



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE

TÍTULO:

## “DINÁMICA DE APORTACIÓN DE MATERIAL LEÑOSO EN CAUCES DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA HOYA DE LOJA”

Tesis de grado previo la obtención  
del Título de: **INGENIERO EN  
MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL  
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Daniel Fernando Soto Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Zhofre Aguirre Mendoza Ph. D.

LOJA-ECUADOR

2019





**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

Loja, 20 de diciembre del 2018

## CERTIFICACIÓN

Ing. Zhofre Aguirre Mendoza Ph. D.

**DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de la tesis titulada “**DINÁMICA DE APORTACIÓN DE MATERIAL LEÑOSO EN CAUCES DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA HOYA DE LOJA**”, de autoría del señor **Daniel Fernando Soto Jiménez**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que se ha realizado dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Atentamente,

Ing. Zhofre Aguirre Mendoza Ph.D.

**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada “**DINÁMICA DE APORTACIÓN DE MATERIAL LEÑOSO EN CAUCES DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA HOYA DE LOJA**”, de autoría del señor Daniel Fernando Soto Jiménez egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que se han incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

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

Loja, 03 de julio de 2019

Atentamente,

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Raquel Hernández Ocampo  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**

Dr. Christian Fernando León Celi  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**

## AUTORIA

Yo, **DANIEL FERNANDO SOTO JIMÉNEZ** declaro ser el autor del presente trabajo de tesis 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.

**AUTOR:** Daniel Fernando Soto Jiménez

**FIRMA:** .....



**CEDULA:** 1105881138

**FECHA:** Loja, 03 de julio del 2019

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

Yo, Daniel Fernando Soto Jiménez, declaro ser el autor de la presente tesis titulada: **“DINÁMICA DE APORTACIÓN DE MATERIAL LEÑOSO EN CAUCES DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE LA HOYA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniería 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 Nacional de Loja, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los 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 tres días del mes de julio del dos mil diecinueve, firma el autor.

**FIRMA:** .....

**AUTOR:** Daniel Fernando Soto Jiménez

**NUMERO DE CÉDULA:** 1105881138

**DIRECCIÓN:** Loja, Barrio El Pedestal, Nicolás García y María de Leiva

**CORREO ELECTRÓNICO:** danielsoto720@gmail.com

**CELULAR:** 0939544056

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**DIRECTOR DE TESIS:** Ing. Zhofre Aguire Ph. D

**TRIBUNAL DE GRADO:** Ing. Vinicio Alvarado Mg. Sc

Ing. Raquel Hernández Ocampo Mg. Sc

Dr. Christian Fernando León Celi

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la vida y todas sus bendiciones recibidas en esta etapa llena de momentos de experiencia y felicidad que ahora culmino.

A mis queridos padres por haberme forjado como la persona que soy, por su comprensión y apoyo incondicional, gracias por ser el motor fundamental de mi vida y un constante ejemplo de sacrificio y superación, a mi hermana y hermanos por inspirarme a luchar para conseguir mis objetivos.

A la Universidad Nacional de Loja, de manera especial a los docentes y administrativos de la carrera de Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, que con su dedicación, experiencia y responsabilidad me dieron la oportunidad de formarme profesionalmente.

De igual manera quiero expresar mi reconocimiento al Ing. Zhofre Aguirre Ph. D, director de la presente tesis, por su tiempo y valiosas sugerencias, pues sin ellas, este trabajo no hubiera sido concluido con éxito.

Al Ing. Diego Mejía M.Sc., por el apoyo brindado en la orientación del documento final y a Marina Mazón Ph.D., quien colaboró de manera enriquecedora en el desarrollo de la investigación.

A todos mis amigos y compañeros de aula por haber compartido muchos años de experiencias, penas y satisfacciones alcanzadas.

En fin, a todos y cada una de las personas quienes de alguna manera contribuyeron de manera desinteresada en la realización de la presente investigación a todas y todos ellos, expreso mis más sinceros agradecimientos.

## DEDICATORIA

*Con inmenso cariño el presente trabajo se lo dedico principalmente a mis padres, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye éste.*

*A mi madre, Lucía Jiménez, por ser una mujer perseverante y luchadora, quien ha enfrentado con valor todas las situaciones difíciles del hogar, a ella mi agradecimiento infinito pues me apoyó con todo su corazón y nunca me dejó desmayar.*

*A mi padre, Pedro Soto quien apostó por mi futuro brindándome una formación profesional, por su esfuerzo, apoyo constante y consejos que me sirvieron para forjar en mí, fortaleza y valor.*

*A mi hermana y hermanos, Yelenny, Kevin y Jean Carlos, que crecimos juntos y hemos compartido los mejores y los peores momentos de la vida, gracias por la paciencia y estar presentes acompañándome. Siempre serán mi fuente de motivación.*

*A mis queridos abuelos: Graciela, Ramón (+), Felipa y Segundo, por sus ejemplos y consejos de vida, pero sobre todo el cariño que siempre he sentido de parte de ustedes, a pesar de la distancia los llevo en mi corazón.*

*A Ximena López, por los innumerables momentos en los que me brindó su apoyo y confianza. Su amor y palabras de aliento fueron sin duda fundamentales en esta etapa de mi vida.*

**Daniel Soto**

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>PORTADA:</b> .....	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR</b> .....	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>III</b>
<b>AUTORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>X</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Cuenca hidrográfica como unidad de manejo y conservación</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.1. Definición</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2. Tipos de cuencas hidrográficas por el tamaño</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2.1. Cuenca</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2.2. Subcuenca</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.2.4. Microcuenca</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.2.5. Nanocuenca</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.3. Sistemas que conforman una cuenca</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.5. Procesos hidrológicos de una cuenca</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.6. Importancia del manejo de cuencas hidrográficas</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. El Sistema fluvial</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.1. Geomorfología fluvial</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.2. Procesos y formas fluviales</b> .....	<b>10</b>



<b>2.3. Caudal</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3.1. Definición</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3.2. Técnica de aforo con trazadores químicos</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4. Material leñoso y su incidencia en cauces</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.1. Procesos de aportación de material leñoso a cauces</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4.2. Factores asociados a la movilidad de material leñoso</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4.3. Influencia de la aportación de material leñoso en el sistema fluvial</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5. Estudios similares realizados en América sobre material leñoso en cauces</b> .....	<b>16</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1. Ubicación del área de estudio</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2. Materiales</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3. Métodos</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.1. Estimación el volumen de material leñoso (&gt;5 cm diámetro y &gt;1m largo) en los tramos seleccionados dentro de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen.</b> .	<b>21</b>
<b>3.3.2. Determinación de la relación entre caudal líquido y las características del material leñoso para cada microcuenca seleccionada.</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3.3. Análisis de la dinámica de aportación de material leñoso y sus efectos en las características morfológicas en cauces de alta montaña.</b> .....	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1. Volumen de material leñoso en los tramos seleccionados dentro de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen.</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2. Relación entre caudal líquido y las características del material leñoso para cada microcuenca seleccionada.</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3. Dinámica de aportación de material leñoso y sus efectos en las características morfológicas en cauces de alta montaña.</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.1. Aportación de material leñoso</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.2. Movilización de material leñoso</b> .....	<b>37</b>
<b>4.3.3. Características morfológicas de los cauces evaluados</b> .....	<b>38</b>
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>50</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>51</b>
<b>9. ANEXOS</b> .....	<b>64</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tipo de partículas de fondo de acuerdo a su diámetro (mm).....	11
<b>Tabla 2.</b> Ubicación geográfica y rango altitudinal de las microcuencas de estudio. ....	19
<b>Tabla 3.</b> Tipos de cobertura y uso del suelo en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	20
<b>Tabla 4.</b> Ubicación geográfica de los segmentos evaluados en cada microcuenca.....	21
<b>Tabla 5.</b> Concentraciones de sal y mediciones en laboratorio .....	23
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación. ....	26
<b>Tabla 7.</b> Características de las tipologías morfológicas de cauces de alta montaña. ....	27
<b>Tabla 8.</b> Características morfométricas y de drenaje de las microcuencas evaluada....	28
<b>Tabla 9.</b> Volumen de material leñoso por unidad de área en las microcuencas evaluadas. ....	29
<b>Tabla 10.</b> Dimensiones (diámetro, largo) de las piezas encontradas al inicio del estudio. ....	30
<b>Tabla 11.</b> Características del material leñoso encontrado en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcan.....	31
<b>Tabla 12.</b> Correlaciones entre el caudal promedio y características de material leñoso en las microcuencas de estudio. ....	33
<b>Tabla 13.</b> Número de piezas y volumen del material leñoso aportado en los segmentos de las microcuencas evaluadas.....	36
<b>Tabla 14.</b> Número y volumen de piezas movilizadas y perdidas en los segmentos de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos. ....	37
<b>Tabla 15.</b> Relaciones estadísticas entre características del cauce y características del material leñoso. ....	39
<b>Tabla 16.</b> Relación y porcentajes de las dimensiones de la pieza (diámetro, largo) y dimensiones cauce (ancho, profundidad).....	40
<b>Tabla 17.</b> Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca El Carmen. ....	41
<b>Tabla 18.</b> Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca Volcán.....	42
<b>Tabla 19.</b> Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca Shucos.....	43

## INDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
<b>Figura 1.</b> La cuenca hidrográfica como sistema, sus elementos e interacciones.....	5
<b>Figura 2.</b> Ubicación de las microcuencas de estudio y de los segmentos de estudio en las microcuencas Shucos (a), Volcán (b) y El Carmen (c) con respecto a la Hoya de Loja.....	18
<b>Figura 3.</b> División de un tronco ramificado en secciones para determinar su volumen.	22
<b>Figura 4.</b> Curva de calibración del factor de salinidad de la sal.....	24
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de la conductividad del río, con la adición de sal. ....	25
<b>Figura 6.</b> Volumen total de material leñoso registrado en las microcuencas El Carmen, Volcán, Shucos durante el tiempo de estudio.....	29
<b>Figura 7.</b> Distribución del número de piezas de material leñoso en rangos de longitud (a) y diámetro (b) de los elementos iniciales en las microcuencas evaluadas. ....	30
<b>Figura 8.</b> Tipos de organización (a) y fuente de origen (b) del material leñoso encontrado en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	32
<b>Figura 9.</b> Caudal promedio (l/s), medido en el periodo 1-marzo a 4-junio, en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	32
<b>Figura 10.</b> Número de piezas de material leñoso movilizados respecto al registro de precipitación en las microcuencas Shucos (a), El Carmen (b) y Volcán (c). .	34
<b>Figura 11.</b> Variación del volumen de material leñoso aportado (a) y perdido (b) durante el tiempo de estudio en los segmentos de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	35
<b>Figura 12.</b> Balance del volumen de material leñoso aportado y perdido en el segmento de estudio en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos durante el tiempo de estudio.....	35
<b>Figura 13.</b> Fuente de origen del material leñoso aportado en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	36
<b>Figura 14.</b> Número de piezas movilizadas en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos durante en el tiempo de estudio. ....	37
<b>Figura 15.</b> Distribución del número de piezas de material leñoso en rangos de diámetro (a) y longitud (b) de los elementos iniciales en las microcuencas evaluadas.	38
<b>Figura 16.</b> Distribución del ancho (a) y profundidad (b) de los tramos en cada segmento de las microcuencas de estudio.....	39

<b>Figura 17.</b> Concentración del volumen de material leñoso (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca El Carmen. ....	41
<b>Figura 18.</b> Concentración del volumen de material leñoso (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca Volcán.....	42
<b>Figura 19.</b> Concentración del volumen de material leñoso (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca Shucos.....	43

## INDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Promedio de caudal líquido en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcán. ....	64
<b>Anexo 2.</b> Rangos de movilidad y dimensiones del material leñoso transportado dentro y fuera del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcán.....	64
<b>Anexo 3.</b> Precipitación diaria registrada en las estaciones El Carmen, Finca Jipiro-Alto y Colegio Militar .....	65
<b>Anexo 4.</b> Número de piezas de material leñoso movilizado respecto a los aforos de caudal medidos en las microcuencas Shucos (a), El Carmen (b) y El Volcán (c).....	65
<b>Anexo 5.</b> Tipos de cobertura y uso del suelo en la zona de aportación de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.....	66
<b>Anexo 6.</b> Desnivel y dimensiones máximas en cada tramo del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).....	66
<b>Anexo 7.</b> Características del material leñoso en cada tramo del segmento estudiado de las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).....	67
<b>Anexo 8.</b> Etiqueta metálica para referenciación de piezas colocada en pieza de leño... 67	67
<b>Anexo 9.</b> Pesaje de sal en laboratorio y medición de conductividad en campo con equipo multiparámetro. ....	68
<b>Anexo 10.</b> Mapa de cobertura y uso de suelo de las microcuencas Volcan, (a) Shucos (b) y El Carmen (c). ....	68
<b>Anexo 11.</b> Tipologías morfológicas en cada tramo del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).....	69

## ACRÓNIMOS

<b>LWD</b>	Large Woody Debris
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo
<b>USGS</b>	Servicio Geológico de los Estados Unidos
<b>CEPES</b>	Centro Peruano de Ciencias Sociales
<b>ICC</b>	Instituto de Investigación sobre el Cambio Climático
<b>EC</b>	El Carmen
<b>SH</b>	Shucos
<b>VO</b>	Volcán
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>SE</b>	Servicios Ecosistémicos
<b>PNP</b>	Parque Nacional Podocarpus
<b>NaCl</b>	Cloruro de sodio (sal)
<b>EP</b>	Morfología del cauce tipo escalon-poza
<b>PR</b>	Morfología del cauce tipo poza-rápido
<b>C</b>	Morfología del cauce tipo cascada
<b>LP</b>	Morfología del cauce tipo lecho plano
<b>R</b>	Coefficientes de correlación de Pearson
<b><i>p</i></b>	Valor <b><i>p</i></b> de coeficientes de correlación

**DINÁMICA DE APORTACIÓN DE MATERIAL LEÑOSO  
EN CAUCES DE MICROCUENCAS PRIORITARIAS DE  
LA HOYA DE LOJA**

## RESUMEN

El estudio de material leñoso en los ríos es un componente importante del sistema fluvial que tiene implicaciones en la hidráulica, morfología, ecología y la gestión del riesgo asociado a inundaciones. Dado que en la región sur del Ecuador existen zonas de alta montaña que son susceptibles a daños por aluviones y arrastre de materiales en la época invernal es necesario ampliar el conocimiento de su dinámica de aportación y movilidad. El presente trabajo se enfocó en la determinación del volumen de material leñoso en cauces de alta montaña (orden cuatro) de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen de la Hoya de Loja, Ecuador seleccionadas bajo un gradiente de conservación identificado por su uso de suelo predominante. El Carmen como mayormente conservada, Volcán semi-conservada y Shucos poco conservada. Las zonas de medición comprendieron a un segmento de 500 m del cauce principal, en los cuales toda pieza de madera mayor a 5 cm de diámetro y 1 m de largo fue etiquetada y referenciada, así como también se midió sus dimensiones en longitud, diámetro y las características de origen, posición, tipo y estado de asociación. Los registros se llevaron a cabo durante tres meses con visitas de forma quincenal en las que también se realizaron aforos de caudal. En cada segmento se establecieron 20 tramos de 25 metros que permitieron realizar las mediciones de las características del cauce ancho y profundidad. Las cantidades de material leñoso fueron bajas en comparación con la mayoría de los resultados reportados en otras regiones. El cauce que presentó un mayor volumen de material leñoso fue la microcuenca Volcán con  $0,52 \text{ m}^3$  mientras que Shucos  $0,43 \text{ m}^3$  y El Carmen  $0,24 \text{ m}^3$ . Los tramos con mayor concentración de material leñoso correspondieron a los tramos en los que las dimensiones de las piezas sobrepasaron el tamaño del cauce, pero el bajo número de piezas respecto de los segmentos evaluados no permitía encontrar relaciones estadísticamente significativas entre las características del cauce y las variables del material leñoso. En lo concerniente a la movilidad se registraron porcentajes del 32 % en Shucos, 21 % en Volcán y 23 % en el cauce El Carmen. La movilidad en todos los casos se produjo principalmente por incrementos del flujo propio de la época invernal. Los resultados de la presente investigación contribuyen al complejo entendimiento de los procesos de movilización y aporte de material leñoso en ríos de alta montaña.

