de la investigación

3.2. Metodología objetivo 1. Estimación de la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuenca seleccionada

Se realizaron aforos líquidos y sólidos en cada una de las dos microcuencas seleccionadas. Para cada uno de los sitios se ha escogido un código, el lugar de aforo y la fecha (mes y día), mediante una hoja de campo (ver anexo 1).

3.2.1. Cálculo de caudales líquidos

El cálculo de los caudales líquidos se los realizó en tres fases: laboratorio, campo y gabinete, las cuales se las describe a continuación:

- **Fase de laboratorio**

Moore (2005), en su estudio afirma que la concentración de sales y la conductividad eléctrica tiene una relación lineal, bajo este principio se basa el método de trazadores químicos con sal, que se describe a continuación:

- **Cálculo del factor de salinidad**

Como menciona Galecio (2007), una forma de medir la curva de respuesta de la sal en agua es a través del peso seco de sal en un volumen conocido. Este aumento de la conductividad se mide con un conductivímetro y, por medio de un coeficiente de transformación se calcula el factor de salinidad. Para poder hacer esta transformación es necesario calcular el coeficiente por medio de la creación de una curva de calibración, la cual se construye usando datos de conductividad medidos en distintas muestras con concentraciones conocidas. De esta forma se puede obtener la siguiente relación:

Ecuación. 8. $K = \text{concentración}/\text{conductividad}$

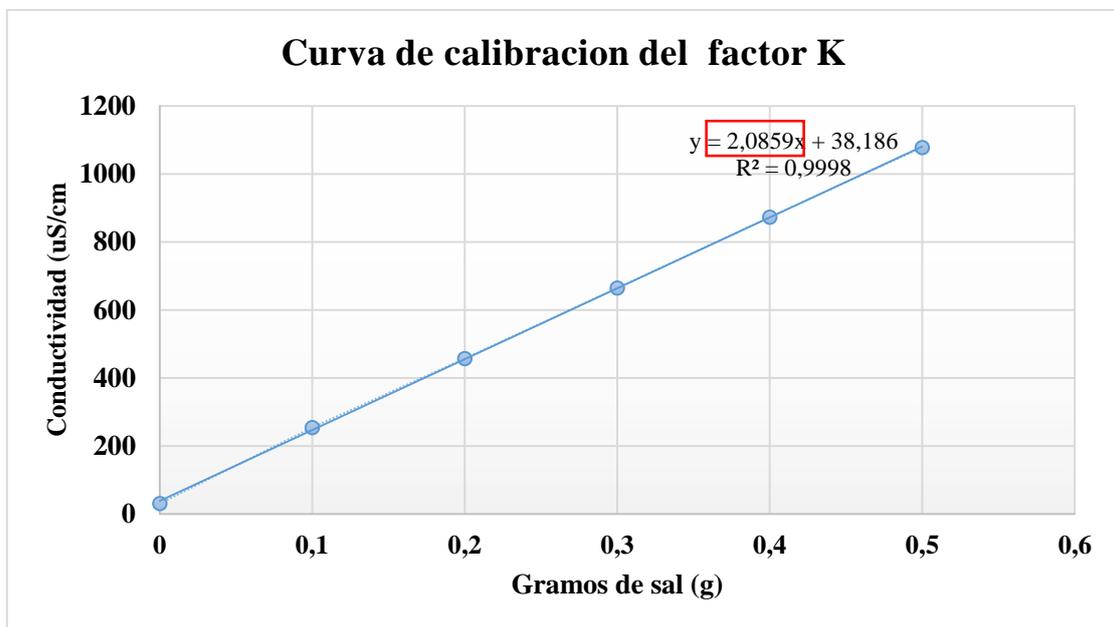


Figura. 2. Curva de calibración del factor de salinidad de la sal

Fuente: Resultados de la investigación

Para realizar la curva de calibración con la cantidad de sal y un volumen conocido se siguió el siguiente proceso:

Inicialmente se midió la conductividad de un litro de agua de grifo, se pesó 0,1 g de sal y se agregó al recipiente donde se mezcló hasta homogenizar la solución y posteriormente se midió el nuevo valor de la conductividad. Este procedimiento se repitió hasta obtener seis mediciones en total como se observa en cuadro 1.

Cuadro. 1. Concentraciones de sal y mediciones, para realizar la calibración de la curva.

Mediciones	Sal (g)	Conductividad eléctrica (uS/cm)
1	0	55,6
2	0,1	261
3	0,2	468
4	0,3	671
5	0,4	873
6	0,5	1051

Fuente: Resultados de la investigación

Con los datos obtenidos se realizó una regresión lineal para obtener el aumento de unidad de conductividad por unidad de sal como se observa en el cuadro 1, de esta manera se obtiene la pendiente (ver **Ecuación 9**) de la recta que es del factor de salinidad.

Ecuación 9.
$$Y = bx + a$$

a = es la ordenada en el origen, es decir, es la altura a la que la recta corta al eje Y. Se denomina también término independiente.

b= también denominada pendiente es la inclinación de la recta, es decir, es el incremento que se produce en la variable Y cuando la variable X aumenta una unidad.

Una vez obtenido el factor de salinidad de cada funda de sal de 2kg se procedió a dividir las en libras, estas fundas fueran respectivamente etiquetadas y guardadas en un lugar seco y a temperatura ambiente hasta su utilización en campo.

- **Fase de campo**
- **Selección de las secciones naturales de aforo con un nivel medio de estabilidad**

Para la selección de las áreas de aforo se tomó como referencia a las estaciones hidrológicas que han sido ubicadas estratégicamente para la toma de datos en las microcuencas de estudio.

Merz y Doppmann (2006) y Moore (2005), afirman que la distancia de recorrido de la sal en el cauce desde el punto de inyección hasta el punto de la medición, se debe mezclar completamente y para esto no debe haber remolinos con efectos de flujo de retorno, estanques, extracciones o entradas de agua, y no estar influenciado por la vegetación

colgante. Además, debe ser lo más corto posible. Una simple regla empírica es tomar una longitud entre 20-50 veces la anchura media de la corriente, o 100 veces la anchura de la parte más estrecha.

- **Método de trazadores químicos con sal**

Una vez escogido el lugar de aforo se procedió a calibrar el cauce para la medición de la conductividad, que consistió en adicionar una cantidad de sal conocida a una distancia conocida y observar el comportamiento de los datos y corroborar que existe una mezcla completa de la sal con el agua del cauce, en la investigación la distancia que permitió que el trazador se mezcle de manera adecuada fue de 40 m para las dos microcuencas, los resultados obtenidos formaron una campana (campana de Gauss) como se observa en la figura 3.

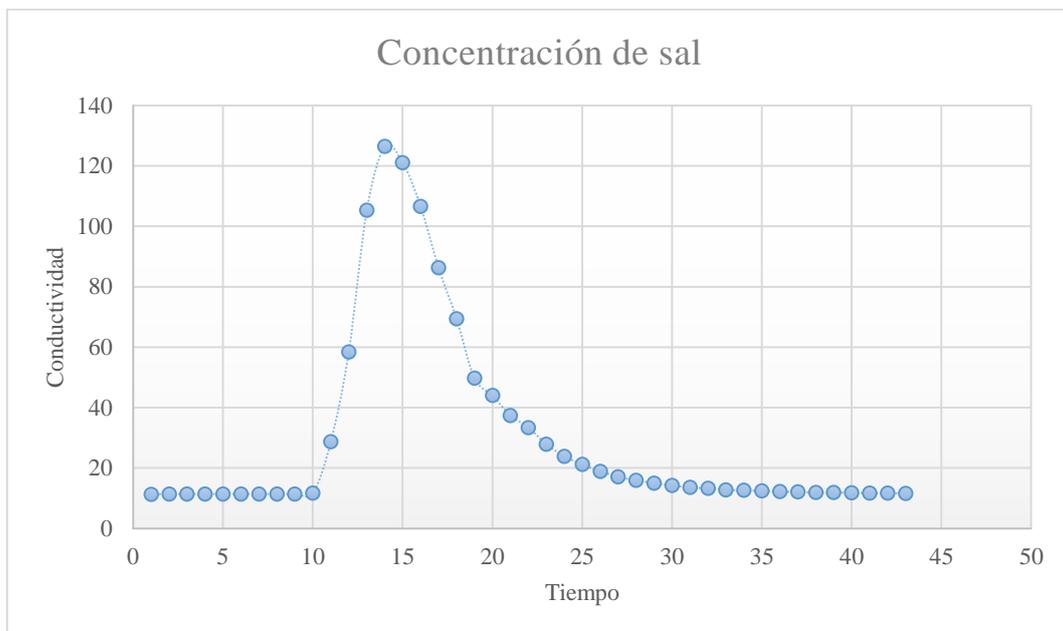


Figura. 3. Conductividad del río, con la adición de sal

Fuente: Resultados de la investigación

- **Mediciones con trazadores químicos de sal**

Para este método se necesitó dos personas A y B, la persona A es la encargada del conductivímetro y la persona B es la encargada de verter la sal al río, una vez ubicadas las personas en cauce, se tomó la conductividad inicial del río como se observa en la figura 4 Posteriormente en el recipiente de volumen conocido (20 l) se adicionó el trazador (tres libras de sal) y esta solución debe aumentar al menos un mínimo de 200%

de la conductividad inicial del río, a continuación, la persona B vertió la solución mezclada al río y la persona A al mismo tiempo que se vierte la solución al río empieza a tomar los datos de la conductividad del río cada cinco segundos.

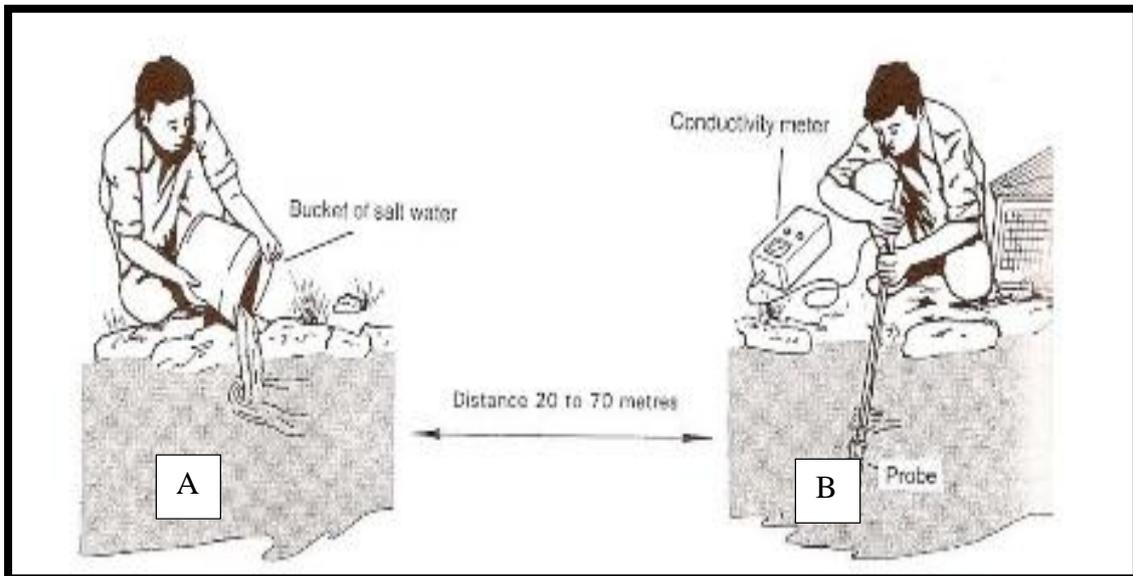


Figura. 4. Método de trazadores de sal

Fuente: Moore, 2005.

- **Fase de gabinete**

Con los datos obtenidos de la fase de campo se procedió a realizar el cálculo del caudal para cada microcuenca.

Donde se aplicó la **Ecuación 15.**, para determinar el caudal mediante la integral del área bajo la curva mediante el programa de Excel, donde se utiliza los datos recolectados en el campo y laboratorio como: fecha y hora de aforo, factor de salinidad, conductividad medida, distancia de recorrido de la solución, intervalo de medición, lugar de aforo, sal inyectada en gramos.

3.2.2. Cálculo de caudales sólidos

Para el cálculo de los caudales sólidos es necesario la recolección, preservación y almacenaje de muestras:

- ***Fase de campo***

Siguiendo la metodología de Severiche, Castillo y Acevedo (2013), se tomó las muestras de agua en recipientes plásticos de un litro. Muestra que fue tomada de manera compuesta desde el cauce del río dividido en tres secciones (centro, derecha e izquierda) como se observa en la figura 5, frente a la corriente a la mitad de la profundidad del cauce. Previamente se lavó cada envase con el agua del propio río para limpiar los envases, a continuación, se realizó el análisis, en un periodo máximo de ocho días para evitar cambios en su composición y en caso de requerir almacenamiento, se los almaceno a temperatura ambiente por un tiempo máximo de 7 días.

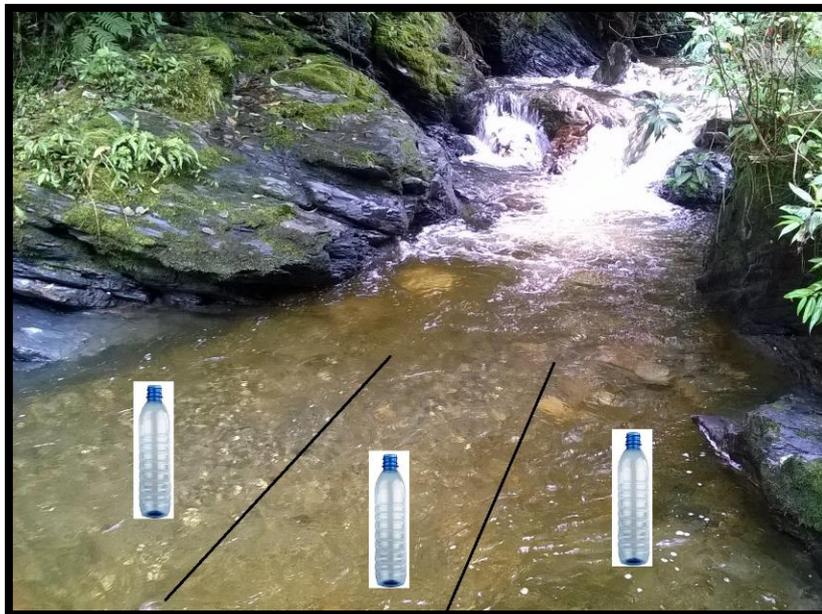


Figura. 5. Sección del río dividida para la toma de muestras de agua.

Fuente: Resultados de la investigación.

- ***Fase de laboratorio***

Preparación de la cápsula de evaporación:

La estufa a una temperatura de 103 – 105 °C, donde se colocó la cápsula aproximadamente una hora para eliminar impurezas y prevenir alteración en los resultados; a continuación, se colocó la cápsula en un disecador para evitar la humedad del ambiente y posibles cambios en el peso, después de estar a temperatura ambiente se registró inmediatamente su peso inicial y se anotó en la libreta de apuntes con su respectivo código como se observa en la figura 6.



Figura. 6. Cápsula para determinar sólidos

Fuente: Resultados de la investigación

Determinación de sólidos totales:

Se mezcló las tres muestras obtenidas en campo y se recolectó únicamente un litro para realizar el análisis, donde se colocó 100 ml en una cápsula (previamente registrado su peso inicial) y se introdujo en la estufa a 105°C por 24 horas. Pasado el tiempo requerido se introdujo la cápsula nuevamente en el desecador para enfriarla y posteriormente registrar el peso (peso final), una vez obtenidos los dos se aplicó la Ecuación 10.

Ecuación 10. $ST = \text{peso final de la capsula} - \text{peso inicial de la capsula}$

Determinación de sólidos disueltos

Se filtró 400 ml de la muestra en la bomba de vacío utilizando un filtro de 0,45 μm y el agua filtrada que se obtuvo se colocó 100 ml en una capsula y se introdujo en la estufa a 100° C durante 24 horas, transcurridas las 24 horas se procedió a retirar la muestra y colocarla en el desecador para registrar su peso final donde se aplicó la **Ecuación 11**.

Ecuación 11. $SD = ((\text{peso final del filtro (mg)} - \text{peso inicial del filtro (mg)}) * 1000) / \text{volumen filtrado 400ml}$

Determinación de sólidos suspendidos

Se pesó un filtro de 0,45 µm y luego de registrado su peso se colocó en una caja Petri y en un desecador, luego se filtró la muestra pasando 400 ml en la bomba de vacío, a continuación, se retiró el filtro con unas pinzas y se colocó en una luna reloj. A continuación, se colocó la luna reloj con el filtro en una estufa a 100° C durante 1 hora, después del tiempo transcurrido se realizó el pesaje de la muestra, y se aplicó la Ecuación 12.

Ecuación 12. $CSS = ((\text{peso final del filtro (mg)} - \text{peso inicial del filtro (mg)}) * 1000) / \text{volumen filtrado 400ml}$

Turbidez

Para calcular la turbidez se seguirá la metodóloga citada por Carpio (2105) la misma que se describe a continuación:

Se inicia agitando enérgicamente la muestra y luego se vertió en el tubo del turbidímetro, se introdujo en tubo en el turbidímetro y se procedió a leer el valor más alto que arroje el turbidímetro

- **Fase de gabinete**

Una vez obtenidos los aforos líquidos y sólidos se procedieron a procesarlos y analizar su relación donde se analizaron los datos de caudal obtenidos en cada uno de los aforos realizados, debiendo en algunos casos, eliminar variables anómalas, las mismas que influían en la calidad del modelo afectando la distribución de los datos.

Para obtener la relación de producción de sedimentos en suspensión y los caudales líquidos, se utilizó los datos de los caudales diarios calculados para un periodo de un año mediante los aforos obtenidos en cada microcuenca, y la C_{ss} al mismo momento del muestreo.

El caudal sólido (g/s) se obtiene a partir del peso total de material de arrastre capturado en cada muestreo en mg/l y se multiplica por el caudal obtenido simultáneamente de cada microcuenca.

Ecuación 13. $C_{sst} = C_{ss} * \text{caudal líquido}$

Donde:

C_{sst} = Concentración de sólidos suspendidos totales

Css = Concentración de sólidos suspendidos

Estos resultados se los valido con el contraste de hipótesis $H_0: p=0$ vs $p\neq 0$ fijando $\alpha = 0,05$ y utilizando el estadístico T (ver Ecuación 14)

$$\text{Ecuación 14. } T = \frac{R}{\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}}$$

3.3. Metodología objetivo 2. Análisis de la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuenca seleccionada.

Para llevar a cabo en siguiente objetivo se realizaron diferentes análisis de las estaciones pluviométricas y meteorológicas ubicadas en cada microcuenca de estudio y se identificó la relación existente entre la precipitación y los sedimentos en suspensión.

3.3.1. Precipitación en cada microcuenca

Para poder realizar la influencia de la precipitación, se identificó las estaciones meteorológicas y pluviométricas instaladas en las microcuencas Mónica y El Carmen 1 (ver figura 1 y 2).

En la microcuenca Mónica se trabajó con la información de la estación meteorológica ubicada a 2796 m.s.n.m y la información del pluviómetro ubicado a 2372 m.s.n.m. Mientras que en El Carmen 1 se utilizó la información de la estación meteorológica ubicada a 2550 msnm y la información del pluviómetro ubicado a 2354 msnm.

Cuadro. 2. Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación

Microcuenca	Estación	Coordenadas		Altitud (msnm)
		X	Y	
Mónica	Pluviométrica	701316	9548746	2372
	Meteorológica	702886	9548360	2796
El Carmen 1	Pluviométrica	704106	9552376	2354
	Meteorológica	704594	9552440	2550

Fuente: Resultados de la investigación

Una vez identificadas las estaciones, se procedió a descargar mensualmente los datos y realizar el mantenimiento de equipos, con el fin de evitar pérdida de datos, por mal funcionamiento de equipos y por la capacidad de almacenamiento de los datos (Padrón, 2013 ; Pedersen et al., 2010), provocados por factores como el viento, y la topografía que

sensibilizan la medición de la precipitación (WMO, 2008), dado que en las montañas es más complejo el proceso de información, por la interacción que existe entre el transporte de humedad, calentamiento de la superficie, y el sistema de brisa local (Daly, Smith, Smith, y McKane, 2007; Foresti y Pozdnoukhov, 2012).

A partir de los datos con las descargas mensuales, se realizó la construcción de la base de datos, para las microcuencas seleccionadas, tomando en cuenta la configuración de tiempo de descarga de las estaciones: donde se utilizó las tablas de datos del periodo de 5 min para identificar los eventos máximos. Además, se verificó que todas las series de datos sean homogéneas y la calidad sea óptima para los respectivos análisis. Luego se procedió a realizar una regresión lineal de Pearson para analizar el nivel de relación entre los datos obtenidos.

Con todos los datos de precipitación y eventos máximos de lluvias se realizó una comparación con la producción de sedimentos para inferir en grado de correspondencia entre la precipitación y la producción de sedimentos.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados objetivo 1. Estimar la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuenca seleccionada

Con los datos obtenidos de los aforos líquidos y sólidos se realizó las gráficas que se observan a continuación en este capítulo que determinan la relación existente entre las variables en cada una de las estaciones seleccionadas para este estudio.

- **Construcción de las curvas de descarga líquida y sólida**
- **Microcuenca El Carmen 1**

Los datos de los aforos líquidos y sólidos realizados en la microcuenca de El Carmen 1, se muestran en el cuadro 3:

Cuadro. 3. Aforos líquidos y sólidos para determinar su correlación en el "Carmen 1", Loja, 2016-2017

Nro.	Fecha	Datos de caudales líquidos				Datos de sólidos en suspensión			
		Caudal 1 (l/s)	Hora	Caudal 2 (l/s)	Hora	Promedio	S. totales ppm	Turbiedad NTU	S. Totales (g/s)
1	26/1/16	246,17	9:35:05	264,74	10:19:15	255,46	29,70	1,95	7,59
2	13/2/16	846,98	9:49:21	846,98	9:49:21	846,98	46,30	6,26	41,53
3	13/2/16	947,15	9:33:19	947,15	9:33:19	947,15			
4	19/2/16	1509,59	11:02:52	1568,20	11:17:50	1538,90	61,25	12,00	94,26
5	26/2/16	449,02	10:32:39	449,02	10:32:39	449,02			
6	26/2/16	664,61	11:30:10	664,61	11:30:10	664,61	42,00	3,64	27,91
7	1/3/16	684,24	10:10:56	632,84	11:02:52	658,54	42,40	4,13	27,92
8	11/3/16	392,36	12:05:40	392,36	12:05:40	392,36			
9	11/3/16	464,31	11:50:27	464,31	11:50:27	464,31	30,62	2,60	13,12
10	18/3/16	395,75	9:39:39	395,75	9:39:39	395,75			
11	18/3/16	472,16	10:29:32	472,16	10:29:32	472,16	41,25	2,72	19,48
12	31/3/16	406,86	14:13:31	405,76	15:52:32	406,31	35,58	2,39	14,45
13	21/4/16	993,03	12:26:21	993,03	12:26:21	993,03			
14	21/4/16	1164,11	11:34:41	1164,11	11:34:41	1164,11	60,00	11,80	69,85
15	6/5/16	319,05	9:58:38	326,25	10:56:20	322,65	30,40	2,10	9,81
16	20/5/16	799,16	10:12:25	799,16	10:12:25	799,16			
17	20/5/16	910,52	11:22:25	910,52	11:22:25	910,52	45,45	4,85	41,38
18	25/5/16	591,00	15:54:20	599,00	16:25:52	595,00	42,82	4,13	25,48
19	15/6/16	573,61	14:12:34	582,97	14:25:50	578,29	44,93	3,92	25,98
20	29/7/16	705,71	9:30:37	641,79	11:31:38	673,75	43,70	4,21	29,44
21	31/7/16	655,47	10:49:59	713,17	11:28:52	684,32	44,30	4,28	30,32
22	5/8/16	385,15	9:49:42	377,91	10:12:42	381,53	35,25	2,21	13,45
23	26/8/16	235,91	10:28:01	232,99	12:13:57	234,45	26,32	1,37	6,17
24	13/9/16	166,06	9:43:35	166,19	10:03:00	166,12	21,37	0,80	3,55
25	20/9/16	382,17	10:29:30	363,56	11:16:22	372,87	34,34	2,18	12,80
26	5/10/16	196,51	9:33:41	191,52	9:48:33	194,02	24,90	0,93	4,83
27	6/10/16	251,79	9:40:01	250,58	10:41:53	251,19	28,85	1,82	7,25
28	11/10/16	450,48	10:10:29	432,93	10:29:19	441,71	38,83	2,79	17,15
29	13/10/16	230,92	9:57:22	231,34	10:13:29	231,13	25,95	1,36	6,00
30	20/10/16	181,23	9:41:06	182,70	9:59:10	181,97	23,10	0,90	4,20
31	26/10/16	158,89	9:38:15	158,38	9:55:28	158,63	18,38	0,64	2,91
32	27/10/16	136,88	9:46:51	137,53	10:07:35	137,21	14,93	0,50	2,05
33	7/11/16	149,46	9:55:46	154,78	10:14:39	152,12	16,32	0,64	2,48
34	15/11/16	121,60	9:49:51	121,60	9:49:51	121,60			
35	15/11/16	169,27	10:09:36	169,27	10:09:36	169,27	16,15	0,64	2,73
36	16/11/16	168,69	10:20:16	168,69	12:35:27	168,69	24,35	0,88	4,11
37	29/11/16	124,47	9:37:38	122,27	9:55:26	123,37	10,48	0,29	1,29
38	1/12/16	184,63	10:08:52	189,22	10:55:25	186,92	13,27	0,29	2,48
39	25/1/17	245,24	11:51:56	246,35	12:37:39	245,79	12,32	0,28	3,03
Promedios						464,90	32,06	2,80	17,97

Fuente: Resultados de la investigación

De acuerdo a los resultados presentes en el cuadro 3, se pudo comprender el comportamiento del caudal líquido (variable independiente) con respecto a las variables dependientes, sólidos suspendidos y turbiedad.