**Palabras clave:** *material leñoso, transporte de madera, caudal, morfología del cauce, cauces de montaña*

## ABSTRACT

The study of woody material in rivers is an important component of the fluvial system that has implications for hydraulics, morphology, ecology and risk management associated with flooding. Since our region has high mountain areas that are susceptible to flood damage and hauling materials during the winter season, it is necessary to improve knowledge of their recruitment and mobility dynamics. The present work focused on the determination of the volume of woody material of the Shucos, Volcán and El Carmen basins of Hoya de Loja, Ecuador. These were selected for their state of conservation identifying that the El Carmen is in a good state of conservation, Volcán is in medium conservation and Shucos is in poor conservation. The sampling areas comprised a 500 m segment of the main channel. In each segment, all pieces of wood greater than 5 cm in diameter and 1 m long were labeled and referenced. The diameter, length and the characteristics of origin, position, type and association status were measured in each piece. In each studied segment the width and depth of the channel was also measured. The measurements were made every fifteen days for three months. Volumes of woody material were low compared to most other reported results in other regions. The channel with greater volume large woody debris was Volcán with 0.52 m<sup>3</sup>, Shucos got 0.43 m<sup>3</sup> and El Carmen 0.24 m<sup>3</sup>. The sections with the highest concentration of woody material corresponded to the sections in which the dimensions of the pieces exceeded the size of the channel. The low number of pieces did not allow finding statistically significant relationships between the characteristics of the channel and the variables of the woody material. Regarding mobility, the percentages were 32 % in Shucos, 21 % in Volcán and 23 % in the El Carmen. The main cause of mobility of the pieces was increases in flow during the winter season. The results of the present study contribute to a better understanding of the processes of mobilization and contribution of woody material in high mountain rivers.

**Keywords:** *Large wood, Wood transport, flow, channel morphology, mountain streams*



## 1. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua como ríos y arroyos tienen una gran importancia en los ecosistemas fluviales del mundo ya que además del flujo de líquido vital, transportan sedimentos y son el medio de vida de múltiples microorganismos que también dependen de su conservación (Horacio, 2015). A lo largo de una cuenca los ríos dinamizan el territorio que atraviesan y crean una dependencia entre las zonas de recarga hídrica y las partes bajas de la cuenca donde se desarrollan las actividades productivas de las poblaciones (Martínez, 2010).

Los sistemas fluviales están sujetos a cambios debido a la naturaleza de sus procesos hidrológicos y morfológicos, sin embargo también se ven influenciados por el desarrollo de actividades antrópicas que han causado un impacto negativo sobre estos ecosistemas, alterando su funcionalidad natural (Segura-Serrano, 2014). Planteando así la necesidad de planificar el desarrollo territorial pensando en la conservación de los ecosistemas fluviales con estrategias que devuelvan la naturalidad de dichos sistemas disminuyendo las perturbaciones en las propiedades hidrodinámicas y morfológicas de las corrientes que se producen en mayor medida por procesos erosivos (Cotler, 2004; Horacio, 2015).

Un aspecto importante dentro de los sistemas fluviales de alta montaña es la presencia de material leñoso generalmente llamado LWD por sus siglas en inglés (Large Woody Debris). La mayoría de investigaciones en este ámbito se han llevado a cabo en el Norte de América, Europa y Oceanía (Comiti *et al.*, 2016; Rigon *et al.*, 2012). En América Latina en la última década se han desarrollado mayormente estudios en Chile (Ulloa *et al.*, 2011; Iroumé *et al.*, 2015; Tonon *et al.*, 2017) reportando efectos sobre la morfología del río, transporte de sedimentos e hidráulica del cauce.

La presencia de LWD también tiene importancia sobre la ecología fluvial mediante la producción de macroinvertebrados, ecología pesquera y ciclos biogeoquímicos en ríos (Gurnell *et al.*, 2005; Pollock y Beechie, 2014). Además los estudios de la movilidad de madera han señalado su potencial riesgo a inundaciones y desbordamientos que afectan a las poblaciones a causa de regímenes de lluvia relacionados directamente con los aumentos de caudal (Moulin y Piegay, 2004; Ruiz-Villanueva, 2012; Wohl *et al.*, 2016; Mazzorana *et al.*, 2017).

Dada la relevancia de su presencia en los ríos es necesario el conocimiento y determinación de las fuentes, características, tipos de material leñoso y los patrones que rigen su transporte asociado al grado de peligrosidad. En nuestro país estudios de este tipo son aun incipientes y relevantes debido que nuestra región se caracteriza por contar con abundantes ecosistemas fluviales a lo largo de la Cordillera de los Andes.

En la Hoya de Loja, existen microcuencas de gran interés hídrico por su bondad en el abastecimiento de agua, la provisión de servicios ecosistémicos y la conservación de la biodiversidad, sin embargo, estas áreas son susceptibles a daños por arrastre de materiales y elementos leñosos en la época invernal debido a la presencia de aluviones de gran magnitud, expansión de la frontera agrícola y la presencia de zonas pobladas que alteran el funcionamiento natural de los ecosistemas fluviales (Crespo *et al.*, 2014).

Con estos antecedentes la investigación se orientó hacia un estudio comparativo del volumen de aportación de material leñoso en cauces de tres microcuencas de la Hoya de Loja: El Carmen que presenta un buen estado de conservación en comparación a las microcuencas Volcán y Shucos que cuentan con un menor grado de conservación debido al desarrollo de actividades agropecuarias, considerando dichas áreas por su importancia en el abastecimiento de agua y recursos para la ciudad de Loja. La investigación se realizó durante los meses de marzo a junio del 2018, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

**Objetivo General:**

- Evaluar la dinámica de aportación de material leñoso en cauces de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen de la Hoya de Loja y sus efectos sobre los procesos morfológicos en cauces de alta montaña.

**Objetivos Específicos:**

- Estimar el volumen de material leñoso (>5 cm diámetro y >1m largo) en los tramos seleccionados dentro de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen.
- Determinar la relación entre caudal líquido y las características de material leñoso para cada microcuenca seleccionada.
- Analizar la dinámica de aportación de material leñoso y sus efectos en las características morfológicas en cauces de alta montaña

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Cuenca hidrográfica como unidad de manejo y conservación**

#### **2.1.1. Definición**

La cuenca hidrográfica es el área natural delimitada por la divisoria de aguas o filos de laderas de montaña donde la lluvia que cae en la superficie terrestre confluye hacia un punto colector de orden mayor, para luego regresar a la atmósfera través de la evapotranspiración (Zury, 2004; Hall y Kirn; 2015). En ella también se desarrolla la actividad cotidiana de las comunidades rurales que mantienen permanente interacción económica, sociocultural y ambiental entre sí y con los factores morfológicos de la cuenca. Por otra parte, la cuenca también se la puede definir como el área donde se generan efectos favorables y desfavorables de relaciones sociales y económicas ya sea por el uso de los recursos naturales, creación de infraestructura, desarrollo de actividades sociales cuya base territorial es una red de drenaje superficial (Gaspari *et al.*, 2013).

Las cuencas hidrográficas siguen una división jerárquica y se relacionan directamente, debido a que todas las corrientes, tributarios y ríos están asociados de alguna manera a una cuenca. Un grupo de cuencas conforma una hoya o cuencas principales y un conjunto de cuencas principales forma una vertiente (Armijos y Castro, 2007).

#### **2.1.2. Tipos de cuencas hidrográficas por el tamaño**

Las cuencas por su tamaño se subdividen en: subcuencas (10 000 – 60 000 ha) y microcuencas (< 10 000 ha), las que a su vez se componen de quebradas, delimitadas por un divorcio de aguas que siguen el mismo comportamiento respecto a la desembocadura de sus aguas (Cotler *et al.*, 2013).

##### **2.1.2.1. Cuenca**

La cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es una unidad morfológica superficial con un tamaño promedio de 60 000 a 80 000 ha, posee una red de drenaje natural la cual reúne las aguas lluvias en forma de escurrimiento y las desemboca directamente en el mar o en algunos casos vierte sus aguas a un sistema lótico (Vásquez *et al.*, 2016).

### **2.1.2.2. Subcuenca**

Se consideran subcuencas a las áreas naturales dentro de una cuenca hidrográfica que están formadas por un conjunto de ríos secundarios y desarrollan un drenaje directo a la red principal de la cuenca, (Martínez De La Cruz *et al.*, 2013).

### **2.1.2.4. Microcuenca**

Corresponde al área que desarrolla una red de drenaje directamente al cauce principal de una subcuenca (Alatorre, 2006). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2000), define la microcuenca como una pequeña unidad geográfica donde habita una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos: suelo, agua, vegetación y los factores económicos: bienes y servicios vinculados al uso de los recursos naturales influyen en el comportamiento de la población. Por ende, es conveniente mencionar la necesidad de considerar las microcuencas como zonas idóneas para el establecimiento de planes y proyectos con un enfoque integrado de cuencas a más del enfoque hidrológico tradicionalmente utilizado debido que, al ser territorios más desconcentrados permiten un manejo más eficiente de los recursos (Cotler, 2004).

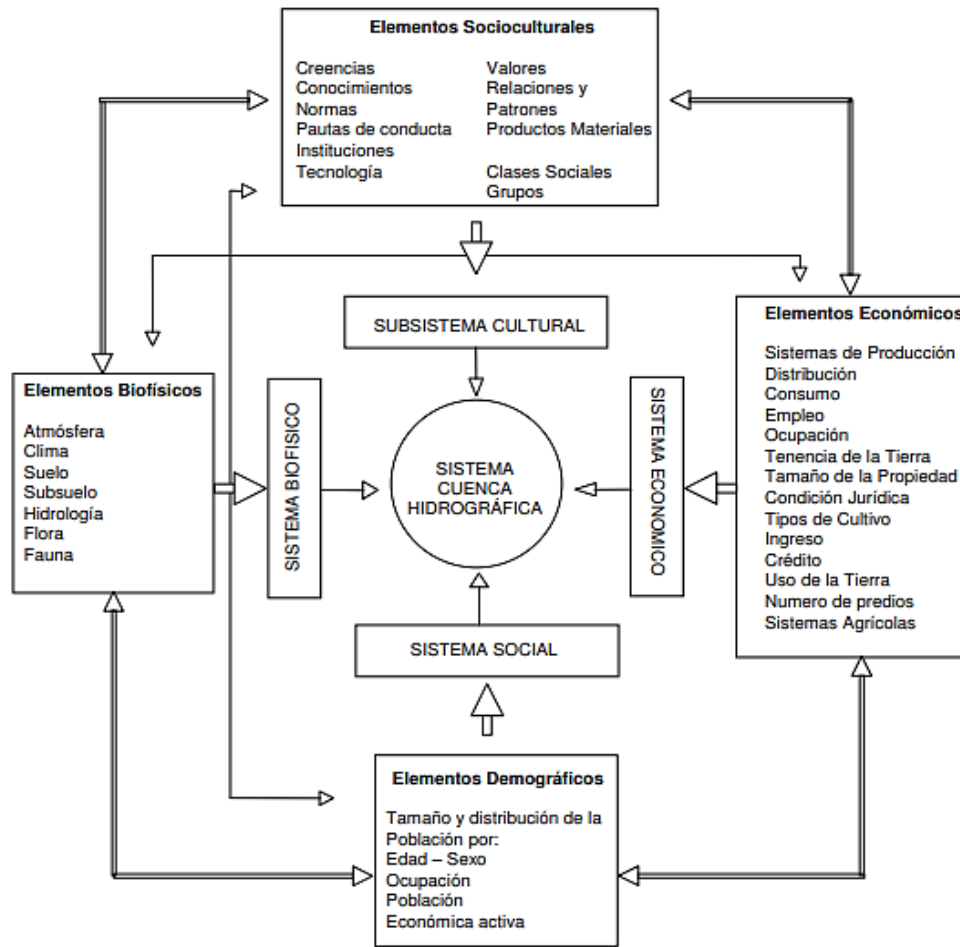
### **2.1.2.5. Nanocuenca**

En algunas regiones se denomina nanocuencas a unidades hidrográficas con una gran importancia ecológica y social cuyo territorio no supera las 500 ha (Flores-Armillas, 2016). Es utilizada como un instrumento de planificación comunitaria que busca la sustentabilidad de los recursos naturales, la biodiversidad, el recurso hídrico y desarrollo local de la población.

### **2.1.3. Sistemas que conforman una cuenca**

Los componentes principales de una cuenca son los elementos naturales y antrópicos: Dentro de los naturales se encuentran los componentes bióticos: el hombre, la flora y la fauna; y los componentes abióticos: el agua, el suelo, el aire, los minerales, la energía y el clima. Los elementos de generación antrópica, o generados por el hombre, pueden ser de carácter socioeconómico y social (CEPES, 2005). Entre los socioeconómicos están la tecnología, la organización social, la cultura y las tradiciones, la calidad de vida y la infraestructura desarrollada (Figura 1). Entre los elementos jurídico-institucionales: las políticas, las leyes, la administración de los recursos y las instituciones involucradas en la cuenca. Los componentes abióticos y bióticos están condicionados por las características geográficas (latitud, altitud), geomorfológicas (tamaño, forma, relieve,

densidad y tipo de drenaje), geológicas (orográficas, volcánicas y sísmicas) y demográficas (Flores *et al.*, 1992).



**Figura 1.** La cuenca hidrográfica como sistema, sus elementos e interacciones  
**Fuente:** Tomado de Flores *et al.*, (1992)

#### 2.1.4. Partes de una cuenca

En toda cuenca se pueden reconocer tres zonas funcionales diferenciadas por sus procesos hidrológicos: la parte alta, media y baja, relacionada con el rango de elevación de cada cuenca (WorldVision, 2004). Si la altitud varía entre 0 y 2 500 msnm. Es factible diferenciar tres partes, si esta entre los 0 y 1 000 msnm, sólo se podrían distinguir dos partes y si la cuenca en la mayoría de su territorio es plana es menos probable establecer partes. De manera general estas son las partes más importantes de una cuenca:

- La divisoria de aguas: son líneas divisorias naturales de las cuencas de donde descienden los escurrimientos para empezar a formar la red de drenaje. Son las zonas más elevadas de la montaña y separan una cuenca de otra contigua dividiendo el agua lluvia a una cuenca y otra (Bateman, 2007).

- La zona de captación, de cabecera o cuenca alta: está asociada generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad (Cotler *et al.*, 2013).
- El relieve hace referencia a las diferentes formas que adoptan los valles y declives de montaña ubicadas en las zonas más altas de la cuenca, las rugosidades y ondulaciones de estas zonas forman el sistema de drenaje de la cuenca (Busnelli y Horta, 2014).
- La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media: es la zona donde confluyen las aguas de las partes altas y en donde el río principal empieza a tener un cauce definido, ésta es un área de transporte y erosión debido a las altas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica producto de las actividades que se realizan en cada microcuenca (Ordoñez, 2011).
- El cauce principal o común: es la concavidad del fondo del valle o lecho fluvial por donde circulan el caudal de las precipitaciones y escurrimientos menores naturalmente delimitado por sus zonas laterales o riberas (Sánchez *et al.*, 2003)
- La zona de descarga, de emisión o cuenca baja es la zona que emite el agua proveniente de sus vertientes hacia ríos mayores, además es la zona de acumulación de impactos hacia el ecosistema debido al desarrollo de actividades productivas y asentamientos humanos (Cotler *et al.*, 2013).

#### **2.1.5. Procesos hidrológicos de una cuenca**

El ciclo hidrológico describe cómo se almacena y traslada el agua dentro de la cuenca después de que un porcentaje de esta ha regresado a la atmósfera. A nivel de cuenca, se puede entender una respuesta de la cuenca a la precipitación, mediante el escurrimiento y otras formas de salida del recurso a través de la evaporación o las evapotranspiración de las plantas (Edwards *et al.*, 2015).

La precipitación provee de agua a las cuencas en diferentes formas: lluvia, nieve, granizo, esta cantidad suele ser mayor en zonas en las que la época de invierno es marcada y se puede diferenciar un régimen de lluvia durante todo el año, es considerada como el inicio del ciclo hidrológico (Winkler *et al.*, 2010).

Las condiciones climáticas y entre ellas la radiación solar juegan un papel importante hacia otro fenómeno como lo es la evaporación, que es el cambio de estado del agua de líquido en gas y además representa una pérdida importante en la humedad dentro de la

cuenca. El agua puede ser evaporada de fuentes variadas: superficie del suelo, plantas, cuerpos de agua, infraestructura, vías. Cuando el agua que regresa a la atmósfera proviene del proceso de respiración de las plantas se llama transpiración. Este proceso natural ocurre cuando las plantas absorben agua del suelo por medio de sus raíces y luego en un intercambio de gases se libera agua a través de estructuras foliares denominadas estomas (Pagano y Sorooshian, 2014).

El fenómeno que asocia los dos procesos antes mencionados es la evapotranspiración y constituye el agua liberada tanto en la evaporación como en la transpiración. Las tasas de evapotranspiración incrementan en presencia de altas temperaturas y de factores como la humedad del suelo y cantidad de agua disponible que depende a su vez de la capacidad de campo de los suelos. El proceso más representativo a partir de la precipitación es el sistema fluvial el cual proviene del escurrimiento superficial y del suelo después que éste ha logrado saturarse, mientras que otro porcentaje de agua se infiltra y almacena en los acuíferos (Winkler *et al.*, 2010; USGS, 2016).

Cabe mencionar que entre el proceso de precipitación y escurrimiento ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre una y otra que están condicionados por los factores geomorfológicos que modelan la cuenca y el consumo de agua. La infraestructura de las poblaciones provoca intercepción entre el agua que precipita y la que se devuelve a la atmósfera debido al consumo del recurso hídrico necesario para solventar necesidades y actividades que generan el desarrollo (González, 2014). Es así que la conservación de los bosques y el buen estado de los suelos ayuda a que el agua de las precipitaciones pueda infiltrarse evitando las pérdidas al ciclo hidrológico y en su lugar esta pueda seguir el flujo normal dentro del sistema fluvial o se almacene para la satisfacción de las necesidades de los ecosistemas o la sociedad (Winkler *et al.*, 2010).

#### **2.1.6. Importancia del manejo de cuencas hidrográficas**

Cotler (2004), menciona que el manejo de los recursos naturales de la cuenca y todo lo que en ella ocurre, depende de las decisiones y acciones de las poblaciones actuales en la búsqueda del equilibrio entre los beneficios, bienes y servicios que obtienen y las funciones ecológicas de la cuenca mediante estrategias de manejo participativo, sistemático y con visión a largo plazo del territorio. Por ende, las cuencas pequeñas de montaña, en función de su manejo, son de gran importancia debido a las características antes mencionadas y otras como:

- Incremento de la erosión debido a las pendientes pronunciadas, suelos poco profundos, sobre-uso de los mismos y márgenes de los cauces inestables.
- El régimen hidrológico y la calidad de la escorrentía son muy sensibles al uso de la tierra y el agua.
- Son las fuentes iniciales del sistema hidrológico y áreas críticas de los sistemas hídricos. En zonas húmedas, estas cuencas tienen valores altos de rendimiento hídrico, por lo que son muy importantes para las zonas bajas.

El cambio climático, la intensificación del uso de la tierra para labores agropecuarias, así como el crecimiento desordenado de las actividades en el territorio, sin duda afectan el ciclo hidrológico. La incorporación de la adaptación al cambio climático en la gestión sostenible de la tierra y el agua es, por lo tanto, de suma importancia para la planificación de estos territorios con un enfoque integrado de cuencas (FAO, 2004).

En este sentido los servicios ecosistémicos que provee la cuenca hidrográfica y de la cual se aprovecha la población se vuelven cada vez más escasos y dependen de la voluntad de los beneficiarios en participar, planificar e invertir para que se sigan proporcionando la misma cantidad de recursos de una forma equitativa y sustentable (Sepúlveda, 2002). Según Montes y Sala (2007), los autores de Evaluación del Milenio de los Ecosistemas (2005) definieron los “Servicios Ecosistémicos” (SE) como los “beneficios que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas”. De acuerdo a esta denominación los servicios ecosistémicos se pueden clasificar en cinco:

- Provisión: Alimentos, madera, agua, suelo, recursos genéticos y energéticos
- Soporte o apoyo: Formación del suelo, fotosíntesis, biodiversidad
- Regulación: Ciclos del agua, aire, erosión, enfermedades
- Culturales: Valores estéticos y espirituales, recreación

Por lo tanto el ordenamiento territorial en las cuencas es primordial para la prevención de desastres y sobre todo permite optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, la conservación y producción como elementos básicos hacia el desarrollo sostenible de la población (Zury, 2004). Además, compromete a la población a hacer un uso racional y sustentable de los recursos al tomar en consideración sus potencialidades, debilidades e intereses frente a la situación actual con miras a la sostenibilidad de los recursos dentro del ecosistema en el que constantemente interactúan (Doujeranni, 2006).



## **2.2. El Sistema fluvial**

El sistema fluvial es considerado como un complejo mecanismo de factores hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos que provocan la movilización o conducción superficial de las aguas continentales, junto con materiales que se agregan en el camino (sedimentos, solutos, contaminantes, nutrientes, seres vivos) y se van direccionando en función de la pendiente hasta que son vertidas en los océanos (Elosegi y Sabater, 2009).

The School of Environmental and Life Sciences (2015) considera que el término fluvial se refiere a los procesos asociados con ríos, arroyos, depósitos y accidentes geográficos creados por ellos mismos. Se compone de diversas formas de relieve siendo las características principales las llanuras de inundación, las pendientes y la red de drenaje. La estructura de los sistemas fluviales está ligada a la forma y dimensiones del cauce, a la calidad química del agua, a la diversidad de hábitats y a las distintas comunidades biológicas que se establecen en los mismos. Su funcionamiento por ende también está ligado a procesos como el transporte y retención de nutrientes, materia prima orgánica o por la fotosíntesis de algas y otros productos primarios (Ollero, 2009).

### **2.2.1. Geomorfología fluvial**

La geomorfología fluvial es el estudio de las corrientes y su interacción con el terreno geológico en el que se formaron. Es una asociación multidisciplinaria de ciencias como ingeniería, biología, geología, ciencias de la tierra, hidrología y otras disciplinas científicas. La geomorfología se orienta hacia la caracterización de las formas asociadas al cauce desde su origen y generalmente se incluyen formas de origen fluvial y fluvio lacustres asociadas al lecho del río. La morfología de estos accidentes geográficos a menudo está estrechamente vinculada a los procesos que han llevado a su evolución y son elementos conectados desde la cuenca alta hasta la costa (Vargas, 2012).

Los procesos geomorfológicos determinan la estructura o la forma física, de un río, proporcionando el marco sobre el cual interactúan diversos procesos biofísicos. La morfología del canal, la carga de sedimentos, la vegetación de ribera y la presencia de escombros de madera muerta se ajustan entres sí, es decir el cambio en una variable puede modificar otras partes del sistema del río (Brierley *et al.*, 1999). El estudio de estas variables como la relación entre el material leñoso y las características del sistema fluvial en ríos que atraviesan áreas con una densa vegetación varía de acuerdo a los cambios en las especies arbóreas de los bosques riparios, el régimen climático, el entorno geomorfológico y la gestión forestal (Gurnell *et al.*, 2002; Maas y Brookes, 2009).

### 2.2.2. Procesos y formas fluviales

El patrón de unidades geomorfológicas a lo largo de cursos de agua se determina por la disponibilidad del material y la capacidad del río para acumular sedimentos en diferentes alcances. Cuanto mayor sea la diversidad estructural o heterogeneidad de un tramo de río, mayor es la disponibilidad de hábitats nicho. Esto debido al conjunto de características geomorfológicas, el patrón de la vegetación de ribera y la distribución de restos de madera gruesa que bordean al lecho del canal y los márgenes (Shields y Smith, 1992; Ramirez y Bocanegra, 2004)

Las formas fluviales han sido clasificadas por diferentes autores, los trabajos iniciales de clasificación son de tipo taxonómico, centrándose en el reconocimiento de las formas del trazado de los ríos. Así, Leopold y Wolman (1957) diferencian tres tipos de ríos, rectos, meandriiformes y trenzados. Posteriormente Brice (1975) describe el trazado en planta de los ríos atendiendo a su grado de sinuosidad, diferenciando las formas trenzadas y anastomosadas Schumm (1977) detalla los ríos controlados por afloramientos rocosos que determinan su morfología, de los ríos aluviales y distingue los ríos estables, de los ríos con predominio de erosión o de sedimentación.

Más recientemente, Montgomery y Buffington (1993) proponen una clasificación atendiendo a los procesos fluviales, estos autores definen a los ríos de montaña en siete tipos de tramos fluviales, diferenciando cinco tipos morfológicos: Cascada, Escalon-poza, Poza-rápido, Lecho plano, Duna-rizo, según el tipo de substrato y el gradiente que sigue la pendiente longitudinal y los procesos fluviales asociados. Este tipo de clasificación puede ser aplicable a ríos de montaña en general. La razón de que las morfologías sean variadas se explica por la interacción entre la hidráulica del flujo y los procesos sedimentarios (erosión, transporte y sedimentación) de los elementos de fondo del lecho que se dan en mayor medida en cuencas montañosas (Fuentes, 2011).

Debido a la variación entre partículas de distintas dimensiones ha sido necesario conocer el diámetro de cada partícula. Se han desarrollado varias clasificaciones para conocer el tamaño de la particular tales como: el diámetro de sedimentación, de tamiz, nominal de caída Wentworth, 1922), citado por Elosegi y Sabater (2009), clasifica las particular a partir de la longitud de su diámetro (Tabla 1). El tipo de material de lecho predominante es la característica más utilizada para la clasificación de ríos, permite describir las características físicas de un cauce fluvial además es importante para el estudio de procesos fluviales y obtener información que permita estimar factores como la

rugosidad del cauce, el transporte de sedimentos y los procesos de erosión, sedimentación y distribución de los tamaños de los materiales del fondo. (Crozzoli y Batalla, 2003; Ramirez y Bocanegra, 2004).

**Tabla 1.** Tipo de partículas de fondo de acuerdo a su diámetro (mm)

Tipo de sustrato	Diámetro (mm)	Detalles
Roca madre	-	Incluye también bloques mayores a 1 m
Bloques	>250	Mayores que la palma de la mano
Canto	60-250	Entre un puño y una palma
Guijarros	20-60	Entre una uña de pulga y un puño
Grava	0,2-20	Menor que la uña de pulgar
Arena	0,006-0,2	Tacto áspero no mancha
Limo	<0,006	Tacto suave mancha

**Fuente:** Tomado de Elozegi y Sabater (2009)

## 2.3. Caudal

### 2.3.1. Definición

El caudal es un flujo de agua (caudal líquido) medido mediante el volumen en una cantidad y unidad conocida por ejemplo litros, que pasa por una sección específica de la quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado. El conocimiento y registro temporal de los caudales es importante ya que es la base para el diseño de obras civiles como puentes, carreteras, acueductos, presas (González y Ramírez, 2014). Es así que el monitoreo de la cantidad de agua que circula en los distintos puntos de la cuenca sirve para que se construya una base de datos que ayuda a tomar decisiones sobre el manejo integral del agua con los diferentes usuarios ante los cambios climáticos que amenazan la disponibilidad dicho recurso (ICC, 2017).

La disminución en las lluvias afecta la recarga hídrica de las cuencas y ésta cantidad no alcanza a satisfacer las necesidades del ecosistema que sumado a la deficiente administración y uso irracional del agua por parte de las poblaciones generan conflictos dentro de las comunidades y el sector económico-productivo; la carencia de estrategias de uso eficiente del agua se evidencia aún más en época de estiaje ya que los ríos disminuyen los caudales y el consumo del recurso hídrica se produce indistintamente de la oferta que ésta pueda presentar (Espinoza, 2016).

### **2.3.2. Técnica de aforo con 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. Se mide un parámetro específico, como: conductividad, pH, y se relaciona con la concentración del trazador (Galecio, 2007). Moore (2005) afirma que para utilizar una sustancia como trazador ésta debe cumplir con ciertos requisitos como la seguridad y facilidad al manejar, mezclarse fácil y homogéneamente con el agua, soluble en agua, inocuo, no corrosivo, ni tóxico, ser fácilmente detectable en el agua, aún en concentraciones pequeñas y no ser decolorable, ni reactivo ante la acción de la luz.

Entre las sustancias más utilizables está 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). El uso de este compuesto es posible debido a que la sal inyectada aumenta la concentración de sólidos disueltos y por lo tanto la conductividad del agua, variación que debe ser registrada con un conductímetro (Marbello, 2005). En corrientes, arroyos de montaña y cauces más pequeño suele complicarse el uso de molinetes o vertedores por lo cual es mucho más recordable el uso de Cloruro de Sodio (NaCl), por ser una sustancia que no está presente en cantidades relativamente grandes en la corriente fluvial y además no se pierde por acción química, al combinarse con otras sustancias presentes en el agua (Moore, 2005; Merz y Doppmann, 2006).

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 como: la turbulencia en el cauce, evitar lo más posible piscinas o pequeñas lagunas y otras áreas de remanso, la afluencia de afluentes en el alcance de medición, obstrucciones en la sección de aforo y la capacidad de realizar una inyección limpia en un punto que favorezca la mezcla y rápida disolución de la sal completamente con el flujo.

### **2.4. Material leñoso y su incidencia en cauces**

Se considera material leñoso a los troncos y trozos residuales de madera y pueden abarcar troncos de árboles completos, ramas, raíces, retenidos en los cauces fluviales. Por lo tanto se pueden diferenciar un grupo de fragmentos de madera pequeños como son: ramas y raíces y otros de dimensiones superiores a los 10 cm de diámetro y 1 metro de longitud, llamados grandes piezas de madera (Wohl *et al.*, 2010).