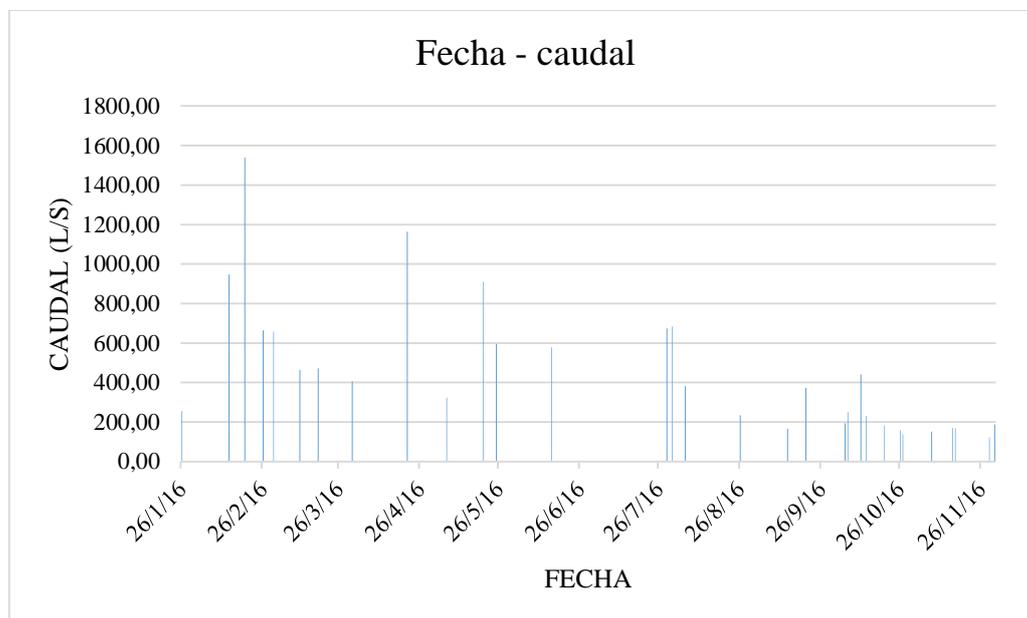


Figura. 7. Caudal de la microcuenca de El Carmen 1 en el tiempo de estudio

Fuente: Resultados de la investigación

Se obtuvo un caudal promedio de 464,90 l/s en los aforos realizados durante el tiempo de investigación, obteniendo como valores más bajos de caudal 121,60 l/s para el mes de noviembre y los valores más altos obtenidos fueron 1538,90 l/s en el mes de febrero del 2016 como se observa en la figura 7.

A continuación, en el cuadro 4 se presenta los valores más sobresalientes y que se debe tomar en cuenta para su mejor análisis.

Cuadro. 4. Cálculo de la producción anual de sólidos suspendidos, caudal y turbiedad en la microcuenca El Carmen 1

Promedio de caudal mensual (l/s)	Promedio mensual de sólidos suspendidos (ton/año)	Promedio de sólidos mensuales (ton/km ² año)	Promedio de turbiedad (NTU)
464,90	566,67	118,55	2,80

Fuente: Resultados de la investigación

Para el cálculo del caudal líquido se siguió el procedimiento descrito anteriormente donde se utilizó el método de trazadores químicos (sal), para esto se realiza una integral donde se calcula el área bajo la curva con los datos que se obtuvieron en campo y finalmente estos resultados multiplicar por el factor de conversión siguiendo la expresión descrita continuación.

Ecuación 15.
$$Q = \frac{V}{k \cdot \sum [EC(t) - EC_{bg}] \Delta t}$$

Donde:

$EC(t)$ = Conductividad medida en el t en $\mu\text{S}/\text{cm}$

EC_{bg} = Conductividad de fondo medida en $\mu\text{S}/\text{cm}$

Q = caudal en m^3/s

V = volumen de sal inyectada en mg

k = Factor de conversión en $\frac{\text{mg} \cdot \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}}{L}$

Esta **Ecuación** ha sido establecida para determinar el caudal del río en un momento bajo la determinación del área bajo la curva.

De la misma manera para la obtención de C_{ss} se siguió la metodología descrita anteriormente y se obtuvo un valor por cada aforo líquido realizado.

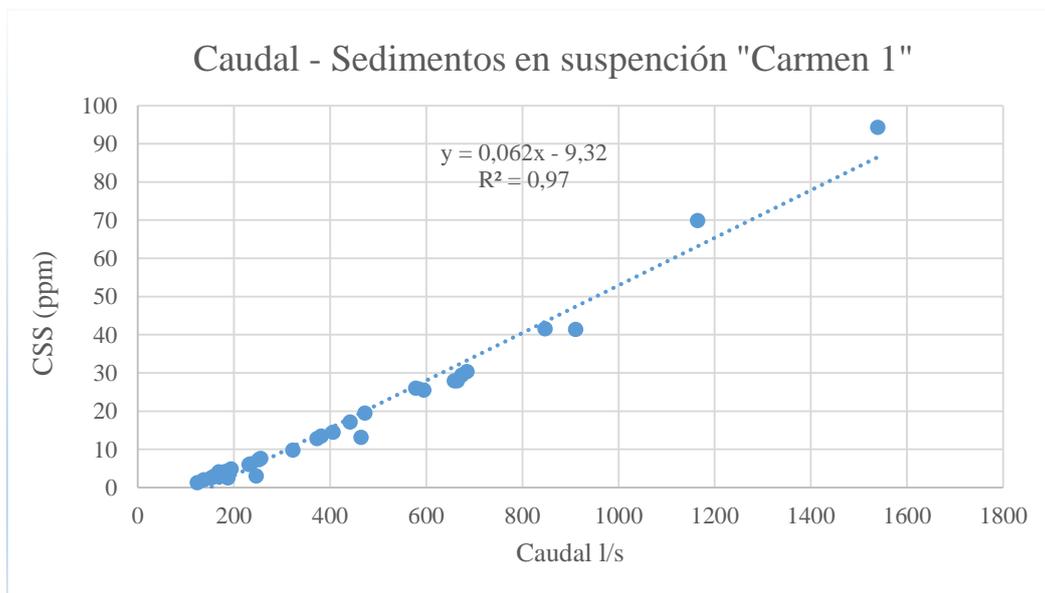


Figura. 8. Correlación entre el caudal líquido y sedimentos en suspensión (ppm) (NTU)

Fuente: Resultados de la investigación

Ecuación 16. Coeficiente de correlación de Pearson.
$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

Donde:

r_{xy} = Coeficiente de correlación de Pearson

n= número de muestras

x= variable independiente

y= variable dependiente

Ecuación 17. Factor de determinación $R^2 = (r_{xy})^2$

Ecuación 18. Estadístico T Student
$$T = \frac{x_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

Para la presente investigación se planteó la hipótesis nula $H_0: \rho=0$ y la hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$, donde los coeficientes de correlación ($R=0,98$) y determinación ($R^2=0,97$), muestran el alto grado de correspondencia entre estas variables por lo cual se consideró a la **Ecuación** como aceptable para el cálculo del caudal sólido (Css) a partir de caudales líquidos.

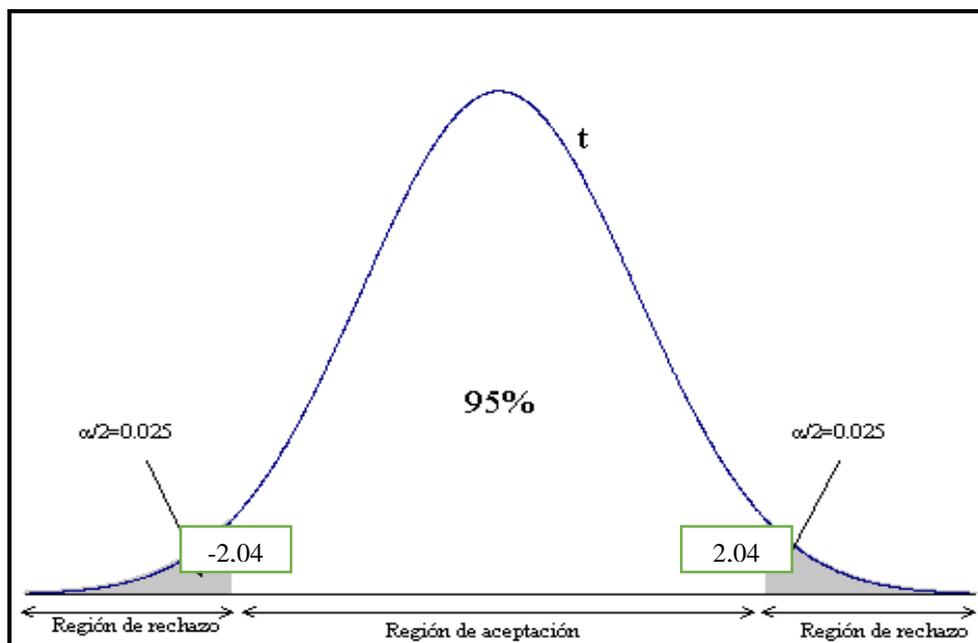


Figura. 9. Región de aceptación o rechazo para el contraste de la hipótesis planteada en la investigación

Fuente: Resultados de la investigación

La región de aceptación con un $\alpha = 0,05$ y 37 grados de libertad está determinada por los valores comprendidos entre -2,03 y 2,03, como observamos el valor del estadístico T (ver **Ecuación** 18) de: 30,09 queda muy lejos de estar dentro de la región de aceptación

de la hipótesis nula (ver figura 9), por tanto rechazamos la hipótesis nula que establecía que la correlación era igual a cero y podemos decir que hay una relación lineal significativa entre las variables C_{ss} y caudal.

Los estimadores mínimos cuadráticos **a** y **b** quedaron expresados mediante los valores adimensionales 0,0618 y 9,0155 que corresponden a los valores de: la ordenada en el origen, y la pendiente, esta última nos indica cuánto aumenta la concentración de sedimentos en suspensión por cada unidad que aumenta el caudal. En la figura 8, se ilustra la distribución de los datos de campo, así como los coeficientes que se obtuvieron en cada una de las curvas de regresión.

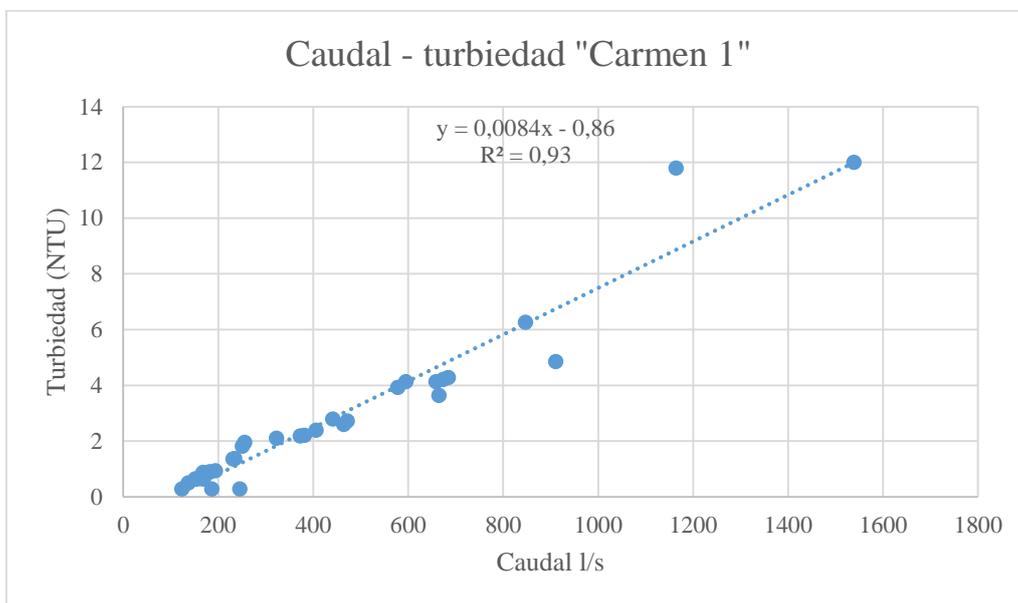


Figura. 10. Correlación entre el caudal líquido y la turbiedad, Carmen 1, Loja, 2016-2017.

Fuente: Resultados de la investigación

Así mismo se presenta un alto grado de correspondencia de correlación ($R=0,96$) y determinación ($R^2=0,93$) entre las variables de turbiedad y caudal. La región de aceptación con un $\alpha=0,05$ y 37 grados de libertad está determinada por los valores comprendidos entre -2,03 y 2,03 como observamos el valor del estadístico T (ver **Ecuación 18**) de: 19,29 queda muy lejos de estar dentro de la región de aceptación de la hipótesis nula, por lo que rechazamos la hipótesis nula que establecía que la correlación era igual a cero. Por tanto, podemos decir que hay una relación lineal significativa entre las variables, y que esta relación es muy alta. Los estimadores mínimos cuadráticos **a** y **b** que se obtuvieron mediante los valores adimensionales 0,0082 y 0,7775

que corresponden a los valores de: la ordenada en el origen, y la pendiente, esta última nos indica cuánto aumenta la concentración de la turbiedad por cada aumento del caudal.

- **Microcuenca Mónica**

Los datos de los aforos realizados en la microcuenca Mónica, para los valores obtenidos en el estudio se muestran en el siguiente cuadro resumen:

Cuadro. 5. Aforos líquidos y sólidos para determinar su correlación en la microcuenca "Mónica", Loja, 2016-2017.