La cuantificación del material leñoso se realiza a partir de ecuaciones para conocer su volumen asemejando cada pieza de madera a un cilindro. Esta forma de estimación causa imprecisiones debido a que no todas las piezas se asemejan a un cilindro, por lo que algunas investigaciones utilizan modelos espaciales para la estimación de volúmenes (Piegay y Marston, 1998; Gurnell *et al.*, 2000; Wyzga *et al.*, 2015). Generalmente el volumen se expresa en  $\text{m}^3 \text{km}^{-2}$  o  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , cuando las cantidades de material leñoso son grandes.

Los fragmentos de madera se pueden encontrar como piezas dispuestas en el cauce de forma individual, o formando acumulaciones, que pueden llegar a tener cientos de piezas. Se pueden considerar acumulaciones aquellas que contienen como mínimo 2 a 4 piezas en contacto (Moore *et al.*, 2014). Las acumulaciones de LWD pueden abarcar todo el ancho del canal y crear una obstrucción parcial de los caudales formando pozas que ofrecen control a la distribución de sedimentos aguas abajo. La estabilidad de estas acumulaciones dependerá principalmente de las piezas que la formen, piezas de una longitud mayor a 1 y 1,5 veces al ancho del río tienden a ser más estables (Abbe y Montgomery, 2003).

#### **2.4.1. Procesos de aportación de material leñoso a cauces**

La cantidad y tipo de material leñoso aportado depende del contexto en el que se encuentre el sistema fluvial, sin embargo de forma general los factores pueden ser: la localización, tamaño, dinámica de aportación, tiempo de residencia de las piezas en el cauce y el transporte (Iroumé *et al.*, 2014). Dentro de los principales procesos de incorporación del material leñoso a los cauces se encuentran los aspectos físicos y biológicos. Los aspectos biológicos pueden ser enfermedades causadas por hongos o insectos que colonizan en la madera ingiriéndola y separándola, lo que provoca que ésta pierda resistencia, roturas y finalmente muera.

En los aspectos físicos los deslizamientos y procesos de desprendimientos de laderas, reptación y erosión de los márgenes durante las inundaciones (Benda y Sias, 2003). El origen de madera varía también en función del contexto espacial y el orden de la corriente, en corrientes de menor orden la madera proviene de fenómenos de inestabilidad en las vertientes o deslizamientos de tierra mientras que en órdenes superiores la causa principal es la erosión en las orillas (Nakamura y Swanson, 1993).

De igual manera existen otras fuentes de incorporaciones de material leñoso, causas antropogénicas y climáticas como rachas fuertes de viento, incendios forestales, avenidas máximas o residuos de actividades antrópicas y de beneficio de la madera, estos últimos son evidentes en ríos encausados en donde el aporte de leño es nulo por la falta de vegetación y el transporte es elevado debido a la ausencia de barreras naturales. Además, de las características ya mencionadas las tasas de aportación dependen directamente de las condiciones del área de aportación del bosque ripario como: su composición, especie y edad, tipo de suelo, pendiente entre otras (Andreoli *et al.*, 2007; Comiti *et al.*, 2008)

Desde el punto de vista de la espacialidad, el origen y cantidad de material leñoso es diferente a lo largo del cauce debido a la jerarquía de sus órdenes de corriente. En ordenes de corriente mayor los mecanismos de incorporación están asociados a la inestabilidad de los márgenes que causa erosión o pérdidas de materiales por derrumbes, mientras que en ordenes de corriente menor y alta pendiente los procesos de aportación están más relacionados a deslizamientos desprendimientos debido a la acción gravitacional. Por consiguiente, en corrientes de orden mayor y baja pendiente es mayor el volumen de madera respecto a las partes altas y esta particularidad influencia la forma del flujo de agua y sedimentos por acción de la acumulación. (Lenzi *et al.*, 2006; Suarez, 2016).

#### **2.4.2. Factores asociados a la movilidad de material leñoso**

La movilidad del material leñoso hacia aguas abajo es un aspecto importante dentro del estudio de la estacionalidad de los elementos de madera y su dinámica en el cauce. El movimiento de material leñoso puede causar también daños a las infraestructuras poblacionales durante las avenidas máximas y flujos aluvionales. En época de invierno el aumento de caudales provoca el colapso y desplazamiento de atascos de madera desde las partes altas de la cuenca generando así un gran potencial de impacto hacia puentes o presas de agua causa pérdidas económicas a la población.

Este fenómeno suele ocurrir en mayor proporción en cuencas de alta montaña, donde las interacciones entre la densidad de vegetación y los procesos morfológicos generan efectos constantes, dadas las altas concentraciones de material leñoso y sedimentos así como la energía de la corriente (Jackson y Sturm, 2002). El transporte de madera está influenciado por las características de cada elemento leñoso (tamaño, longitud y densidad de la madera), la morfología del cauce (ancho del canal, forma del lecho, pendiente, rugosidad y cantidad de flujo). En general, las piezas de madera relativamente pequeñas y sueltas son las piezas más móviles y las más grandes (mayor al del ancho total y/o

parcialmente enterradas) son menos móviles y suelen atrapar piezas más pequeñas, reduciendo la velocidad y la movilidad de la madera (Ruiz-Villanueva *et al.*, 2016).

El material leñoso puede ser transportado en canales por flujos de escombros de materiales o flujo de corriente que arrastran piezas de madera que se encuentra en su camino y las transportan a canales de gradiente más bajo. Cada elemento se mueve más en grandes corrientes que en pequeñas corrientes. Estos patrones implican que la longitud de la pieza en relación con el ancho del canal es un factor importante en el transporte de madera (Abbe y Montgomery, 2003; Jackson y Sturm, 2002).

La relación entre la longitud individual de la pieza de madera y el diámetro del canal en ancho y profundidad es un factor clave que influye en movilidad de la pieza. En las corrientes de primer orden donde la potencia del flujo es baja y los elementos de madera son más largos que la profundidad y el ancho del cauce, los elementos leñosos tienden a ser más estables y se movilizan río abajo solo durante eventos extremos (Abbe y Montgomery, 2003; Gregory *et al.*, 2003). A medida que el tamaño de la corriente y la profundidad aumentan los procesos hidráulicos dominan y las piezas de madera son menos estables con la movilización de las cargas importantes de sedimentos y materia orgánica (Iroumé *et al.*, 2010).

#### **2.4.3. Influencia de la aportación de material leñoso en el sistema fluvial**

La presencia de material leñoso influye en el comportamiento de la hidráulica de los cauces de alta montaña, provocando una mayor variación del ancho de los tramos de cauces que cuentan con mayor vegetación de ribera respecto de los que cuentan con un menor cubierta vegetal (Montgomery y Abbe, 2006). Las acumulaciones de detritos leñosos en el cauce también pueden afectar al comportamiento hidrodinámico y a la capacidad de transporte de sedimentos, condicionando por tanto la tipología y distribución de las formas de fondo. Se ha demostrado que la frecuencia y tamaño de las pozas en ríos están condicionadas por la presencia de LWD (Montgomery y Piégay, 2003; Francis *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista ecológico, las acumulaciones de material leñoso al generar desbordamientos de agua con gran cantidad de sedimentos hacia las tierras ribereñas producen un enriquecimiento de nutrientes beneficiosos para dichos suelos ribereños, lo que favorece en gran medida a la formación de pequeños ecosistemas y mejora las condiciones bióticas para el equilibrio de ciertas especies (Hupp y Bornette, 2005; Comiti

*et al.*, 2006). La formación de pozas de socavación o saltos de agua están relacionadas con el incremento de hábitats ya que su presencia en mayor proporción a lo largo del cauce a más de los efectos ecológicos puede controlar los eventos de máxima descarga de caudales y sedimentos.

Todo lo anterior es posible en condiciones de una de moderada pendiente del cauce y una buena distancia entre la formación de pozas que en ríos de pendientes mayores (Montgomery y Buffington, 1997). En definitiva la importancia del material leñoso es crucial para la ecología del corredor fluvial, ya que los troncos y ramas tienen una importante función en el ciclo de nutrientes del ecosistema acuático, al aportar sustrato y alimento para numerosas especies de fauna microbiana e invertebrados, que a su vez son alimento de otras especies como los peces (Naiman *et al.*, 2000; Benke y Wallace, 2003).

## **2.5. Estudios similares realizados en América sobre material leñoso en cauces**

Iroumé *et al.*, (2011) estudió la movilidad de material leñoso en las cuencas Vuelta de Zorra y Pichún, Chile, en el mismo reporta relaciones estadísticamente significativas entre el ancho del cauce a nivel (bankfull) de ambos cauces y las características de las piezas de madera lo que indicaría que la longitud de los elementos y no el diámetro regularía la movilidad del material durante crecidas. En cuanto a la movilización, después de la temporada de invierno el 12 % y el 6,5 % del material leñoso se movilizó en las cuencas Vuelta de Zorra y Pichún. La movilidad en ambos cauces se asocia a la ocurrencia de crecidas normales. En relación a la distancia arrastrada por las piezas encontró una tendencia no significativa entre la distancia recorrida con la longitud adimensional de las piezas de material leñoso (largo de la pieza/ancho cauce), que indicaría que la distancia recorrida disminuiría al aumentar la longitud adimensional de las piezas.

Mao *et al.*, (2008) analizó los volúmenes de material leñoso y las tipologías de acumulaciones de detritos leñoso en el cauce Buena Esperanza, Argentina. El número de piezas leñosas medidas en el cauce fue de 2 300 elementos. El 83 % de los detritos leñosos se localizó dentro del canal activo, del cual el 75 % presentó señales de haber sido transportado por la corriente, el 6 % se asoció a aportes laterales al torrente por deslizamientos y erosión de márgenes, y el resto a residuos de cosecha.

Andreoli *et al.*, (2007) registró la cantidad y características de los residuos leñosos en Tres Arroyos, Chile, considerando piezas de madera de más de 10 cm de diámetro y 1 m de longitud en un tramo de 1,5 km del cauce principal que presenta una morfología



general de escalones con pozas/cascada. La cantidad de material leñoso en el cauce fue de  $1\,500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , valor comparable a los registrados en cuencas en la costa noroeste de América del Norte. El 83 % del material leñoso presentaba señales de haber sido movilizado por el río, el 13 % se asociaba a caídas naturales de árboles y el resto a aportes por deslizamientos y erosión de laderas.

Warren y Kraft (2008) estimó la dinámica de material leñoso en 400 m de un arroyo de segundo orden de las montañas de Adirondack, Nueva York, considerando piezas de madera mayores a 1 m de longitud y 10 cm de diámetro. El 26 % de las 112 piezas etiquetadas inicialmente se movieron 5 m más durante los 4 años de este estudio. La madera móvil era, en promedio, más corta que la madera no móvil, además casi toda la madera móvil era más corta que el ancho del cauce (8 m). Las observaciones anteriores muestran que la longitud de LWD influye fuertemente en su potencial para moverse en corrientes de alto gradiente, aunque las represas de escombros pueden reducir las tasas de movimiento de LWD y las distancias de movimiento para la madera de todos los tamaños.

Recientemente Tonon *et al.*, (2017), en la cuenca del río Blanco, Chile realizó un estudio desde enero de 2015 hasta marzo de 2016 con el objetivo de analizar la variación temporal en la abundancia y el transporte de madera, considerando elementos mayores a 1 m de longitud y 0,1 m de diámetro dentro del cauce. La tasa de movilidad osciló entre el 42 % y el 94 %, con valores más bajos en canales más estrechos en comparación con áreas más amplias. En cuanto al suministro de material leñoso determinó que la fuente de origen principal es el transporte fluvial a causa de inundaciones a lo largo del río Blanco.

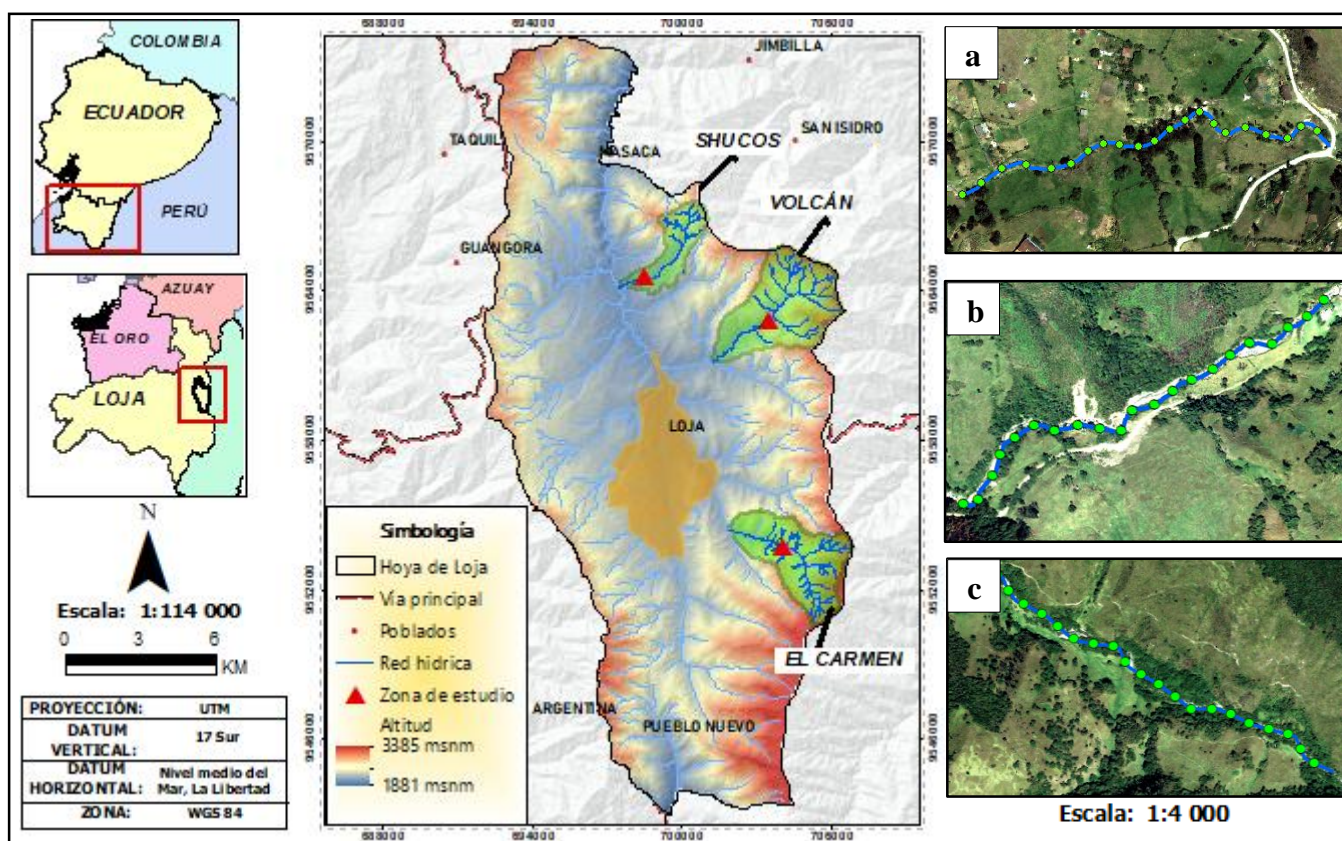
En el caso de la región sur del Ecuador Jiménez (2017) en cauces de orden tres de las microcuencas El Carmen 1 y Monica en la Hoya de Loja reporta volúmenes de material leñoso de  $19,5\text{ m}^3$  y  $12,4\text{ m}^3$ . El estudio se realizó durante un periodo de 12 meses donde registró un alto porcentaje de movilidad de piezas, 70,8 % en el caso de El Carmen 1 y 57,1 % en Monica, eventos relacionados a una avenida máxima presentada durante la época lluviosa. En cuanto a la aportación y pérdida de material leñoso determinó que en la microcuenca El Carmen 1 se pierde más cantidad de madera mientras que en Monica se registró un mayor nivel de aportación de piezas de madera. La variable del cauce que tuvo una mayor relación con las características del material leñoso fue el ancho máximo del cauce con un  $p < 0,05$ . Además, mediante el análisis de caudales determinó que el caudal y el arrastre de material leñoso son variables directamente proporcionales en las microcuencas estudiadas, aunque mayormente relacionadas en El Carmen 1.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la Hoya de Loja, cantón y provincia del mismo nombre, en la región sur del Ecuador. La Hoya de Loja cuenta con una superficie de 276,2 km<sup>2</sup>, el rango altitudinal oscila entre 2 020 y 3 250 msnm y posee un clima temperado ecuatorial subhúmedo (PNUD, 2007).