Nro.	Fecha	Datos de caudales líquidos				Datos de sólidos en suspensión				
		Caudal 1 (l/s)	Hora	Caudal 2 (l/s)	Hora	Promedio	S. totales ppm	Turbiedad NTU	S. Totales (g/s)	
1	22/1/16	188,80	10:49:07	202,92	11:28:02	195,86	24,65	0,99	4,83	
2	5/2/16	139,22	10:29:13	136,69	10:59:52	137,95	16,13	0,51	2,22	
3	21/2/16	545,67	8:41:41	553,03	9:03:00	549,35	41,53	3,11	22,81	
4	4/3/16	395,27	10:13:52	401,73	11:12:26	398,50	35,45	2,27	14,13	
5	9/3/16	334,29	9:08:54	331,57	10:40:58	332,93	35,08	2,14	11,68	
6	10/3/16	387,90	9:30:41	355,21	11:37:49	371,55	33,92	2,16	12,61	
7	17/3/16	263,03	9:42:31	279,89	11:00:37	271,46	28,30	2,02	7,68	
8	1/4/16	380,80	10:05:39	364,40	14:40:04	372,60	32,65	2,17	12,17	
9	22/4/16	1031,34	10:01:40	996,97	10:48:24	1014,15	52,93	11,50	53,67	
10	1/5/16	240,92	9:48:45	242,00	10:17:01	241,46	27,27	1,54	6,59	
11	10/6/16	160,32	9:57:29	166,75	10:19:48	163,53	20,37	0,78	3,33	
12	18/6/16	220,89	10:05:32	225,98	10:30:12	223,43	25,57	1,27	5,71	
13	24/6/16	530,65	11:01:41	502,97	12:01:52	516,81	37,03	2,91	19,14	
14	1/7/16	632,55	10:00:45	632,55	10:00:45	632,55				
15	1/7/16	812,41	13:34:33	812,41	13:34:33	812,41	44,68	4,32	36,29	
16	5/7/16	190,91	11:43:06	202,37	12:16:38	196,64	24,87	1,22	4,89	
17	14/7/16	1645,12	11:28:04	1645,12	11:28:04	1645,12				
18	14/7/16	1486,88	11:46:49	1486,88	11:46:49	1486,88	53,10	12,00	78,95	
19	21/07/16	427,65	12:38:15	455,15	12:51:07	441,40	37,78	2,73	16,67	
20	04/08/16	273,94	12:07:54	285,71	12:26:16	279,82	32,27	2,10	9,03	
21	15/09/16	253,33	9:55:35	245,53	10:36:37	249,43	30,10	1,80	7,51	
22	21/09/16	136,78	10:08:08	135,04	10:47:22	135,91	16,00	0,45	2,17	
23	04/10/16	165,06	9:53:10	164,53	10:08:56	164,79	18,25	0,78	3,01	
24	18/10/16	182,19	9:53:10	172,91	10:59:54	177,55	20,63	0,88	3,66	
25	14/11/16	67,31	11:21:58	66,88	11:51:23	67,09	92,25	12,80	6,19	
26	17/11/16	58,80	10:23:26	58,80	12:06:44	58,80	76,20	12,60	4,48	
27	30/11/16	122,98	11:38:06	122,98	11:38:06	122,98				
28	30/11/16	136,90	12:17:18	136,90	12:17:18	136,90	24,62	0,91	3,37	
29	19/1/17	137,55	9:37:08	131,21	11:19:47	134,38	27,40	1,63	3,68	
Promedios						397,66	34,96	3,37	13,71	

Fuente: Resultados de la investigación

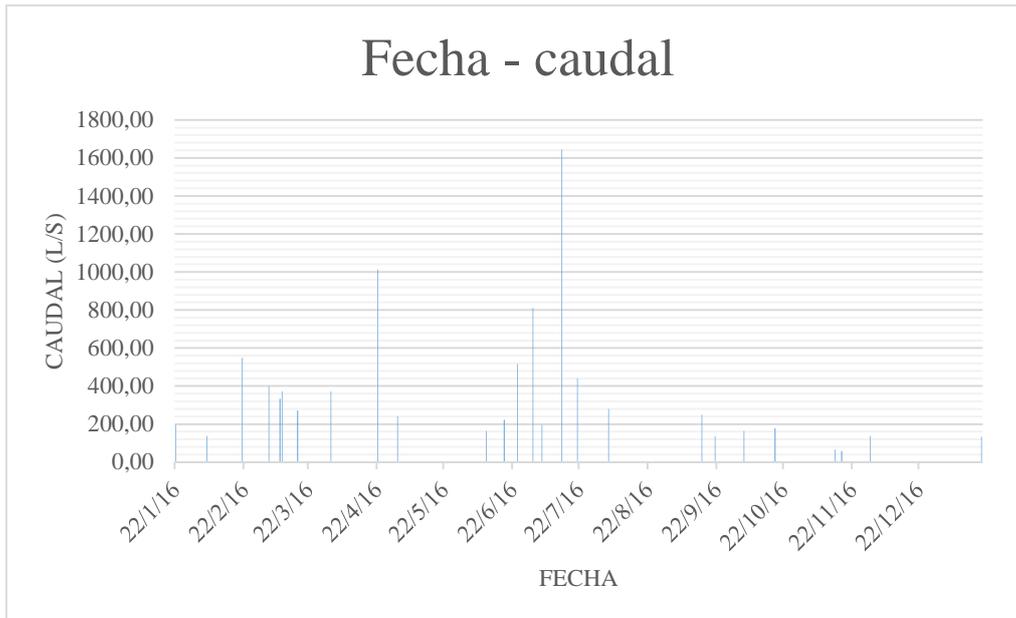


Figura. 11. Caudal de la microcuenca Mónica en el tiempo de estudio.

Fuente: Resultados de la investigación

En la microcuenca Mónica se obtuvo 397,66 l/s en promedio de los aforos realizados en el tiempo que se realizó la investigación obteniéndose como caudal más bajo 58,80 l/s en el mes de noviembre y los valores más altos obtenidos fueron 1486,88 l/s y 78,95g/s en el mes de agosto de 2016 como se observa en la figura 11.

A continuación, en el cuadro 6 se presenta los valores más sobresalientes y que se debe tomar en cuenta para su mejor análisis.

Cuadro. 6. Cálculo de la producción anual de sólidos suspendidos, caudal y turbiedad en la microcuenca Mónica

Promedio de caudal mensual (l/s)	Promedio mensual de sólidos suspendidos (ton/año)	Promedio de sólidos mensual ton/km ² año	Promedio de turbiedad (NTU)
397,66	432,38	78,75	3,37

Fuente: Resultados de la investigación

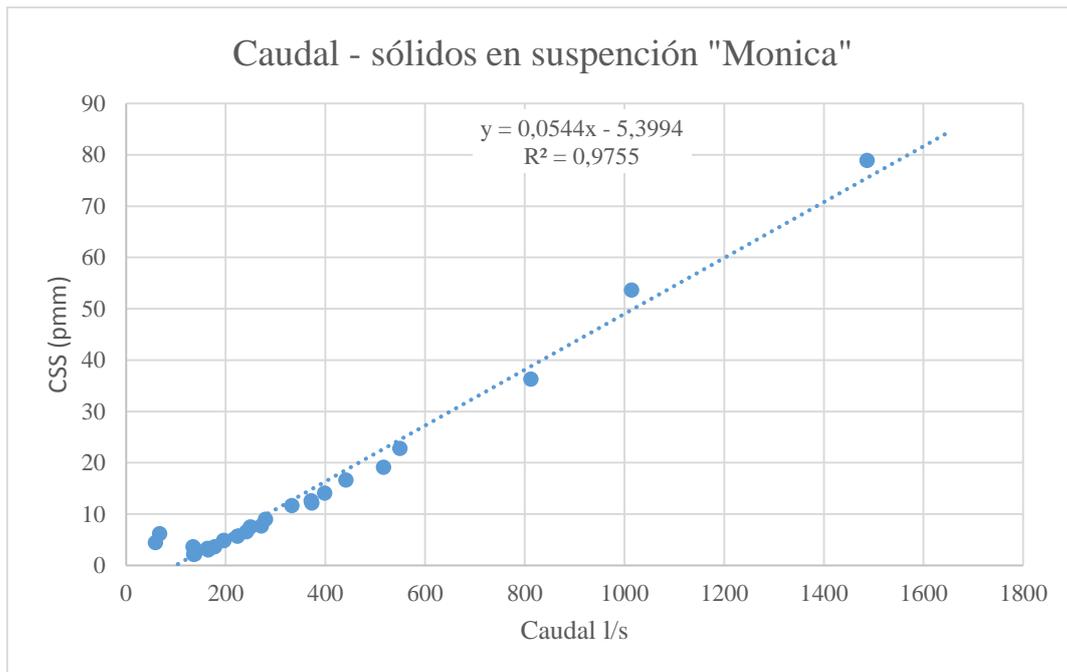


Figura. 12. Correlación entre el caudal líquido y la solidos suspendidos, Mónica, Loja, 2016-2017

Fuente: Resultados de la investigación

Para la microcuenca Mónica los coeficientes de correlación ($R=0,98$) y determinación ($R^2=0,97$), con un $\alpha = 0,05$ y 29 grados de libertad la zona de aceptación está determinada por los valores comprendidos entre $-2,04$ y $2,04$, al ser el valor del estadístico T: 37,09 se rechaza la hipótesis nula al caer fuera de la región de aceptación, por lo tanto podemos decir que hay una relación lineal significativa entre las variables de caudal y C_{ss} (figura 9).

Los estimadores mínimos cuadráticos **a** y **b** quedaron expresados mediante los valores adimensionales 0,0546 y 5,5272 que corresponden a los valores de: la ordenada en el origen, y la pendiente, esta última nos indica cuánto aumenta la concentración de sedimentos en suspensión por cada unidad que aumenta el caudal. En la figura 13 a continuación se ilustra de manera gráfica la distribución de los datos de campo, así como los coeficientes que se obtuvieron en cada una de las curvas de regresión.

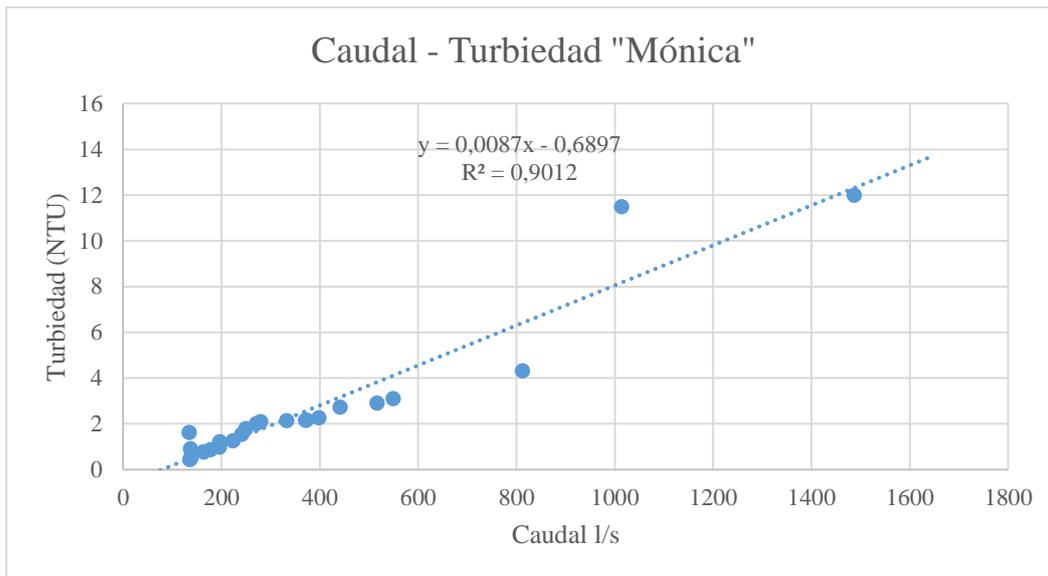


Figura. 13. correlación entre el caudal líquido y turbiedad, Mónica, Loja, 2016-2017

Fuente: Resultados de la investigación

En los resultados presentados en la figura 13, se observa que la correlación entre el caudal líquido y turbiedad es $R=0,95$ y su factor de determinación es $R^2=0,90$. La región de aceptación con un $\alpha= 0,05$ y 29 grados de libertad está determinada por los valores comprendidos entre $-2,04$ y $2,04$ como observamos el valor del estadístico $T=15,87$ queda muy lejos de estar dentro de la región de aceptación rechazamos la hipótesis nula que establecía que la correlación era igual a cero. Por tanto, podemos decir que hay una relación lineal significativa entre las variables y que esta relación es muy alta.

Los estimadores mínimos cuadráticos **a** y **b** que se obtuvieron mediante los valores adimensionales $0,0087$ y $0,6897$ se observan en la figura 13.

4.2. Resultados objetivo 2. Analizar la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuenca seleccionada.

Con los datos obtenidos de los aforos líquidos y sólidos y la descarga de los datos de precipitación de las estaciones en cada microcuenca, se representan las gráficas que determinan la relación existente entre las variables en cada una de las estaciones seleccionadas para este estudio. Para obtener la gráfica, se utilizaron los aforos realizados en el tiempo estipulado para la investigación y se correspondió con la precipitación obtenida de cada estación. Se utilizó la fórmula de la **Ecuación 7**, donde se obtuvo un resultado de $3,11$ días de escurrimiento después de una precipitación, para este estudio

los cálculos de precipitación se llevó a cabo tres días atrás del momento de realizar el aforo sólido, para obtener los valores reales de precipitación, escurrimiento que provoca y el arrastre de sólidos que conlleva este fenómeno.

- ***Construcción de las gráficas de precipitación, caudal y sólidos suspendidos.***
- **Microcuenca El Carmen 1**

A continuación, se presentan los datos obtenidos en la microcuenca El Carmen 1, para posteriormente analizarlos y conocer el comportamiento de cada microcuenca.

Cuadro. 7. Datos obtenidos en la microcuenca El Carmen

Fecha	Precipitación	Sólidos	Caudal
26/1/2016	0,000	7,587	255,45
29/11/2016	0,000	1,292	123,37
27/10/2016	0,000	2,048	137,20
7/11/2016	0,000	2,483	152,11
26/10/2016	0,000	2,915	158,63
13/9/2016	0,000	3,550	166,12
16/11/2016	0,000	4,108	168,68
15/11/2016	0,000	2,734	169,26
20/10/2016	0,000	4,203	181,96
1/12/2016	0,000	2,481	186,92
5/10/2016	0,000	4,831	194,01
13/10/2016	0,000	5,998	231,13
26/8/2016	0,000	6,172	234,44
6/10/2016	0,000	7,247	251,18
11/10/2016	0,000	7,247	251,18
6/5/2016	12,500	9,810	322,64
20/9/2016	9,4	12,804	372,86
5/8/2016	0,000	13,449	381,53
31/3/2016	15,600	14,455	406,31
11/3/2016	27,300	13,118	464,31
18/3/2016	30,400	18,480	472,15
15/6/2016	55,500	25,980	578,29
25/5/2016	97,500	25,481	595,00
1/3/2016	38,500	27,922	658,54
26/2/2016	17,600	27,913	664,60
29/7/2016	47,500	29,443	673,75
31/7/2016	17,500	30,315	684,32
13/2/2016	67,500	41,534	846,98
20/5/2016	21,500	41,383	910,52
21/4/2016	63,100	69,846	1164,18
19/2/2016	53,500	94,257	1538,85

Fuente: Resultados de la investigación

Se realizó los aforos con el fin de obtener datos más precisos y cercanos a la realidad, esto se puede evidenciar en la figura 8 para la microcuenca El Carmen 1 y en la figura 12 para la microcuenca Mónica, donde muestra la correlación de estos datos de la precipitación y la C_{ss}, mientras que en la figura 7 y 11 se muestra la variabilidad de los datos en el periodo de investigación para la microcuenca El Carmen 1 y Mónica respectivamente.

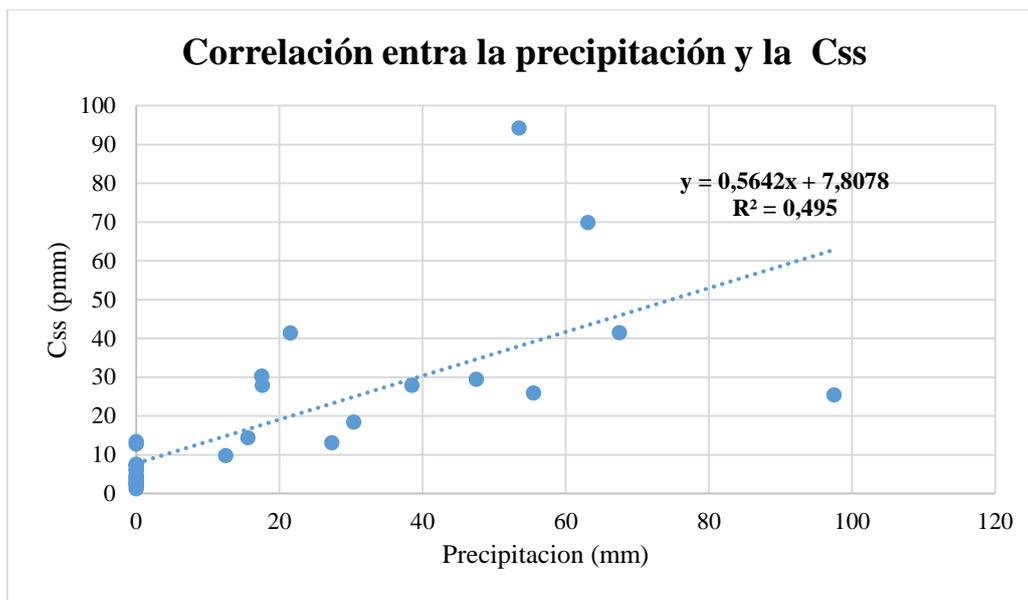


Figura. 14. Correlación de Pearson de la precipitación y la C_{ss} en la microcuenca El Carmen 1.

Fuente: Resultados de la investigación

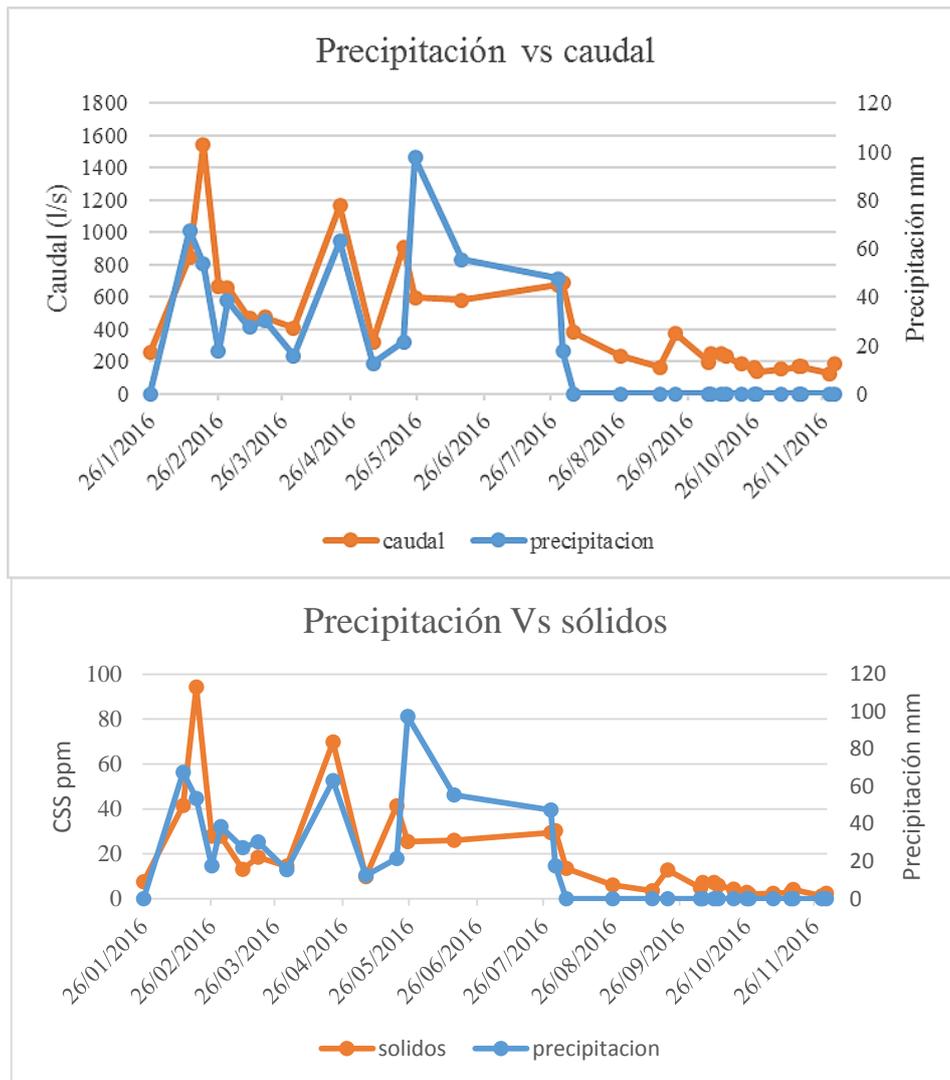


Figura. 15. Comparación de los datos obtenidos en el tiempo de la investigación entre la precipitación con el caudal y los sólidos.

Fuente: Resultados de la investigación

En figuras14, podemos evidenciar un factor de determinación $R^2= 0,42$ entre el arrastre de sólidos y la precipitación, siendo los meses de febrero, abril y mayo los meses de mayor precipitación y ha significado un aumento de arrastre de sedimentos para estos meses en la microcuenca El Carmen 1.

- **Microcuenca Mónica**

Cuadro. 8. Datos obtenidos en la microcuenca Mónica

Fecha	Precipitación	Sólidos	Caudal
22/1/2016	7,01	24,65	195,86
5/2/2016	3,91	16,12	137,95
21/2/2016	25,96	41,52	549,34
4/3/2016	17,88	35,45	398,49
9/3/2016	14,36	35,07	332,92
10/3/2016	16,43	33,92	371,55
17/3/2016	11,07	28,3	271,45
1/4/2016	16,49	32,65	372,60
22/4/2016	50,87	52,92	1014,1
1/5/2016	9,46	27,27	241,46
10/6/2016	5,28	20,37	163,53
18/6/2016	8,49	25,57	223,43
24/6/2016	24,24	37,02	516,81
1/7/2016	35,24	44,67	722,48
5/7/2016	7,06	24,87	196,63
14/7/2016	80,45	53,1	1565,9
21/7/2016	20,17	37,75	441,39
4/8/2016	11,51	32,27	279,82
15/9/2016	9,89	30,1	249,42
21/9/2016	3,80	16	135,91
4/10/2016	5,35	18,25	164,79
18/10/2016	6,03	20,62	177,54
14/11/2016	0	0,00	67,092
17/11/2016	0	0,00	58,802
30/11/2016	3,48	24,62	129,93
19/1/17	3,72	27,40	134,37

Fuente: Resultados de la investigación

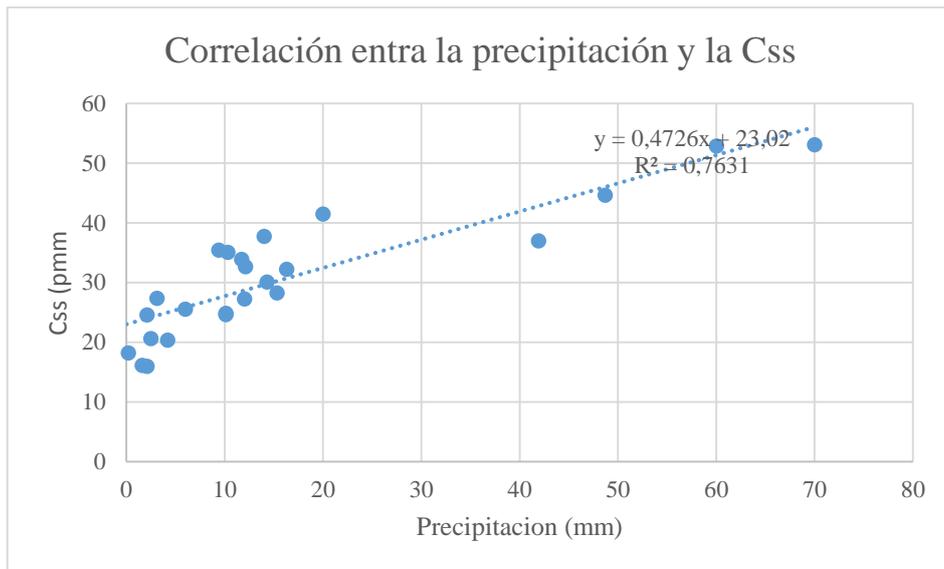


Figura. 16. Correlación de Pearson de la precipitación y la C_{ss} en la microcuenca Mónica
Fuente: Resultados de la investigación

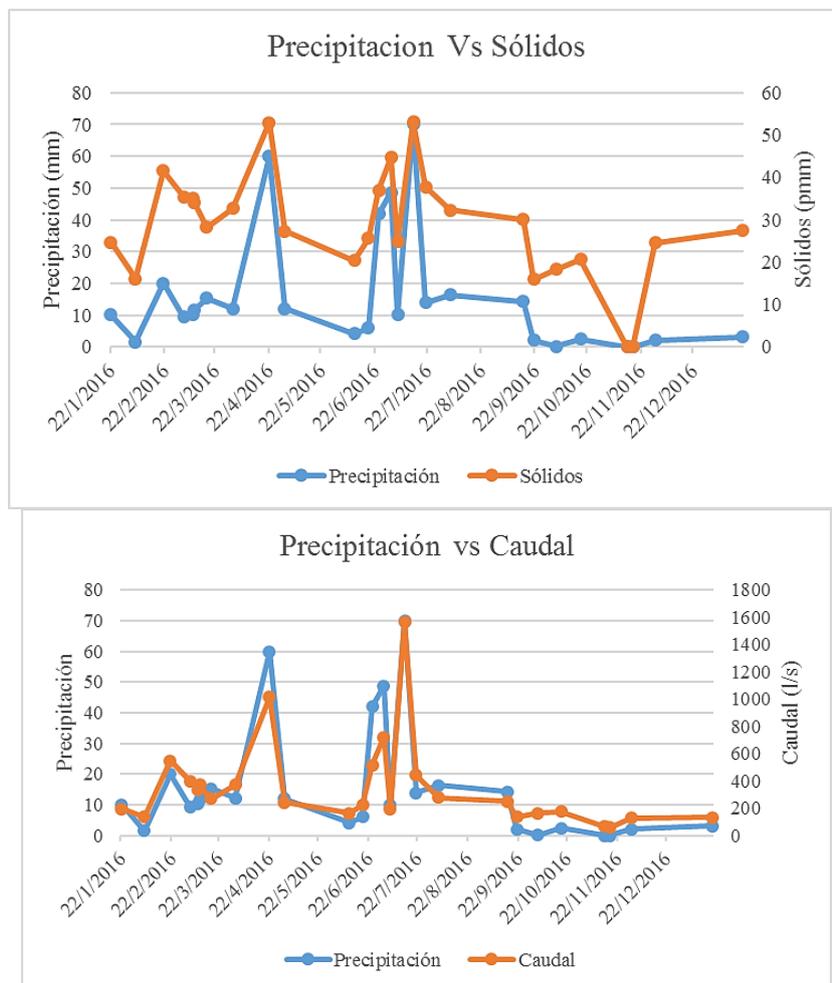


Figura. 17 Comparación de los datos obtenidos en el tiempo de la investigación.
Fuente: Resultados de la investigación

En la figura 16, nos muestra un factor de determinación $R^2= 0,76$ entre el arrastre de sólidos y la precipitación, siendo los meses de abril, junio y julio los meses de mayor precipitación y ha significado un aumento de arrastre de sedimentos para estos meses en la microcuenca Mónica.