Específicamente la investigación se desarrolló en los cauces de las microcuencas: El Carmen, Volcán y Shucos (Figura 2) que pertenecen a la subcuenca del río Zamora cuyos orígenes se encuentran en el Nudo de Cajanuma, circunscrito dentro de la cuenca del río Santiago del Sistema hidrográfico Santiago que drena sus aguas a la vertiente Amazónica (MAE, 2002).



**Figura 2.** Ubicación de las microcuencas de estudio y de los segmentos de estudio en las microcuencas Shucos (a), Volcán (b) y El Carmen (c) con respecto a la Hoya de Loja.

Las microcuencas antes mencionadas (Tabla 2) han sido seleccionadas por seguir un gradiente de conservación: El Carmen conservada, Volcán semi-conservada y Shucos poco conservada, identificado con base al uso de suelo predominante de su territorio. De esta manera tenemos que El Carmen presenta el 14 % de su territorio con pastizales, un 77 % bosques y un 8 % de páramo, esto en parte debido a que el 50 % de su territorio forma parte del Parque Nacional Podocarpus (Aguirre *et al.*, 2017). En Volcán en cambio el 21 % de cobertura es antropizada y un 74 % de bosques se encuentran en un estado de conservación regular debido al incremento de la frontera agrícola desde la parte baja de la microcuenca (Arteaga *et al.*, 2014). Shucos por su parte es una microcuenca en la que existe un 54 % de su territorio en intervención representado en tierras para uso agropecuario y antrópico, un 42 % en bosque y un 3 % de páramo de acuerdo al mapa de cobertura y uso de suelo del Ecuador Continental para el año 2016 del Ministerio del Ambiente (ver Anexo 10).

**Tabla 2.** Ubicación geográfica y rango altitudinal de las microcuencas de estudio.

Microcuenca	Coordenadas		Rango altitudinal (msnm)
	X	Y	
El Carmen	704680	9553230	2 138 – 3 428
Volcán	704042	9563311	2 084 – 3 079
Shucos	699645	9565688	1 872 – 3 436

### Microcuenca El Carmen

La microcuenca El Carmen se ubica en el Sureste del catón Loja y al Noroeste de la provincia de Zamora Chinchipe. Posee una extensión de 1 17535,2 ha y representa el 2,9 % del total de microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja con un caudal promedio de 300 l/s (GADIML, 2014). Presenta coberturas como: pastizales, bosque, páramo y plantaciones de árbol/pino (Maza, 2009). La microcuenca cuenta con una estación pluviométrica y una meteorológica.

### Microcuenca Volcán

La microcuenca el Volcán tiene una superficie aproximada de 1400,96 ha, situada al Este del cantón Loja junto a las quebradas Sangre y El Salado forman la cuenca Jipiro. (Gonzaga, 2017). Representa el 3,18 % del total de microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja (GADIML, 2014).

La microcuencas Volcán cuenta con un caudal de 200 litros por segundo (Cabrera, 2007). Está cubierta por dos tipos de bosque: bosque natural denso y bosque natural achaparrado además de pastizales y matorrales (Arteaga *et al.*, 2014).

### Microcuenca Shucos

La microcuenca Shucos por su parte se encuentra ubicada al Noreste de la ciudad de Loja, con una extensión aproximada de 514,5 ha. Se ubica a 6 km del centro de la ciudad de Loja. La vegetación de la microcuenca está caracterizada por la presencia de: pastizales en mayor cantidad, bosques, páramo y complejos entre pastizal-bosque (Tabla 3). Además cuenta con un caudal promedio de 50 litros por segundo (GADIML, 2014).

**Tabla 3.** Tipos de cobertura y uso del suelo en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

	El Carmen		Volcán		Shucos	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Cobertura vegetal						
Páramo	1,0	8	0,6	5	0,2	3
Bosque	9,1	77	10,4	74	2,2	42
Tierras agrícolas	1,7	14	3,0	21	2,8	54
Zonas antrópicas	0,07	1	-	-	0,04	1
Total	11,8	100	14,1	100	5,1	100

**Fuente:** (MAE, 2016; Jiménez, 2018)

### 3.2. Materiales

- Calibrador (Largo: 200 mm, Precisión: 0,02 mm)
- Flexómetro (25 metros)
- Martillo
- Clavos
- Chapas metálicas numeradas
- Cartografía de la zona
- GPS
- Regleta de metal
- Equipo Multiparámetro

### 3.3. Métodos

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, se consideró un segmento de 500 metros del cauce principal (Tabla 4), el cual tiene un orden de corrientes de cuatro, se dividió en 20 tramos de 25 m que permitieron la referenciación de material leñoso y medición de parámetros morfológicos en los cauces de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos durante los meses de marzo a junio de 2018. Para la identificación del segmento del cauce en cada microcuenca se consideró los siguientes criterios: que el sitio se encuentre en la parte media baja de la microcuenca, accesibilidad hacia el lugar de las mediciones, que el número de orden de la corriente sea similar y que no exista confluencia con corrientes en 100 m.

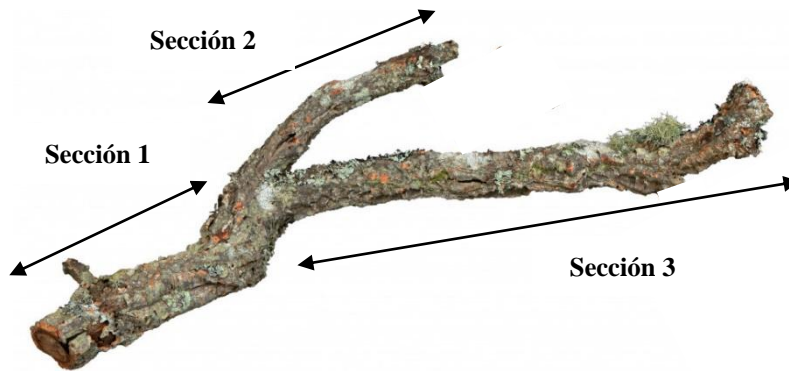
**Tabla 4.** Ubicación geográfica de los segmentos evaluados en cada microcuenca.

Zona de estudio		Coordenadas		Rango altitudinal (msnm)
		X	Y	
El Carmen	Ext. Sup.	704221	9553680	2 229 - 2 262
	Ext. Inf.	703725	9553927	
Volcán	Ext. Sup.	703599	9562915	2 163 - 2 194
	Ext. Inf.	703234	9562956	
Shucos	Ext. Sup.	688383	9564409	2 035 - 2 011
	Ext. Inf.	697949	9564351	

#### 3.3.1. Estimación el volumen de material leñoso (>5 cm diámetro y >1m largo) en los tramos seleccionados dentro de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen.

En cada tramo se consideró a todo trozo de madera de diámetro mayor a 5 cm y 1 m de longitud ubicado en los cauces y orillas adyacentes, se midieron las dimensiones de cada pieza con forcípula o calibrador y un flexómetro para la determinación de sus diámetros y longitudes (Figura 3). Para la identificación y seguimiento de cada uno de los leños se clavó una placa metálica numerada (**ver Anexo 8**) y se referenció su posición midiendo la distancia y orientación respecto a elementos naturales (rocas, grandes árboles) y a estacas de madera de referencia de los tramos establecidos en cada uno de los segmentos de cauce.

El volumen de leño fue calculado con la medida del diámetro de los dos extremos y la longitud del tronco. En el caso de troncos ramificados, se dividió en secciones y se determinó los diámetros y la longitud de cada rama como si se tratara de un elemento individual.



**Figura 3.** División de un tronco ramificado en secciones para determinar su volumen.

La estimación de los volúmenes se realizó mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$V = \pi l \frac{(R^2) + (Rr)}{3}$$

Donde:

**V**= volumen (cm<sup>3</sup>)

**l** = longitud del tronco o material leñoso evaluado (cm)

**R** = radio del extremo más grueso (cm)

**r** = radio del extremo más delgado (cm)

Posteriormente se sumó el volumen de todos los troncos y se dividió por la superficie del tramo en el cauce para conocer la distribución del volumen por área (cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>).

Para cada pieza se registraron las características de: tipo (*tronco* y *rama*); orientación con respecto a la corriente (*paralelo*, *oblicuo*, *perpendicular*), organización (piezas aisladas consideras como *simple* o en *asociación* cuando dos o más piezas estaban en contacto) y origen (*residuo* cuando la madera presentaba rastros de corte por cuchillo o machete, *derrumbe* cuando se evidenciaba deslizamientos o erosión desde los márgenes, *transportado por la corriente* cuando se evidenciaba la obstrucción del leño por piedras o encajonamientos y *mortalidad natural* cuando el tronco se disponía perpendicularmente desde la zona riparia) (Andreoli *et al.*, 2007).

Los cauces fueron inspeccionados cada 15 días cumpliendo siete recorridos en campo, los nuevos elementos encontrados fueron marcados, caracterizados y referenciados al igual que las piezas iniciales.

### 3.3.2. Determinación de la relación entre caudal líquido y las características del material leñoso para cada microcuenca seleccionada.

El método utilizado para la determinación del caudal líquido fue el de trazadores químicos con sal, debido a que la concentración de sales y la conductividad eléctrica del agua tienen una relación lineal (Moore, 2005). Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario realizar una fase de laboratorio, campo y gabinete como se menciona a continuación:

#### ✓ Fase de laboratorio

Para realizar la curva de respuesta de la sal en agua se utilizó un equipo multiparámetro Multi 3420 marca WTW, con el cual inicialmente se midió la conductividad de un litro de agua potable, se pesó 0,01 g de sal y se agregó al recipiente, se mezcló hasta homogenizar la solución y posteriormente se midió el nuevo valor de la conductividad (Galecio, 2007). Este procedimiento se repitió hasta obtener ocho mediciones en total, con estos datos se construyó una tabla de concentración de sal versus la conductividad como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Concentraciones de sal y mediciones en laboratorio

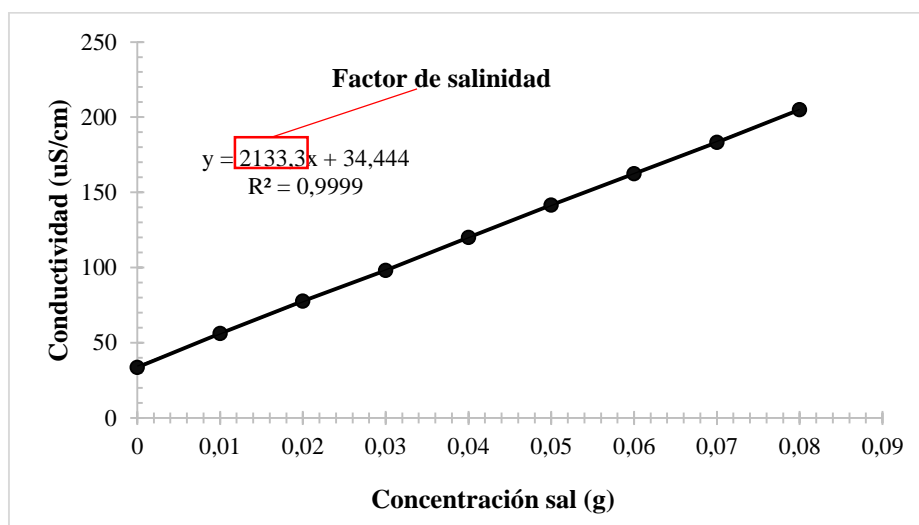
Mediciones	Sal (g)	Conductividad eléctrica (uS/cm)
1	0	33,6
2	0,01	56,1
3	0,02	77,7
4	0,03	98,2
5	0,04	120,1
6	0,05	141,6
7	0,06	162,4
8	0,07	183,3

**Fuente:** Datos generados en el estudio (elaboración propia)

Con los datos obtenidos se realizó una regresión lineal (Figura 4) para obtener el aumento de unidad de conductividad por unidad de sal, donde “y” es concentración de sal en el agua, “x” es conductividad, a es el punto de corte de la recta y “b” es la pendiente de la ecuación y por ende el factor de salinidad que se utilizó para transformar los datos de concentración medidos en campo.

$$Y = bx + a$$

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



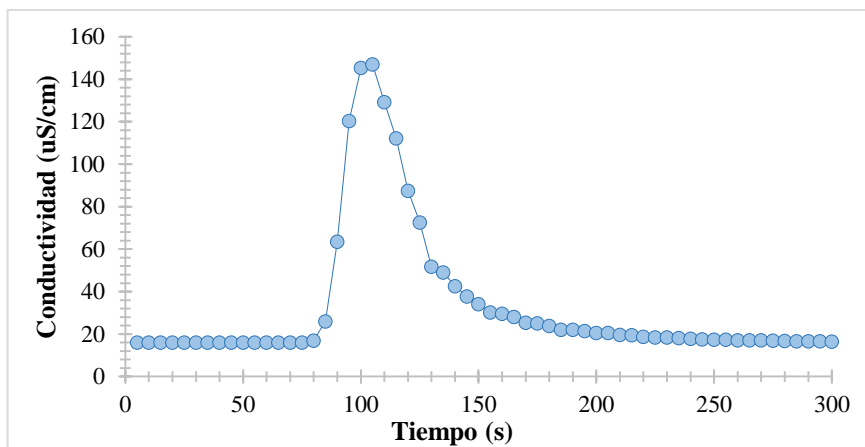
**Figura 4.** Curva de calibración del factor de salinidad de la sal.

#### ✓ Fase de campo

Para la medición en campo se tomó un tramo de 40 m evitando la presencia de estanques, extracciones o entradas de agua que impidan la completa homogenización de la solución posteriormente en un recipiente de volumen conocido (20 l) se adicionó el trazador (dos libras de sal) y con la ayuda de dos personas, una persona vertió la solución mezclada al río desde el punto A (aguas arriba) y al mismo tiempo otra persona registró los datos de la conductividad del río con el equipo multiparámetro (**ver Anexo 9**) cada cinco segundos en el punto B (aguas abajo), hasta que la conductividad inicial ascienda a un pico máximo y vuelva a su medida inicial formando una campana (campana de Gauss) como se observa en la Figura 5.