- *Análisis de los datos obtenidos de eventos máximos de precipitación y sólidos.*

Los resultados obtenidos de eventos máximos de precipitación y sólidos para la microcuenca El Carmen 1 se presentan a continuación.

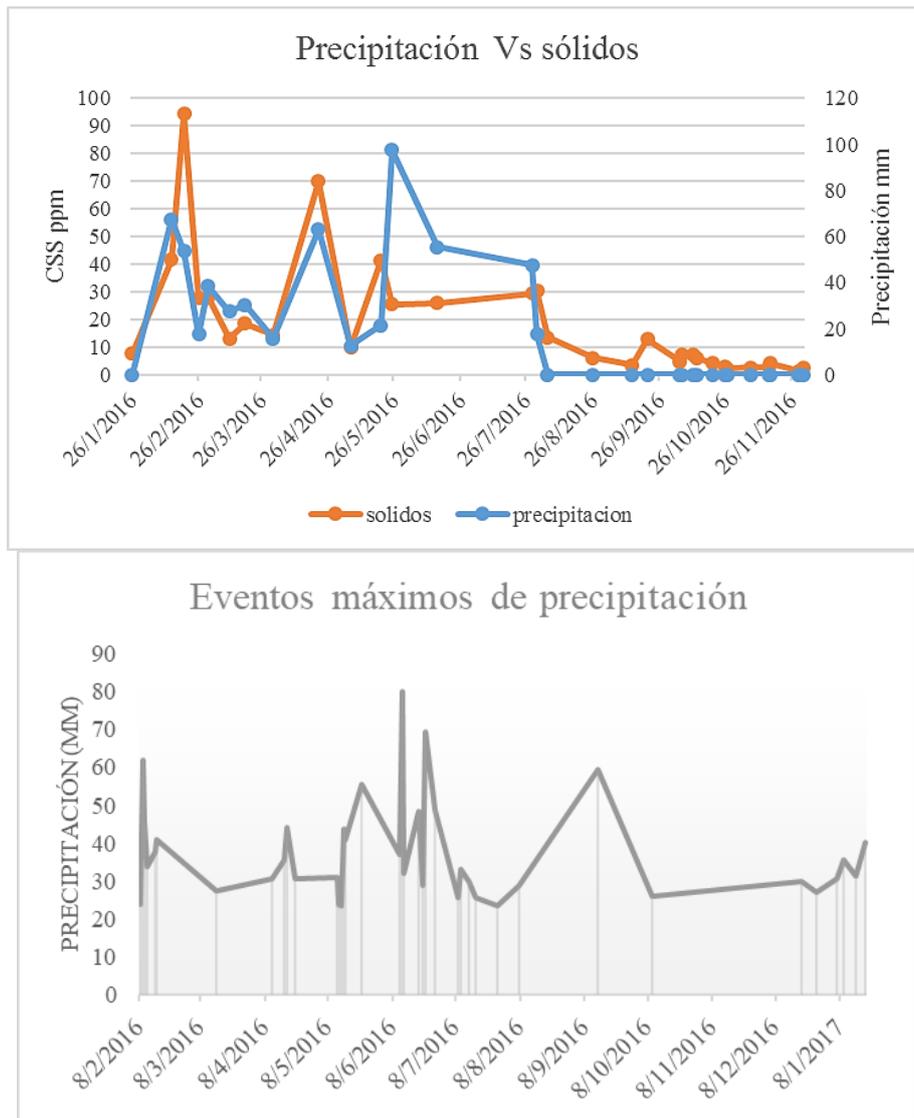


Figura. 18. Comparación entre eventos máximos y producción de sedimentos en la microcuenca El Carmen 1.

Fuente: Resultados de la investigación

En la figura 18 se observa una pequeña correspondencia de la producción de sedimentos a los eventos máximos de lluvia que se obtuvieron a lo largo de la presente investigación, pero, no existe una gran correspondencia debido a que los aforos no se los realizó en el mismo día de la precipitación máxima y por ende hay un sesgo en los resultados.

Los resultados obtenidos de eventos máximos de precipitación y sólidos para la microcuenca Mónica se presentan a continuación.

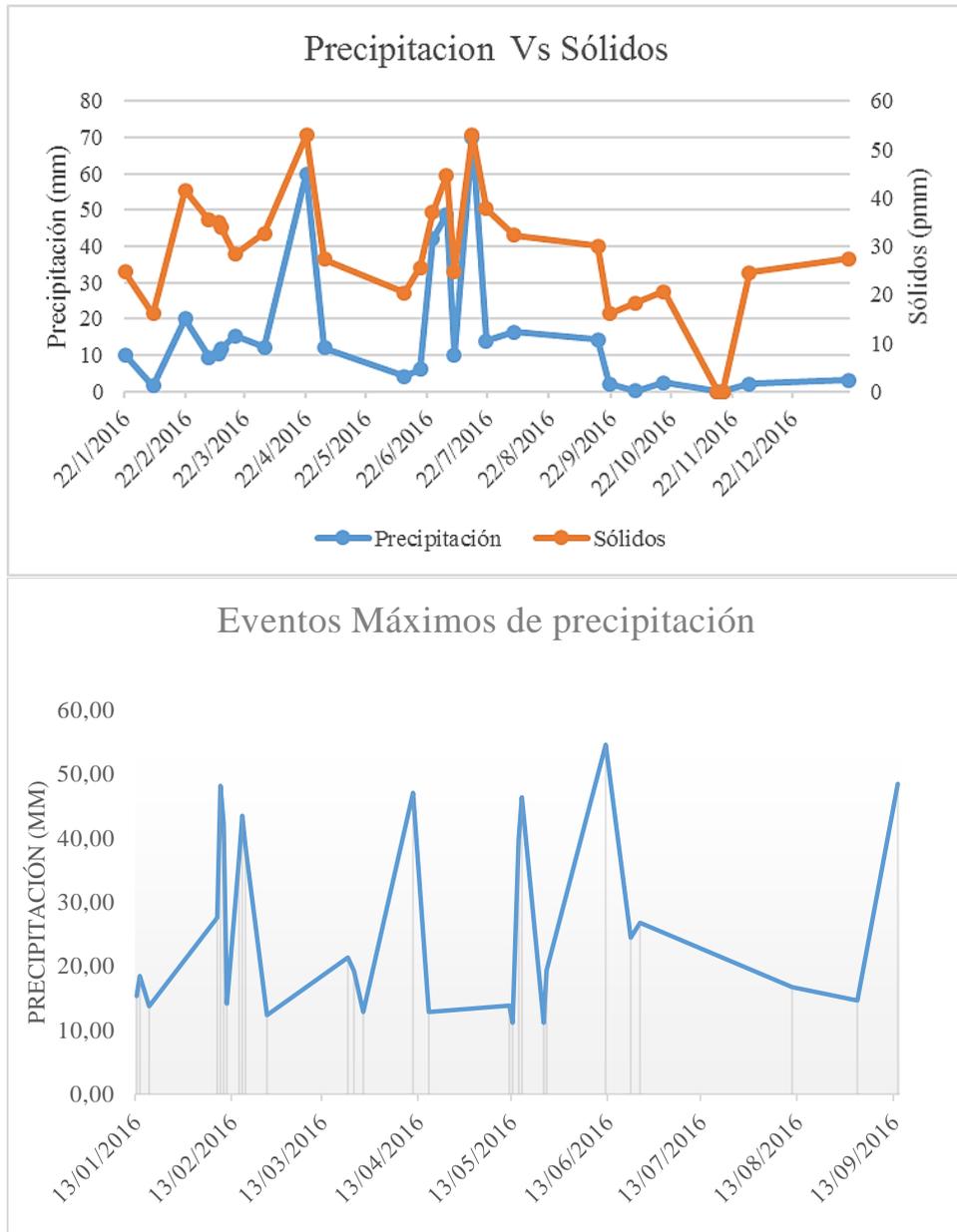


Figura. 19. Comparación entre eventos máximos y producción de sedimentos e la microcuenca Mónica

Fuente: Resultados de la investigación

En la figura 18 se observa una pequeña correspondencia de la producción de sedimentos a los eventos máximos de lluvia que se obtuvieron a lo largo de la presente investigación, pero, existe mayor correspondencia en comparación con la microcuenca El Carmen 1, debido a que los aforos los realizo en los mismos días de precipitación máxima y por ende hay una mayor correspondencia entre el caudal y la precipitación.

5. DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analizan aspectos relacionados al proceso metodológico empleado para el levantamiento de la información, así también se discuten los resultados obtenidos en la investigación

5.1. Discusión objetivo 1. Estimar la relación entre la producción de sedimentos en suspensión y caudales líquidos para cada microcuenca seleccionada

En la presente investigación para la obtención de caudales líquidos se utilizó el método de trazadores químicos (sal), el mismo que se describe en el capítulo de metodología. Este método es el más utilizado y proporciona los mejores resultados con un rango de confiabilidad del 95 % estadísticamente hablando (Comina, Lasagna, De Luca, y Sambuelli, 2013; Kumar y Nachiappan, 2000; Tazioli, 2011), y poseer el conjunto de características que justifican este método como el más efectivo para cuencas de alta montaña.

Para la obtención de los sólidos suspendidos se aplicó la metodología descrita anteriormente y de esta manera se pudo realizar la correlación que existe entre el caudal y los sólidos suspendidos en las microcuencas El Carmen 1 y Mónica.

- **Microcuenca El Carmen 1**

En los resultados analizados la relación entre los datos de caudales líquidos y los sólidos suspendidos no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas, con $R^2 = 97,64$ y un análisis de confiabilidad del 95% con el estadístico T de Student entre los datos analizados de caudal en l/s y sólidos en g/s, lo que indica que existe una clara dependencia de los sólidos al caudal del río en la zona de estudio, esto lo corroboran los diferentes estudios realizados en diferentes ríos del mundo (Jones y Frostick, 2002; J. López et al., 2009; Restrepo y Restrepo, 2005).

Además, estos resultados se pueden atribuir al tipo de suelo, según información del MAGAP escala 1:250 000 del año 2002. La microcuenca El Carmen 1 posee órdenes de suelo, Inceptisol y Entisol, que ocupan un 72,5% y 27,5% respectivamente de su área (Vanegas, 2016).

El orden Inceptisol son aquellos suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes todavía en evolución. Es por ello, que en este orden aparecerán suelos con uno o más horizontes de diagnóstico cuya

génesis sea de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema, además son susceptibles a la erosión del suelo y movimientos en masa, (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014; Ibáñez et al., 2007; Jaramillo, 2002), los cuales contribuyen a la erosión del suelo y posteriormente al arrastre de sedimentos ya que representa la mayoría de la superficie de la microcuenca de estudio.

Mientras los suelos de orden Entisol son suelos derivados de materiales residuales, predominan los de origen volcánico, de topografía muy quebrada, con pendientes complejas, textura franca, arenosa o arcillosa (Vanegas, 2016), presentan un potencial de agua positivo en la superficie del suelo por más de 21 horas de cada día en todos los años presentan condiciones ácuicas y materiales sulfídicos dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral; también presentan una saturación permanente con agua y una matriz reducida en todos los horizontes debajo de los 25 cm a partir de la superficie del suelo mineral. (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014)

Esta microcuenca presenta una cobertura vegetal, bosque 82,58%, páramo 11,15%, plantaciones forestales 0,45%, matorral 4,71%, pastizal 0,75%, suelo desnudo 0,29% y cuerpos de agua 0,043% (FAO, 2015; Silva, 2014) y como consecuencia tiende a disminuir la producción de sedimentos en el cauce, ya que la cobertura vegetal protege al suelo de la erosión, evitando entre otras cosas las gotas de lluvia, extrae humedad del suelo, refuerzan el suelo con sus raíces, retienen partículas del suelo, etc (Banco Mundial, 1995; Días, 2011; Suarez, 2001; Zuzell, Díaz, Schietecatte, Ruiz, y Almoza, 2007)

Así mismo, la pendiente media del cauce principal El Carmen 1 es 35,7 % lo que indica que la pendiente escarpada, típico de una cuenca de alta montaña (Vanegas, 2016). Una corriente de pendientes pronunciadas tendrá mayor capacidad de erosión y transporte de sedimentos como se indica en los siguientes estudios por distintos autores (Anaya, Montoya, y Montoya, 2005; Estalrich, Hernández, Aranda, y Pastor, n.d.; Hernández Daniel, 2011; Montoya y Montoya, 2005; Saturnino, Alcázar, Cermeño, y Barbero, 2011; Vanegas, 2016)

La densidad de drenaje en El Carmen 1 es 1,63 km/km² lo que significa que tiene una moderada densidad y un área pobremente drenada y tiempos muy lentos hidrológicamente hablando (Londoño, 2001; Vanegas, 2016).