El aforo se realizó por dos ocasiones en el mismo lugar para obtener el dato promedio después de que haya pasado un tiempo de entre 30 min a 1 hora, cada aforo se realizó complementario a la medición de material leñoso con lo cual se obtuvo 7 aforos de caudal.





**Figura 5.** Comportamiento de la conductividad del río, con la adición de sal.

✓ **Fase de gabinete**

Con los datos obtenidos de la fase de campo se procedió a realizar el cálculo del caudal para cada microcuencia, en el programa Excel se organizaron los datos de conductividad tomados en 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 y posteriormente mediante la aplicación de la siguiente fórmula se procedió a hacer la sumatoria del área bajo la curva, sumando a cada dato el anterior para tener un acumulado de las áreas y multiplicarlo finalmente por el factor de conversión siguiendo la expresión descrita continuación:

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

*Dónde:*

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

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

$Q$  = caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$

$V$  = volumen de sal inyectada en  $\text{mg}$

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

Para estudiar posibles relaciones entre los aforos realizados respecto a la variación del volumen de material leñoso, se realizaron correlaciones de Pearson utilizando como variable las características del material leñoso en función del tiempo de estudio (volumen total, número de piezas diámetro y longitud media).

Adicionalmente se utilizó información pluviométrica de estaciones cercanas a los sitios de estudio, debido a que estos son datos que se registran de manera constante permiten tener otro entendimiento del transporte de material leñoso. Los datos fueron tomados de la estación pluviométrica ubicada en la microcuenca El Carmen a 2354 msnm, y de dos estaciones auxiliares “Finca Jipíro Alto” ubicada a 2218 y “Colegio Militar” 2033 de propiedad de la Universidad Técnica Particular de Loja ubicadas en las inmediaciones de las microcuencas Volcán y Shucos respectivamente como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 6.** Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación.

Estación	Tipo	Coordenadas		Altitud (msnm)
		X	Y	
El Carmen	Pluviométrica	704106	9552376	2354
Finca Jipíro Alto	Pluviométrica	700975	9560679	2218
Colegio Militar	Pluviométrica	697901	9563240	2033

Identificadas las estaciones, se procedió a la descarga de datos quincenalmente, con el fin de evitar la pérdida de los mismos, dado que en zonas de alta montaña es más complejo el proceso de información, por factores como el viento y la topografía que sensibilizan la medición de la precipitación (Foresti y Pozdnoukhov, 2012). Una vez obtenidas todas las descargas, se construyeron bases de datos, teniendo en cuenta la resolución de toma de datos (5 min, 1 hora, 24 horas), las cuales permitieron contrastar la información de material leñoso movilizado.

### **3.3.3. Análisis de la dinámica de aportación de material leñoso y sus efectos en las características morfológicas en cauces de alta montaña.**

Para identificar las aportaciones de nuevos elementos leñosos en el cauce en cada recorrido de los cauces de estudio se midieron sus dimensiones, la posición y características de los nuevos elementos, del mismo modo que se había realizado con los leños medidos al inicio del estudio. La dinámica de aportación se analizó a través de la del balance entre el volumen de material leñoso perdido y aportado con respecto a tiempo en que fueron registrados cada uno de los datos.

En el caso de los elementos movilizados, la nueva ubicación y distancia recorrida se determinó tomando como referencia el inicio del tramo al que la pieza se encontraba más cercana. El porcentaje de movilidad se consideró como el porcentaje de piezas de madera

en relación al total que se reposicionaron o no se encontraron dentro del segmento, los elementos movidos hacia una distancia aguas abajo del segmento establecido fueron considerados como elementos perdidos o exportados y para estos casos se estimó una distancia mínima recorrida considerando como punto final del movimiento el tramo inicial del segmento.

Para la determinación de las características morfológicas, en cada uno de los 20 tramos se midió el ancho medio y máximo del cauce y se determinó el perfil transversal del cauce a través de la medición de diferentes profundidades. Además cada tramo fue clasificado en las siguientes formas morfológicas propuestas por Montgomery Buffington (1993) para cauces de alta montaña como se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Características de las tipologías morfológicas de cauces de alta montaña.

Morfología	Tipo de lecho	Otras características
Cascada	Cantos en mayor proporción dispuestos de manera desorganizada.	Situado en las cotas más altas.
Escalón Poza	Cantos y guijarros al	Agrupaciones de sedimentos y pozas formadas de partículas de menor tamaño.
Lecho plano	Grava en mayor proporción y espacios de arena.	El lecho muestra una apariencia relativamente plana con márgenes inestables.
Poza Rápido	Guijarros y grava	Rápidos constituidos por material grueso y pozas de material más fino.

**Fuente:** Tomado de la clasificación morfológica de cauces en microcuencas de alta montaña propuesta por (Montgomery y Buffington, 1997).

Posteriormente se identificaron las morfologías características de cada segmento en cada una de las microcuencas y mediante el uso del programa estadístico Statgraphics, se desarrollaron correlaciones de Pearson para determinar la dependencia de variables, usando como variables independientes a los parámetros morfológicos del cauce (ancho máximo y profundidad máxima) y las características del material leñoso (volumen m<sup>-2</sup>, diámetro medio, longitud media, abundancia de piezas por tramo) como variables dependientes.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Volumen de material leñoso en los tramos seleccionados dentro de las microcuencas Shucos, Volcán y El Carmen.

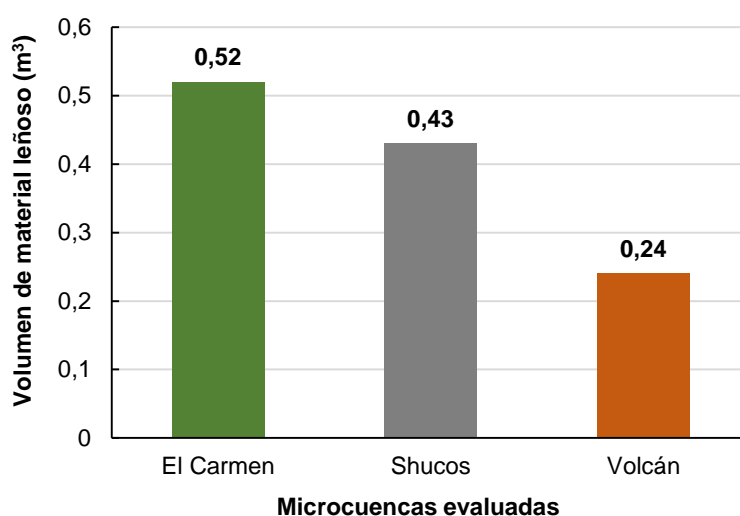
En primer lugar, se realizó la caracterización morfométrica de cada una de las microcuencas objeto de estudio (Tabla 8), con la finalidad de tener una visión teórica de cada sistema biofísico.

**Tabla 8.** Características morfométricas y de drenaje de las microcuencas evaluada

Microcuenca	Shucos	Volcán	El Carmen
<b>MORFOMETRÍA GENERAL</b>			
Área (km <sup>2</sup> )	5,1	14,0	11,3
Área dentro del PNP	0	0	6,09 (53,7 %)
Perímetro (km)	13	17,12	20,52
Coefficiente de Gravelius (forma)	1,6	1,3	1,7
	De oval oblonga a rectangular oblonga	De oval redonda a oval oblonga	De oval oblonga a rectangular oblonga
Pendiente (%)	43,4	51,7	57,1
<b>DRENAJE</b>			
<b>ESCALA DE DIGITALIZACIÓN 1:3000</b>			
Longitud del cauce principal (km)	5,9	7,2	6,5
Pendiente media del cauce (%)	13,05	15,55	18,79
Pendiente segmento 500 m	0,05	0,07	0,06
Longitud del valle	5,9	5,2	4,8
Sinuosidad	1,00	0,73	0,80
Número de orden	4	4	4
<b>ASPECTOS BIOFÍSICOS-CLIMÁTICOS</b>			
Suelos	Entisoles Alfisoles, Inceptisoles	Entisoles, Alfisoles Inceptisoles	Entisoles Inceptisoles
Tipo de ecosistema predominante	Intervenido	Bosque siempreverde montano alto oriental	Bosque siempreverde montano alto oriental
Temperatura media anual. °C	16,2	15,3	15,3
Precipitación media anual, mm	950	880	1200

**Fuente:** (MAE 2016; Instituto Geográfico Militar, 2018)

Como resultado de las seis mediciones realizadas en el periodo de marzo a junio de 2018 en el segmento del cauce Volcán se estimó un volumen total de 522 677, 7 cm<sup>3</sup> (0,52 m<sup>3</sup>), considerando los 58 elementos encontrados al inicio del estudio más seis nuevas incorporaciones. En la microcuenca Shucos con un número de 34 piezas iniciales que incrementaron a 50 elementos con las incorporaciones posteriores se obtuvo un volumen total de 433 000, 815 cm<sup>3</sup> (0,43 m<sup>3</sup>). La microcuenca con menor volumen en comparación a las anteriores fue El Carmen con un volumen total de 242 146, 469 cm<sup>3</sup> (0,24 m<sup>3</sup>) que corresponde a 44 piezas contabilizadas inicialmente más ocho a razón de aportes posteriores (Figura 6).



**Figura 6.** Volumen total de material leñoso registrado en las microcuencas El Carmen, Volcán, Shucos durante el tiempo de estudio.

En la Tabla 9 se aprecia el área promedio de los tramos de estudio así como la concentración del material leñoso por unidad de área. En la microcuenca Volcán el promedio de área de los tramos fue mayor con 205,8 m<sup>2</sup>, mientras que en Shucos los tramos tuvieron un área menor teniendo 115,7 m<sup>2</sup> de promedio, por ende, la concentración del volumen de material leñoso fue mayor en el segmento de la microcuenca Shucos con 3 084, 2 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>, siendo menor en El Carmen con 1 002,0 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> (**ver Anexo 6**).

**Tabla 9.** Volumen de material leñoso por unidad de área en las microcuencas evaluadas.

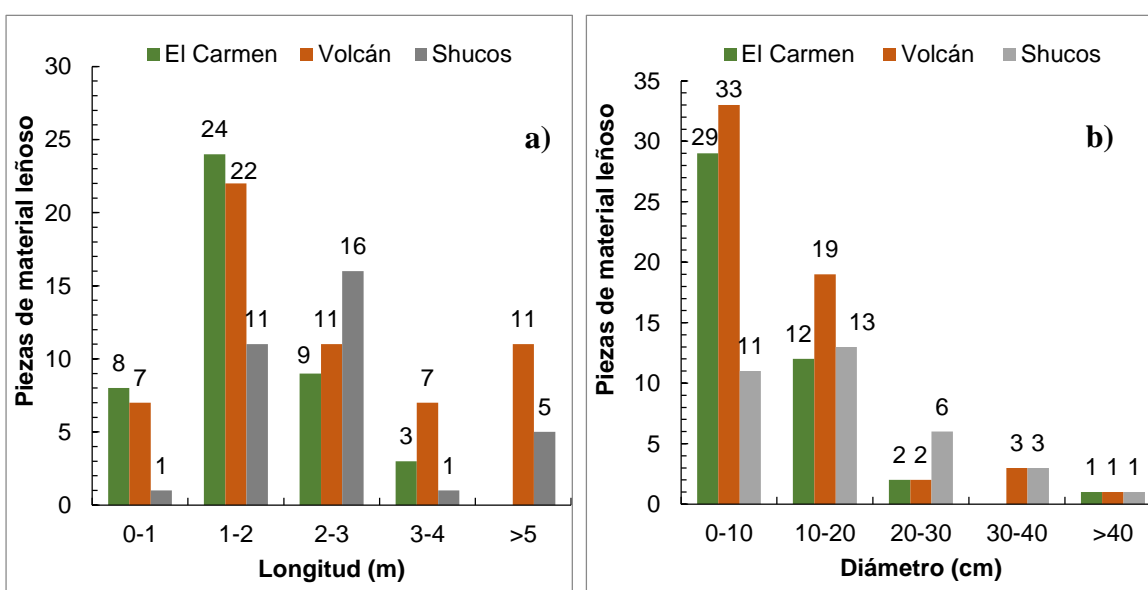
Microcuencas	Área promedio tramos (m <sup>2</sup> )	Volumen promedio (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )
El Carmen	191,8	1 002,0
Volcán	205,8	2 293,0
Shucos	115,7	3 084,2

En relación a las dimensiones de los elementos encontrados al inicio del estudio, en la Tabla 10 se puede observar que de un total de 58 piezas encontradas en Volcan, 44 piezas en El Carmen y 34 piezas en Shucos. El diámetro de pieza más grande se encontró en la microcuenca El Carmen con 58,4 cm, mientras que la pieza con la mayor longitud registrada fue de 9,2 m, encontrada en la microcuenca Volcán. El promedio de diámetros en Shucos fue mayor a las demás microcuencas con 16,8 cm, mientras que en Volcán el promedio de las longitudes fue mayor con 2,6 m de largo de las piezas.

**Tabla 10.** Dimensiones (diámetro, largo) de las piezas encontradas al inicio del estudio.

Microcuenca	N. Piezas	Longitud (m)			Diámetro (cm)		
		Máx.	Mín.	Promedio	Máx.	Mín.	Promedio
El Carmen	44	3,7	0,2	1,7	58,4	3,3	10,5
Volcán	58	9,2	0,3	2,6	42,0	4,7	11,5
Shucos	34	5,4	0,5	2,4	41,6	4,2	16,8

En la Figura 7 se puede apreciar la distribución categórica de la longitud y diámetros que tuvieron los elementos iniciales, observándose que en lo que respecta a longitud de las piezas el 73 % (32 piezas) en El Carmen tienen una longitud menor a los 2 m, en la microcuenca Volcán el 50 % de las piezas tienen longitudes de 0 a 2 m, el otro 50 % tienen longitudes superiores a los 2 m, en Shucos por su parte hubieron piezas de longitudes mayores ya que el 47 % (16 piezas) tenían longitudes de 2 a 3 m, teniendo también un 15 % (5 piezas) que tuvieron longitudes superiores a los 5 m.



**Figura 7.** Distribución del número de piezas de material leñoso en rangos de longitud (a) y diámetro (b) de los elementos iniciales en las microcuencas evaluadas.

Asimismo, con los diámetros, en la figura anterior se puede observar que en El Carmen el 66 % (29 piezas) se encontraron entre los 0 a 10 cm de diámetro, de igual forma en Volcán el 57 % (33 piezas) se encontraban en este mismo rango, sin embargo, en Shucos al igual que ocurrió con las longitudes, los diámetros se encontraron en categorías superiores, ya que el 56 % (19 piezas) tuvieron diámetros entre 10 a 30 cm.