Todos los factores analizados anteriormente influyen directa o indirectamente en la producción de sedimentos en el año de estudio el cual dio promedio de caudal 464,90 l/s y producción de sedimentos de 118,55 ton/km² año, esta producción de sedimentos es muy baja en comparación con estudios realizados de forma similar como se observa a continuación:

Tabla. 5. Estudios de producción de sedimentos similares a la presente investigación

Zona y lugar de estudio	Producción de sedimentos (ton/km ² año)	Autor
Evaluación de producción de sedimentos en la cuenca del río La Miel (Colombia)	600	(Anaya et al., 2005)
Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile (Chile)	90.3	(Iroume, 1992)
Sediment Flux to Basins Causes, Controls and Consequences (Londres, Reino Unido)	592	(Jones & Frostick, 2002)
Suspended sediment transport in a highly erodible catchment: The River Isábena (Southern Pyrenees) (España)	562	(J. López et al., 2009)
Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos en la cuenca del río Magdalena (Colombia)	689	(Restrepo & Restrepo, 2005)

...continuación de la tabla 5. Estudios de producción de sedimentos similares a la presente investigación.

Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la Cuenca El Limón , en el Río Zamora (Ecuador, Zamora)	Estimación por meses	(Sarango, 2013)
Estudio de los procesos de transporte de sedimento en suspensión para el Proyecto de Generación Hidroeléctrica HIDRO-SANBARTOLO, mediante un modelo físico de lecho móvil	0,478	(Cabrera & Montalvo, 2012)

Fuente: Resultados de la investigación

- **Microcuenca Mónica**

En los resultaos de análisis de relación entre los datos de caudales líquidos y los sólidos suspendidos no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas, con un 0,9756 % de confiabilidad entre los datos analizados de caudal en l/s y sólidos en g/s, lo que indica que existe una clara dependencia de los sólidos al caudal del río en la zona de estudio, así como se analizó en la microcuenca anterior.

Se obtuvo 397,66 l/s 13,71 g/s en promedio de los aforos realizados en el tiempo que se realizó la investigación obteniéndose como valores más bajos de 58,80 l/s y 4,48 g/s y los valores más altos obtenidos fueron 1486,88 l/s y 78,95g/s.

Además, estos resultados se deben en gran parte a el tipo de suelo, según información del MAGAP escala 1:250 000 del año 2002. La microcuenca El Carmen 1 posee órdenes de suelo, Inceptisol y Entisol, que ocupan un 41,6 % y 58,4 % respectivamente de su área.(Vanegas, 2016)

La microcuenca Mónica presenta una cobertura vegetal la cual se describe a continuación: bosque 71,2%; pastizal 10,6%; matorral 5,5%; área sin vegetación 0,3%; páramo 11,8%; y plantaciones forestales 0,6% (Vanegas, 2016). además posee una pendiente de 52,9% lo que indica que su relieve es muy escarpado, además este parámetro es importante en la

influencia sobre la respuesta hidrológica de la cuenca (Vanegas, 2016). Que es similar a la microcuenca El Carmen 1, lo cual se asume que tienen la misma respuesta a la producción de sedimentos según este parámetro.

De la misma manera la pendiente media del cauce principal de Mónica es 48,2% que indica que la pendiente es muy fuerte, típico de una cuenca de alta montaña (Vanegas, 2016).

La densidad de drenaje en Mónica es 1,36 km/km² lo que significa que tiene una moderada densidad y un área pobremente drenada y tiempos muy lentos hidrológicamente hablando (Londoño, 2001; Vanegas, 2016).

Todos los factores analizados anteriormente influyen directa o indirectamente en la producción de sedimentos en el año de estudio el cual dio promedio de caudal 397,66 l/s y producción de sedimentos de 78,7588926 ton/km² año, esta producción de sedimentos es muy baja en comparación con estudios realizados de forma similar como se observa a continuación:

Tabla. 6. Comparación entre las dos microcuencas analizadas

Área
De acuerdo a la superficie mencionada en el capítulo anterior las microcuencas tienen una área relativamente pequeña y con una variación de aproximadamente 12,87 %, lo cual no influye en gran medida a la producción de sedimentos
Tipo de suelo
Existe una clara diferencia en las microcuencas analizadas ya que en orden Inceptisol varían más del 30 % de la superficie además lo que significa que hay mayor tendencia a erosión en la microcuenca Mónica y esto se ve evidenciado en los datos obtenidos, pero el caudal promedio es mayor en El Carmen 1, por ende el arrastre de sedimentos es mayor en la microcuenca mencionada
Cobertura vegetal
La cobertura vegetal no es muy diferente en cada microcuenca, esto se corrobora con información cartográfica de la zona 1, además está protegida tanto por pertenecer al parque nacional Podocarpus como por el municipio, ya que abastece de agua potable a la ciudad de Loja, mientras que la microcuenca Mónica, se encuentra más intervenida con asentamientos humanos, ganadería y minería artesanal. Por lo consecuente es evidente que haya mayor degradación en la microcuenca Mónica.

...Continuación de la Tabla. 6. Comparación entre las dos microcuencas analizadas

Pendiente media del cauce
Este es otro factor contribuye una mayor capacidad de transporte a la microcuenca Mónica, afirmando los datos obtenidos en campo, las dos microcuencas presentan una pendiente escarpada.

Fuente: Resultados de la investigación

La turbiedad para las dos microcuencas presenta una la relación lineal que presentan relaciones significativas tanto en la microcuenca El Carmen 1 y Mónica de 0,93 y 0,91 respectivamente con una confiabilidad del 95% aplicando el estadístico T de student.

5.2. Discusión objetivo 2. Análisis de la influencia de la precipitación sobre la producción de sedimentos en suspensión en cada microcuenca seleccionada.

En los datos obtenidos de los aforos sólidos y la descarga de datos de las estaciones pluviométricas se pudo comprobar el comportamiento de cada microcuenca a los eventos de precipitación y la C_{ss} como se explicará a continuación:

Como mencionan algunos autores como: Desir, (2001); Iroume, (1992), Iroume (2003); Montoya y Montoya, (2005), la precipitación influye en gran medida a la producción de sedimentos en cualquier escenario, depende el estado de conservación del área de estudio para que haya mayor o menor transporte de sedimentos, así como se pudo observar en las microcuencas analizadas.

En la microcuenca El Carmen 1 se obtuvo un valor de R^2 de 0,495 lo que significa que la precipitación no influye en gran proporción a la producción de sedimentos, esto se puede deber a las condiciones de manejo de la microcuenca, a la cobertura vegetal y al tipo de suelo como se explicó anteriormente, que evitan que el suelo se erosione por la precipitación y no sea un factor determinante en la producción de sedimentos, además de tener valores muy bajos de C_{ss} en comparación con estudios similares.

Mientras que la microcuenca Mónica presenta un valor de R^2 de 0,76 lo que indica que la precipitación si incide en mayor medida en la producción de sedimentos, esto se puede deducir a que esta microcuenca presenta un mayor grado de degradación y por consecuencia se produce una mayor erosión hídrica ya que no cuenta con una cobertura vegetal abundante como encontramos en la microcuenca El Carmen 1 del 79,9 % de

presencia de bosque vs un 71,82% de bosque en la microcuenca Mónica, lo que incide en la producción de sedimentos en suspensión al llegar al lecho del río.

Además, en las figuras 18 y 19 se puede observar una dependencia de los sólidos a los eventos máximos de precipitación para cada microcuenca, haciendo más validos los datos obtenidos en la investigación realizada, así como se mencionó anteriormente la precipitación influye directamente en la producción de sedimentos y al ocurrir los eventos máximos de precipitación hay mayor lluvia y por ende habrá mayor transporte de sedimentos.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se establecieron las siguientes conclusiones:

- En las microcuencas Mónica y El Carmen al analizar las variables C_{ss} y Caudal se obtuvo un factor de determinación (R^2) cercano a uno, lo que nos indica que existe una fuerte relación entre estas variables ya que a mayor caudal existe mayor arrastre de sedimentos en suspensión y a menor caudal menor arrastre de sedimentos.
- En la microcuenca El Carmen 1 la producción anual de sedimentos fue de 118,55 ton/km²año, y la microcuenca Mónica presentó 78,75 ton/km²año, por ende, estas microcuencas se consideran en un buen estado de conservación.
- Las microcuencas de El Carmen y Mónica presentan un promedio de arrastre de sedimentos en suspensión de 34,96 mg/l y 32,06 mg/l respectivamente, a pesar de tener un menor caudal la microcuenca Mónica se encontró un mayor arrastre de sedimentos en unidad de peso por unidad de volumen mg/l, concluyendo que la microcuenca de Mónica presenta un grado de intervención mayor que la microcuenca El Carmen.
- La precipitación influye en la C_{ss} mayormente en la microcuenca Mónica que presenta un factor de determinación $R^2 = 0,76$ que indica una fuerte relación entre las variables analizadas mientras que, la microcuenca El Carmen 1 presenta un $R^2 = 0,49$, esto se debe principalmente al tipo de cobertura vegetal y suelo que permiten un menor o mayor arrastre de sedimentos.
- La microcuenca Mónica presenta un mayor grado de degradación debido al mayor arrastre de sólidos que presentó, al tipo de cobertura vegetal, intervención antrópica y al tipo de suelo.

7. RECOMENDACIONES

- Instalar vertederos en los puntos de aforos establecidos para obtener los valores constantes del nivel del río y así poder obtener datos más exactos y a tiempo real todo el año, y de esta manera conocer el caudal aproximado con el nivel del agua.
- Mejorar la infraestructura de las estaciones tanto en los sensores como en los data logger para evitar daños en las estaciones y evitar pérdida en la toma de datos.
- A pesar de que no existe un considerable transporte de sedimentos en las microcuencas de estudio tomar en cuenta los resultados para presentarlo a las autoridades competentes y realizar acciones para reducir el arrastre de sedimentos como la reforestación con plantas de rápido crecimiento y follaje abundante, ya que estas microcuencas son prioritarias para el abastecimiento de agua, y la microcuenca El Carmen 1 es una de las principales abastecedoras de agua de la ciudad en Loja en la actualidad.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilar, i. (2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en guatemala*. Fao. Retrieved from <http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820628912320/fao20manejo20de20cuencas.pdf>
- Aguirre, m. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos, 5(1). Retrieved from http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas_m_aguirre.pdf
- Aguirre, & samaniego, n. (2014). Bases ecológicas para la restauración de la biodiversidad y funcionalidad de ecosistemas degradados en la región sur del ecuador, ante potenciales cambios ambientales climáticos (rebio). Loja. Loja. Retrieved from <http://www.citiab.com/bases-ecoloacutegicas.html>
- Ahmed, f., & srinivasa, k. (2015). Geomorphometric analysis for estimation of sediment production rate and run-off in tuirini watershed, mizoram, india, 5, 67–77.
- Anaya, j., montoya, r., & montoya, l. (2005). Evaluación de la producción de sedimentos en la cuenca del río la miel. *Avances en recursos hidráulicos*, 12(1965), 119–134. Retrieved from https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahukewihgowj3o3uahxeqcykhteqcqfgqfgg2mai&url=http%3a%2f%2fintranet.minas.medellin.unal.edu.co%2findex.php%3foption%3dcom_docman%26task%3ddoc_download%26gid%3d1432%26item
- Banco mundial. (1995). Vetiver la barrera contra la erosión. Retrieved from http://www.vetiver.org/publications/tvn_greenspan.pdf
- Bateman, a. (2007). Hidrología básica y aplicada. Retrieved from <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Borja, r., & alcantara, i. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en zacapoaxtla, puebla. *Investigaciones geográficas (mx)*, 53(0188–4611), 7–26. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905302>
- Bravo, m., osterkamp, w., & lopes, v. (2004). Transporte de sedimentos en corrientes naturales: revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de

- sedimentos de fondo. *Terra latinoamericana*, 22(2395–8030), 377–386. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57322315.pdf>
- Cabrera, c., & montalvo, c. (2012). *Estudio de los procesos de transporte de sedimento en suspensión para el proyecto de generación hidroeléctrica hidro-sanbartolo, mediante un modelo físico de lecho móvil*. Universidad de cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/781/1/ti906.pdf>
- Carpio, t. (2105). *Turbiedad por nefelometría (metodo b)*. Medellin. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/turbiedad+por+nefelometría..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>
- Celleri, r., bièvre, d. B., & ochoa, b. (2012). *Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos*. Condesan. Retrieved from <http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/guiametodologica-mhea05nov2012.pdf>
- Chevesich, g. (2010). Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. In j. D. B. F. Balocchi & phi-vii (eds.) (1st ed., p. 144). Retrieved from http://eias.utralca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_vol1.pdf
- Citiab. (2016). Información de cobertura vegetal; microcuencas el carmen 1, mónica.
- Comina, c., lasagna, m., de luca, d., & sambuelli, l. (2013). Discharge measurement with salt dilution method in irrigation canals: direct sampling and geophysical controls. *Hydrol. Earth syst. Sci. Discuss*, 10, 10035–10060. <https://doi.org/10.5194/hessd-10-10035-2013>
- Cruz, e. (2014). *Universidad veracruzana. Tesis*. Universidad veracruzana. Retrieved from <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/40170/1/cruzosorioedgar.pdf>
- Daly, c., smith, j. W., smith, j. I., & mckane, r. B. (2007). High-resolution spatial modeling of daily weather elements for a catchment in the oregon cascade mountains, united states. *Journal of applied meteorology and climatology*, 46(10), 1565–1586.
- Delgadillo, a., & moreno, b. (2011). Morfometría de cuencas. Retrieved July 3, 2017, from <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/hidro/morfometr%cdade cuencas.pdf>