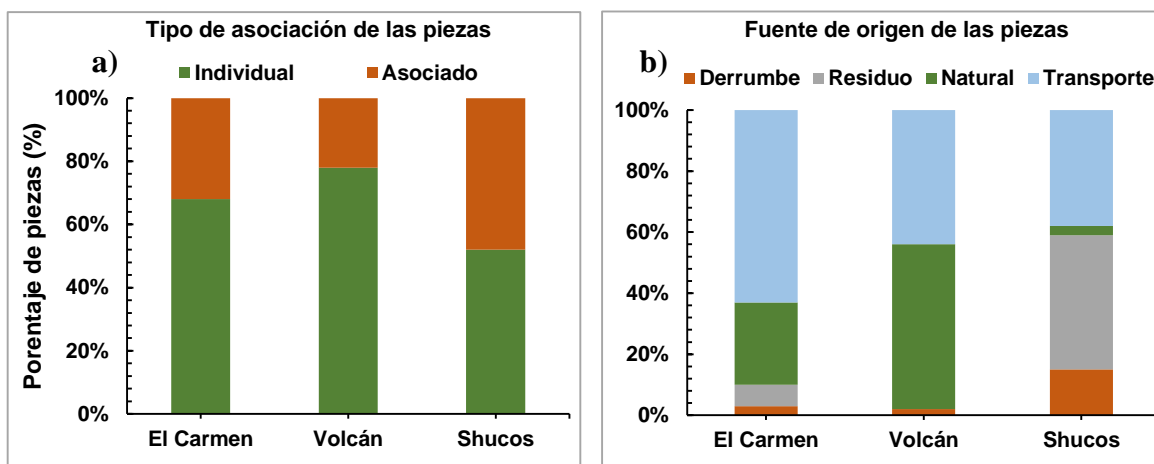
Acercas de las características del material leñoso, en la Tabla 11 se puede observar que en las tres microcuencas predominaron las piezas en orientación *paralela*, El Carmen y Shucos con un 72 % y 69 % respectivamente, mientras que, en Volcán, aunque existía un 41 % en orientación *paralela* también se presentó un 32 % en posición *oblicua*. Otra característica visiblemente marcada y semejante en las tres microcuencas fue el tipo de pieza donde la mayoría de elementos leñosos encontrados correspondieron a *troncos*.

**Tabla 11.** Características del material leñoso encontrado en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcan.

Característica		Porcentaje de piezas (%)		
		El Carmen	Shucos	Volcán
Tipo	Tronco	82	91	79
	Rama	8	9	21
	Total	100	100	100
Organización	Individual	68	52	78
	Asociado	32	48	22
	Total	100	100	100
Fuente de origen	Derrumbe	3	15	2
	Residuo	7	44	0
	Natural	27	3	54
	Transporte	63	38	44
	Total	100	100	100
Orientación	Paralelo	72	69	41
	Perpendicular	12	31	27
	Oblicuo	16	0	32
	Total	100	100	100

En relación con el tipo de asociación de las piezas, en la Figura 8 se puede apreciar que en El Carmen y Volcán el mayor porcentaje de piezas se encontraron de forma *individualizada* mientras que en la microcuenca Shucos existió un mayor porcentaje de piezas en *asociación*, correspondiendo a un 48 % del total de las piezas. Por su parte la fuente de origen de los elementos en El Carmen principalmente provino del transporte fluvial y un 27 % por mortalidad natural, de igual forma en Volcán, el 54 % de piezas se incorporaron por mortalidad natural y un 44 % por transporte, mientras que en Shucos el origen principalmente se dio por la presencia de residuos de actividades antrópicas con

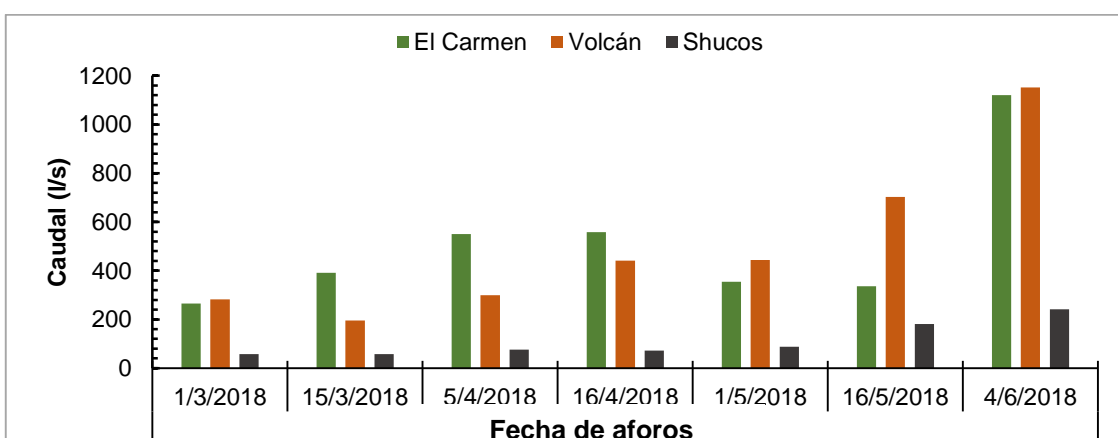
un 44 % y derrumbes desde márgenes con un 15 %, teniendo un 38 % también por arrastre de aguas arriba.



**Figura 8.** Tipos de organización (a) y fuente de origen (b) del material leñoso encontrado en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

#### 4.2. Relación entre caudal líquido y las características del material leñoso para cada microcuenca seleccionada.

En la Figura 9 se puede apreciar los valores obtenidos de los aforos realizados quincenalmente desde el 01 de marzo del 2018 al 04/06/2018. En la microcuenca El Carmen se obtuvo un promedio mensual de 510, 8 l/s, el valor más bajo fue de 265,1 l/s el 1-marzo y el valor más alto de 1 120,5 l/s el 4-junio. En la microcuenca Shucos se obtuvo un promedio de 110,6 l/s mensual, el dato más bajo se registró el 16-marzo con 57,7 l/s y el valor más alto el 3-junio con 241,7 l/s. En el caso de Volcán se obtuvo un caudal promedio mensual de 502,4 l/s, siendo los 196 l/s registrados de igual manera el 16-marzo el valor más bajo y 1 152,4 l/s el valor más alto el 3-junio (**ver Anexo 1**).



**Figura 9.** Caudal promedio (l/s), medido en el periodo 1-marzo a 4-junio, en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

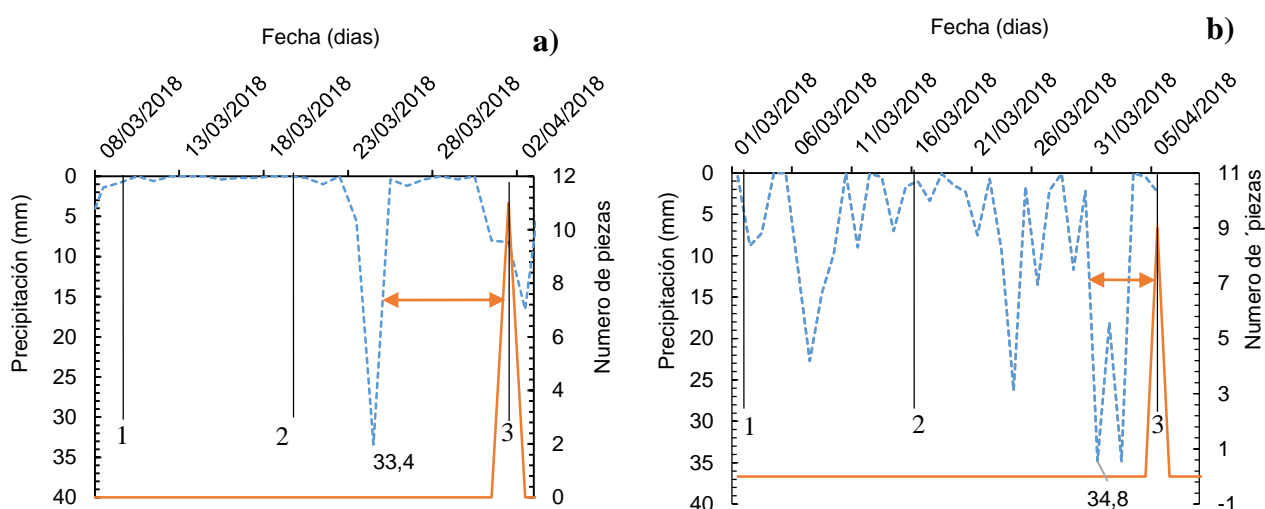


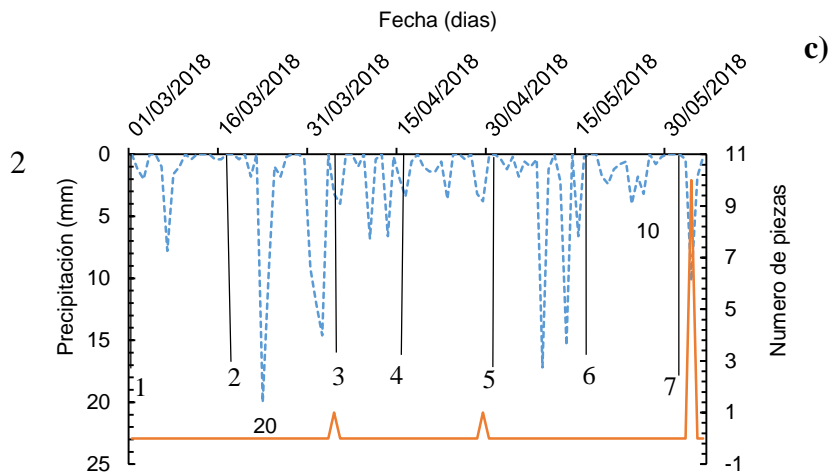
En la Tabla 12, se puede observar que la microcuenca que presenta relación estadísticamente significativa con un nivel de  $p \leq 0,05$  entre el caudal promedio y el volumen o diámetro medio del material leñoso es Volcán, siendo positiva. En las microcuencas restantes El Carmen y Shucos no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el caudal y las características del material leñoso.

**Tabla 12.** Correlaciones entre el caudal promedio y características de material leñoso en las microcuencas de estudio.

Microcuenca	Características de material leñoso				
		Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Longitud media (cm)	Diámetro medio (cm)	Abundancia (N. Piezas)
El Carmen	R	0,30	0,40	0,49	-0,56
	p	0,51	0,36	0,26	0,19
Volcán	R	0,93	0,69	0,76	-0,47
	p	<b>0,002</b>	0,09	<b>0,047</b>	0,29
Shucos	R	-0,61	0,36	-0,41	0,46
	p	0,14	0,49	0,41	0,36

En lo que se refiere a la información pluviométrica registrada durante el tiempo de estudio (**ver Anexo 3**). En la Figura 10 se puede observar que el transporte de piezas de material leñoso más grande en la microcuenca El Carmen (9 piezas con un volumen de 33 659,4 cm<sup>3</sup>) se registró en la tercera medición, el mismo se registró posteriormente a una precipitación de 34,8 mm en la estación pluviométrica El Carmen después de la segunda medición.





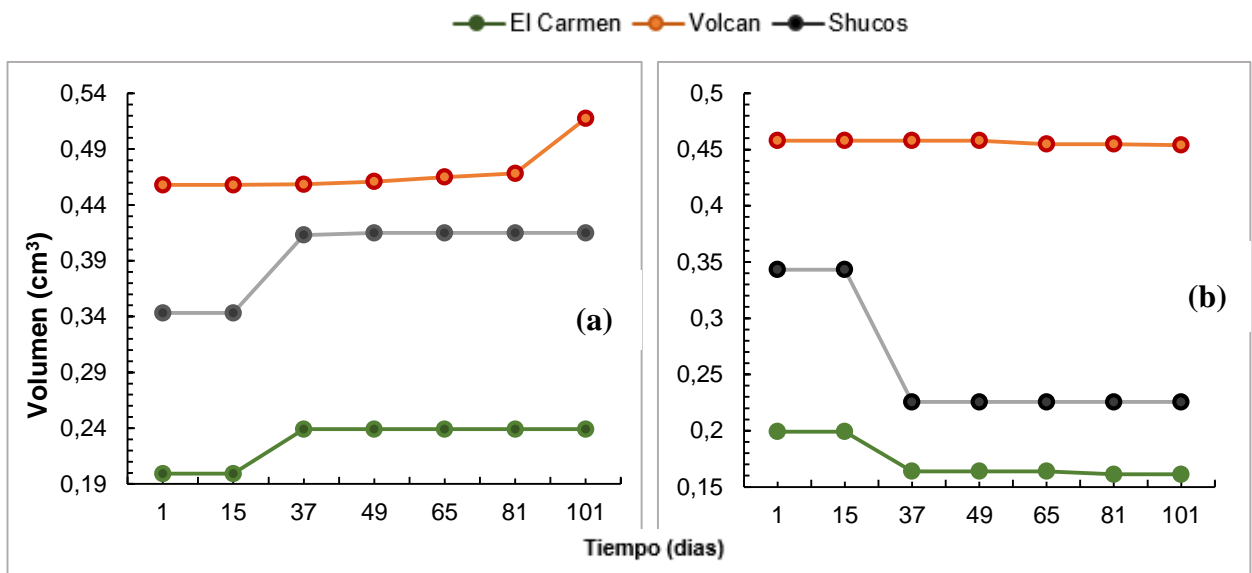
**Figura 10.** Número de piezas de material leñoso movilizados respecto al registro de precipitación en las microcuencas Shucos (a), El Carmen (b) y Volcán (c).

En Shucos de acuerdo al registro de la estación Colegio Militar el 24 de marzo existió una precipitación de 33,4 mm, después de la cual nueve días después en la tercera medición se registró la mayor variación en cuanto a transporte de material leñoso correspondiente a 11 piezas con un volumen de 117 722 cm<sup>3</sup>. En Volcán por su parte el mayor volumen movilizado 19 236,9 cm<sup>3</sup>, registrado en la séptima inspección, no corresponde a un día con la mayor precipitación ya que la precipitación de dicho día fue de 10 mm mientras que la mayor precipitación se registró el 23 de marzo con 20 mm (F).

### 4.3. Dinámica de aportación de material leñoso y sus efectos en las características morfológicas en cauces de alta montaña.

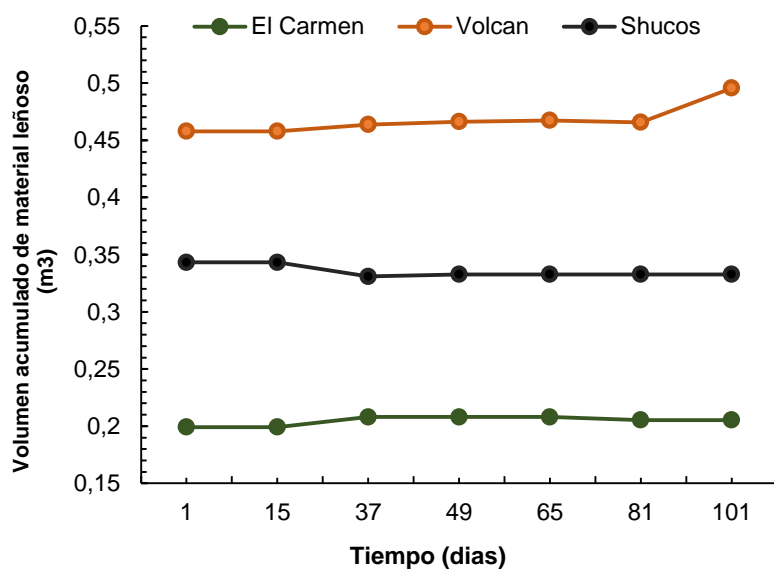
#### 4.3.1. Aportación de material leñoso

Los nuevos elementos leñosos se registraron hasta un periodo de 101 días en el caso de El Carmen, 93 días para Volcán y 90 días en Shucos. En la microcuenca Shucos el mayor registro de aportación fue a los 27 días de medición, 15 piezas que representan el 44 % de los elementos finales con un volumen de 71 617,7,4 cm<sup>3</sup>, y constituye la mayor tasa de aportación en referencia a los demás sitios de estudio. Sin embargo, este volumen aportado no alcanzó a recuperar el volumen inicial, ya que en la misma medición se registró la pérdida de un volumen de 117 722 cm<sup>3</sup>, por ende, la cantidad de pérdida total de leño fue mayor al de aporte total, el cual se registró en 89 782 cm<sup>3</sup>. El porcentaje de volumen perdido de leños en esta microcuenca fue del 40 % mayor en relación al aporte. En la Figura 11 se puede observar el acumulado del volumen de material leñoso aportado y perdido durante la investigación en cada microcuenca de estudio.