- Departamento de agricultura de los estados unidos servicio de conservación de recursos naturales. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos*. *Mdp.edu.ar* (desima sed). Montecillo. Retrieved from http://www.mdp.edu.ar/agrarias/grado/723_genesis/archivos/taxonomia_suelos_2010.pdf
- Desir, g. (2001). Produccion de sedimentos y tasas de erosion en suelos yesiferos del sector central de la depresion del ebro. *Boletin geologico y minero*, 112(1), 3–18.
- Días, c. (2011). Alternatives for erosion control by using conventional coverage, non-using conventional coverage, nonconventional coverage and revegetation. *Ingeniería e investigación*, 31(3), 80–90. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>
- Dussaubat, s., & vargas, x. (2005). Modernización e integración transversal de la enseñanza de pregrado en ciencias de la tierra. Retrieved from http://mct.dgf.uchile.cl/areas/guia_aforo.pdf
- Estalrich, e., hernández, a., aranda, l., & pastor, j. (n.d.). Estudio de factores edáficos relacionados con la erosión y escorrentía en taludes de fuerte pendiente; ensayos de revegetación. Retrieved from <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo2/articulo161.pdf>
- Fao. (2015). Los bosques y suelos forestales contribuyen de manera esencial a la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial | fao. Retrieved July 3, 2017, from <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- Farfán, f., urbina, l., ferreira, s., & brandan, m. (2010). Caracterización y red de drenaje de la subcuenca del río tin-tin, pn. Los cardones, salta characterization and drainage net of the subbasin of the river tin-tin p.n. The cardones, salta. *Ciencia*, 5(7), 7–21. Retrieved from <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-1.pdf>
- Foresti, l., & pozdnoukhov, a. (2012). Exploration of alpine orographic precipitation patterns with radar image processing and clustering techniques. *Meteorological applications*, 19(4), 407–419.
- Fuentes, j. D. J.** (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de tancítaro*. Retrieved from http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf

- Galecio, j. (2007). *Métodos de aforo para la estimación de la recarga de acuíferos*. Universidad de Chile. Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/galecio_j/sources/galecio_j.pdf
- Gisbert, j., Ibáñez, s., & Moreno, h. (2010). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Guillén, a. (2015). *Modelamiento bidimensional hidrodinámico del flujo y transporte de sedimentos a través del río Calabí y obras hidráulicas*. Octubre -2015 trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23116/1/tesis.pdf>
- Hernández Daniel. (2011). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos*. Universidad del Bío Bío. Retrieved from http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez_d/doc/hernandez_d.pdf
- Ibáñez, s., Gisbert, j., & Moreno, h. (2007). *Inceptisoles*. Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>
- Iñiguez, m., López, f., Morocho, j., Maldonado, d., & Iñiguez, c. (2013). *Sistema de conservación de humedales alto-andinos de la región sur del Ecuador y sus 60 ecosistemas asociados: análisis de la cuenca alta del río León y humedales de Fierro Urco*. Iñiguez, m López, f morocho, j maldonado, d iñiguez, c. Loja. Retrieved from <http://data.utpl.edu.ec/utpl/lod/resource/project:1627>
- Iroume, a. (1992). Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile. *Bosque*, 13(2), 15–23.
- Iroume, a. (2003). Transporte de sedimentos en una cuenca de montaña en la cordillera de los Andes de la novena región de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 24(1), 125–135. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002003000100010>
- Jaramillo, d. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jones, s., & Frostick, l. (2002). *Sediment flux to basins causes, controls and consequences*. (J. Stuart, ed.) (1st ed.). London: The Geological Society.

- Kumar, b., & nachiappan, r. (2000). Estimation of alluvial aquifer parameters by a single-well dilution technique using isotopic and chemical tracers: a comparison, *I*(262), 53–57. Retrieved from http://hydrologie.org/redbooks/a262/iahs_262_0053.pdf
- Londoño, c. (2001). *Bases conceptuales – caracterización planificación-administración*. Universidad de tolima. Retrieved from http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/fac_forestal/documentos/libros/cuenas hidrograficas bases conceptuales caracterizacion planificacion y organizacion - carlos londoo.pdf
- López, f. (2013). *Hacia el diseño de un sistema de conservación de ecosistemas altoandinos de la región del ecuador*. Departamento de ciencias naturales. Loja.
- López, j., batalla, r., vericat, d., & francke, t. (2009). Suspended sediment transport in a highly erodible catchment: the river isábena (southern pyrenees). *Geomorphology*, *109*, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.003>
- Mae. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del ecuador continental*.
- Marbello, r. (2005). *Hidrometría y aforo de corrientes naturales*. Medellín. Retrieved from [http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.parte 13.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.parte%2013.pdf)
- Marín, c., & desir, g. (2010). Procesos de erosión en una zona de clima semiárido de la depresión del ebro (bardenas reales, ne de españa). *Rev. C y g*, *24*(3–4), 63–72. Retrieved from [http://tierra.rediris.es/cuaternarioygeomorfologia/images/vol24_3_4/cuater_24\(3-4\)_\(06\)marin desir.pdf](http://tierra.rediris.es/cuaternarioygeomorfologia/images/vol24_3_4/cuater_24(3-4)_(06)marin%20desir.pdf)
- Mendéz, p. (2011). Boletín ibermar.
- Méndez, w., pacheco, h., cartaya, s., marcano, a., & león, c. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río san julián (estado vargas, venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de geografía. Revista colombiana de geografía*, *24*(2), 133–156. <https://doi.org/dx.doi.org/10,15446/rcdg.v24n2.50213>
- Merz, j., & doppmann, g. (2006). Measuring mountain stream discharge using the salt dilution method a practical guide prepared under icimod's people and resource dynamics in mountain watersheds of the hindu kush-himalayas project (pardyp). In

- pardyp/icimod (ed.) (p. 15). Kathmandu. Retrieved from http://lib.icimod.org/record/7414/files/attachment_24.pdf
- Millennium ecosystem assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Retrieved from <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Montoya, l., & montoya, r. (2005). Transporte de sedimentos en las corrientes del departamento de antioquia. *Revista ingenierías universidad de medellín*, 4(1692–3324), 101–109. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/750/75004710.pdf>
- Moore, d. (2005). Slug injection using salt in solution. *Streamline watershed management bulletin*, 8, 1–28. Retrieved from http://forrex.org/sites/default/files/publications/full_issues/streamline_vol8_no2.pdf
- Morgan, r. (2005). *Soil erosion and conservation*. (b. Publishing, ed.) (3rd ed.). Retrieved from [file:///c:/users/alvaro loayza/documents/tesis/soil erosion and conservation \(morgan r.p.c., 2005\).pdf](file:///c:/users/alvaro%20loayza/documents/tesis/soil%20erosion%20and%20conservation%20(morgan%20r.p.c.,%202005).pdf)
- Padrón, r. S. (2013). Analisis de la estructura de la lluvia del paramo. *Undergraduate thesis*, 100. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.004>
- Pea-bermejo. (2010). *Generación y transporte de sedimentos en la cuenca binacional del río bermejo: caracterización y analisis de los procesos intervinientes*.
- Pedersen, l., einar, n., engbo, l., & madsen, h. (2010). Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges. *Atmospheric research*, 95(4), 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.11.007>
- Pnuma, loja, m. De, & nci, n. Y c. I. (2007). *Loja*. (p. De las n. U. Para el medio & m. De l. Y n. Y c. I. Ambiente, eds.) (programa d). Loja.
- Restrepo, j. C., & restrepo, j. D. (2005). Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos de la cuenca del río magdalena. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 29(august), 239–254.
- Rojo, j. (2017). Estimación de caudales máximos usando hidrogramas unitarios sintéticos y el método racional. Retrieved from http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelos_lluvia_escorrentia.pdf

- Sarango, c. (2013). *Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la cuenca el limón , en el río zamora*. Uniersidad técnica particular de loja. Retrieved from http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/7459/1/tesis_cinthy_sarango_ing_civil_corregida.pdf
- Saturnino, a., alcázar, m., cermeño, f., & barbero, f. (2011). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos soil erosion and soil management. Importance of tillage in the natural and anthropogenic processes of soil erosion. *Agric. Ecológica*, 1(1), 26. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/capitulo13_38.pdf
- Senciales, j. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/109746.pdf>
- Severiche, c., castillo, & acevedo, r. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. (fundación universitaria andaluza inca garcilaso, ed.) (21st ed.). Cartagena. Retrieved from <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>
- Silva, o. (2014). El bosque y su suelo (resumen) (pdf download available). Retrieved July 3, 2017, from https://www.researchgate.net/publication/268809840_el_bosque_y_su_suelo_resumen
- Stott, t., & mount, n. (2004). Plantation forestry impacts on sediment yields and downstream channel dynamics in the uk: a review. *Progress in physical geography*, 28, 2, 1–44. Retrieved from http://www.academia.edu/5088888/stott_t._a._and_mount_n_j._2004_plantation_forestry_impacts_on_sediment_and_channel_dynamics_in_the_uk_a_review_progress_in_physical_geography_28_2_197-240.
- Suarez, j. (2001). La vegetación. In *control de erosión en zonas tropicales* (pp. 253–290).
- Tazioli, a. (2011). Experimental methods for river discharge measurements: comparison among tracers and current meter. *Hydrological sciences journal*, 56(7), 1314–1324. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.607822>

- Torres, j. (2014). Adaptación al cambio climático en zonas de montaña. Retrieved may 19, 2017, from http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agro_noticias/smart_territories/docs/libro.pdf
- Tran, v. T. T. (2014). An analysis of the suspended sediment rating curve parameters in the upper mississippi river basin at the monthly and annual levels. Knoxville.
- Unesco. (2010). Lprocesos de erosión -sedimentación en cauces y cuencas. Talca.
- Vanegas, m. (2016). *Disponibilidad de materia orgánica bentónica y su potencial relación con la estructura física de cauces , en microcuencas prioritarias del cantón loja*. Universidad nacional de loja.
- Villegas, i., oropeza, j., & enrique, m. (2004). Production of water and sediments by impact of tropical hurricanes on the. *Terra latinoamericana*, 22(3), 327–333.
- Villegas, j. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de antioquia. *Revista eia*, 1, 73–79. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1794-12372004000100008
- Wmo. (2008). *Guide to meteorological instruments and methods of observation. Guide to meteorological instruments and methods of observation* (vol. I & ii).
- World visión. (n.d.). *Manual de manejo de cuencas* (primera). Canada. Retrieved from [http://www.edeca.una.ac.cr/files/edeca/gestion desarrollo local/vm-manual_de_manejo_de_cuencas_.pdf](http://www.edeca.una.ac.cr/files/edeca/gestion_desarrollo_local/vm-manual_de_manejo_de_cuencas_.pdf)
- Zarate, c. (2011). *Hacia un modelo de ordenación para los territorios de protección natural del area de influencia inmediata de la ciudad de loja. Microcuenca el carmen. Tesis previa a la optención del título de arquitectura*.
- Zuzell, cuba, díaz, j., schietecatte, w., ruiz, m., & almoza, y. (2007). Revista ciencias técnicas agropecuarias. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 16(3), 76–83. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/932/93216316.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de campo utilizada para apuntar los datos en campo que se utilizaron para realizar los aforos sólidos líquidos.

Ficha de campo:			
Código Estación:	Fecha (aaaa/mm/dd):		
	1. hora de aforo: inicio:	fin:	
	2. hora de aforo: inicio:	fin:	
Descripción del tiempo atmosférico:			
<ul style="list-style-type: none"> • Nubosidad: • Lluvia o llovizna • Día soleado 			
Conductividad inicial del río (unidades?)	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Conductividad inicial de la muestra de agua	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Concentración para inyección de sal	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Conductividad final de la muestra de agua con la sal añadida	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Muestra de sal (código) FS.	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Factor de salinidad:	Aforo 1:		
	Aforo 2:		
Distancia de recorrido de la solución			
Nivel del sensor			
Temperatura del agua			
Aforo sólido y líquido	si	<input type="checkbox"/>	no
Descarga de datos	Pv:	HI:	MT:
Funcionamiento de los sensores:			
Batería (V)	Pv:	HI:	MT:
Estado de los disecadores	Pv:	HI:	MT:
Observaciones generales			
			

Los códigos: Cantón: L Sitio/microcuena: Mónica (M), El Carmen 1 (C)

Tipo de estación:

Anexo 2. Hoja de cálculo del caudal líquido para cada microcuencia en una hoja de cálculo en Excel.

Localización	Monica	Q [l/s]	53,48					
Fecha - hora	26.02.16							
Intervalo de medición (s)	5							
Sal inyectada [g]	1362							
distance [m]	40							
Fecha del factor de conversión								
Factor de conversión para la concentración	2,03							
Valor previo al incremento de conductividad [µs/cm]	20,90							
Valor previo al incremento de concentración [mg/L]	10,30							
sal comprada (fecha)								
Nivel Hormigon-Agua (cm)								
Nivel Platina-Agua (m)								
Caudal con la formula del vertedero (L/s)	0,00							
Relación de conductividad máxima e inicial	26,32							
Conductividad máxima [µs/cm]	550							
			Sensor 1 11060214					
			EC Value	c	C-Co	Int.C	Recovery	
	Minutes	Seconds	[µS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg*s/L]	[%]	
			1	20,9	10,3	0,0	0,0	0,0%
			2	20,9	10,3	-	-	-
			3	20,9	10,3	-	-	-