**Figura 11.** Variación del volumen de material leñoso aportado (a) y perdido (b) durante el tiempo de estudio en los segmentos de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

En el caso Volcán las primeras aportaciones se registraron a los 33 días desde la medición inicial, 2 piezas con un volumen de  $5\,924\text{ cm}^3$ . El mayor volumen de aportación se registró a los 93 días con un volumen de  $49\,170,8\text{ cm}^3$  correspondiente a 1 pieza. En esta microcuenca la tasa de pérdida total  $11\,980,4\text{ cm}^3$  es menor al aporte total cuyo volumen es de  $64\,830,3\text{ cm}^3$ ; de 6 piezas que corresponden al 10 % de elementos encontrados al termino del estudio. Los aportes en este cauce se registraron en pequeños volúmenes y de manera constante durante el estudio, se aportó 82 % más en volumen de lo que se perdió mostrando así un mejor balance en la dinámica de aportación que en las demás microcuencas (Figura 12).



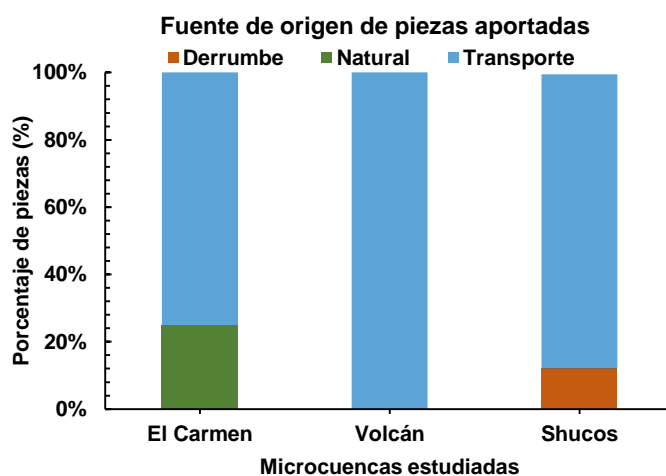
**Figura 12.** Balance del volumen de material leñoso aportado y perdido en el segmento de estudio en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos durante el tiempo de estudio.

En El Carmen por su parte el único registro de aporte se evidenció a los 37 días, 8 piezas, con un volumen total de 39 842,3 cm<sup>3</sup> (Tabla 13), que representan el 18 % de los elementos finales; en este caso la tasa de aportación a pesar de ser la menor en comparación a las anteriores microcuencas, es superior al volumen de pérdida total con 36 760 cm<sup>3</sup>, es decir se registró un porcentaje de aporte del 8 % mayor que el de pérdida.

**Tabla 13.** Número de piezas y volumen del material leñoso aportado en los segmentos de las microcuencas evaluadas.

Microcuenca	N. de medición	N. piezas	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen total (cm <sup>3</sup> )
El Carmen	3	8	39 842,3	39 842,3
	3	2	5 924,0	
	4	1	2 515,3	
Volcán	5	1	3 992,1	64830,3
	6	1	3 228,1	
	7	1	49 170,8	
	3	14	69 769,2	
Shucos	4	1	1 848,5	71 617,7

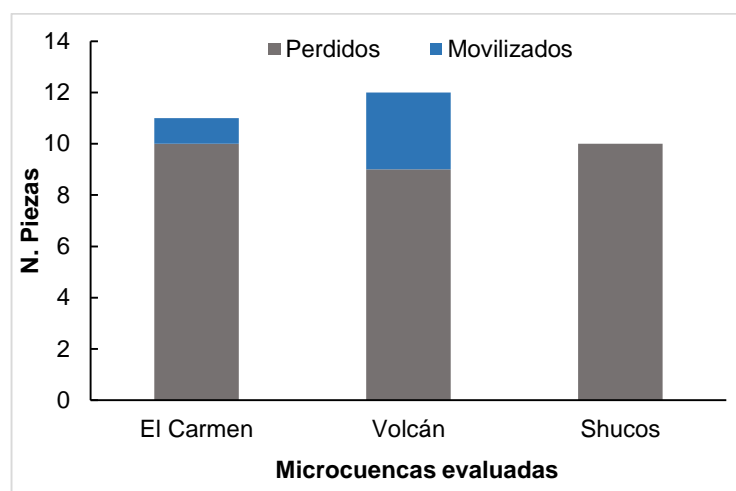
Acerca de la fuente de origen de los elementos reclutados en el periodo de estudio, en la Figura 13 se puede observar que en Volcán el 100 % de las piezas ingresaron por movilización, en El Carmen fueron en un 75 % producto del transporte desde aguas arriba y un 25 % asociados a factores naturales (viento) mientras que en Shucos los elementos aportados en este caso fueron en un 88 % por transporte fluvial y un 12 % producto de derrumbes desde márgenes laterales al cauce provocados por aumento del nivel de agua.



**Figura 13.** Fuente de origen del material leñoso aportado en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

### 4.3.2. Movilización de material leñoso

Se presentan los aspectos que competen a la movilización de material leñoso, en la Figura 14 se observa el número de piezas que se movilizaron dentro y fuera del segmento de estudio.



**Figura 14.** Número de piezas movilizadas en las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos durante en el tiempo de estudio.

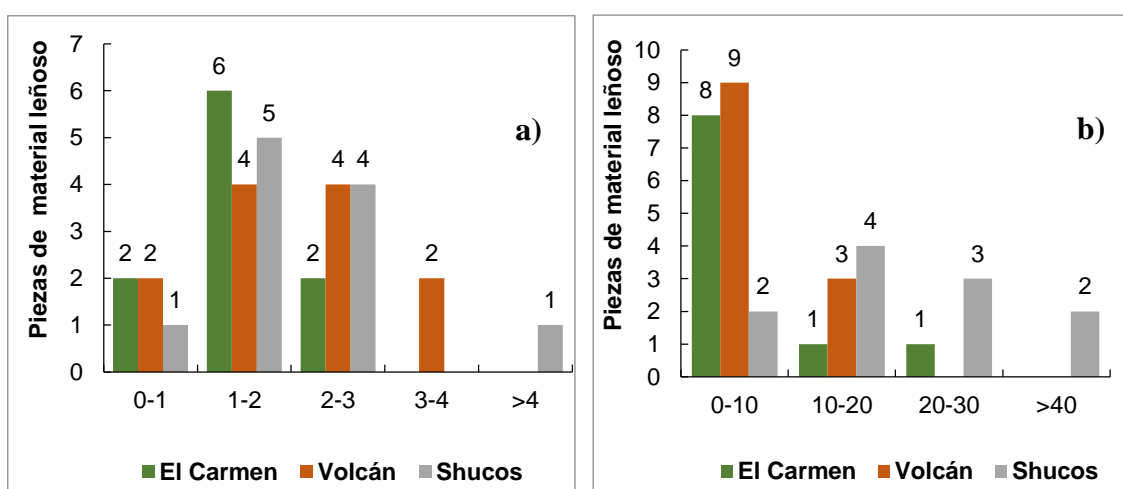
En Shucos, de los 34 elementos registrados inicialmente el 3 % de elementos (1 pieza) modificó su ubicación original dentro del segmento de estudio, mientras que el 29 % de los elementos (10 piezas) se movilaron fuera del segmento considerándolas como elementos perdidos, registrando un volumen de leño movilizado de 117 722 cm<sup>3</sup>; el 68 % de piezas restantes conservaron su posición original, las movilizaciones en este cauce se registraron en la tercera y sexta medición (Tabla 14).

**Tabla 14.** Número y volumen de piezas movilizadas y perdidas en los segmentos de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

Microcuenca	N. de medición	N. de piezas movilizadas	Vol. (cm <sup>3</sup> )	N. de piezas perdidas	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Vol. total
El Carmen	3	-	-	9	33 659,4	36 250,7
	6	-	-	1	2 591,3	
Volcán	3	1	4 926	-	-	39 004,2
	5	-	-	1	3 063,1	
	7	8	19 236,9	2	8 917,3	
Shucos	3	-	-	11	117 722	117 722

En Volcán de las 58 piezas iniciales existió un 5 % (3 piezas) cambiaron su posición inicial dentro del segmento, el 16 % (9 piezas) se movilizaron aguas abajo del segmento de estudio, registrando un volumen total de madera transportada de 39 004,2 cm<sup>3</sup>; mientras que el 79 % restante conservaron su posición original, las piezas movilizadas se registraron en la tercera, quinta y séptima medición. En el caso de la microcuenca El Carmen, de los elementos contabilizados al inicio del estudio el 77 % conservaron su posición inicial mientras que el 23 % restante (10 piezas) corresponde a elementos que se movilizaron fuera del segmento de estudio con un volumen total de piezas movilizadas de 36 250,7 cm<sup>3</sup>.

En la Figura 15 se puede observar las categorías de las dimensiones de las piezas movilizadas, en la microcuenca El Carmen las piezas movilizadas se sitúan en la categoría de 1-2 m y de diámetros principalmente entre 0-10, en cuanto a la microcuenca Volcán se observa piezas mayor número de piezas de mayor longitud que se encuentran en las dos categorías superiores, mientras que los diámetros también se encuentran en el rango de 0-10 cm, en Shucos las longitudes de las piezas tienen magnitudes de 1-2 m y 2-3 m, mientras que los diámetros de 10-20 cm principalmente y magnitudes superiores a estas.



**Figura 15.** Distribución del número de piezas de material leñoso en rangos de diámetro (a) y longitud (b) de los elementos iniciales en las microcuencas evaluadas.

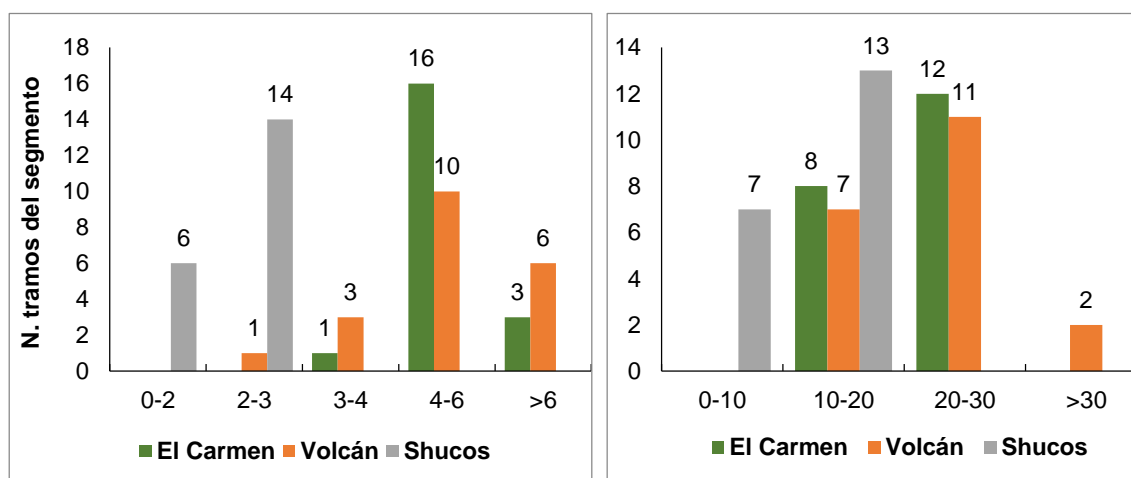
#### 4.3.3. Características morfológicas de los cauces evaluados

En la Tabla 15 se puede observar los valores de las correlaciones de Pearson realizadas entre la distribución del material leñoso medido en los tramos de estudio y las características morfológicas del cauce, no se encontró relaciones estadísticamente significativas entre las variables analizadas a un nivel de  $p \leq 0,05$ .

**Tabla 15.** Relaciones estadísticas entre características del cauce y características del material leñoso.

Microcuenca	Características del cauce	Características de material leñoso				
		Volumen (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	Longitud media (cm)	Diámetro medio (cm)	Abundancia (N. Piezas)	
El Carmen	Ancho máximo	R	0,11	-0,01	-0,02	0,48
		P	0,73	0,98	0,93	0,13
	Profundidad máxima	R	-0,16	0,37	0,17	-0,57
		P	0,64	0,25	0,60	0,07
Volcán	Ancho máximo	R	-0,01	-0,27	0,07	0,11
		P	0,94	0,28	0,77	0,67
	Profundidad máxima	R	-0,21	-0,07	0,13	0,26
		P	0,41	0,76	0,58	0,31
Shucos	Ancho máximo	R	-0,36	-0,19	-0,33	0,46
		P	0,22	0,52	0,27	0,11
	Profundidad máxima	R	0,43	0,10	0,35	-0,30
		P	0,14	0,72	0,24	0,31

Por lo concerniente a las características morfológicas del segmento evaluado en la microcuenca El Carmen el ancho medio en todo el segmento fue de 5,2 m. En Volcán en cambio el valor promedio fue de 5,3 m y en Shucos de 2,2 m, siendo el menor valor en comparación con los demás sitios de estudio ya que ningún tramo superó los 3 m de largo. En la Figura 16 se aprecia que en la microcuenca El Carmen el ancho del cauce fue mayor pues se encontró mayormente entre los 4-6 m, mientras que en Shucos el ancho no sobrepasó los 3 m de ancho. Por su parte en la microcuenca Volcán el ancho del 50 % de tramos se encontró entre 4-6 m, observando también un 30 % de tramos con anchos superiores a los 6 m.



**Figura 16.** Distribución del ancho (a) y profundidad (b) de los tramos en cada segmento de las microcuencas de estudio.

En cuanto a la profundidad del segmento de estudio, en la microcuenca El Carmen y Volcán los tramos tuvieron mayormente profundidades entre 20-30 cm. Sin embargo, el cauce que presentó mayores profundidades fue Volcán superando los 30 cm en dos de sus tramos mientras que en El Carmen el 40 % se encontró entre 10-20 cm. En Shucos se presentaron las menores profundidades ya que como se observa en la figura 6, la profundidad del 65 % de tramos se encontró entre 10-20 cm y el porcentaje restante de tramos entre 0-10 cm.

Las formas del cauce más características en el segmento de la microcuenca El Carmen fueron: *secuencias de poza y rápidos* seguido de *secuencias de escalones y pozas*. En el segmento de la microcuenca Volcán en los tramos 7-10 se identificó formas de *cascada* (ver Anexo 11), sin embargo, no se pudo establecer una característica predominante en este segmento de estudio, ya que se identificó también: *lechos planos y escalones con pozas* en igual proporción. En el caso de la microcuenca Shucos la forma más característica fue el *lecho plano*, encontrando también formas de *escalones con pozas* en menor cantidad.

En la Tabla 16 se muestra el porcentaje de elementos que fueron más grandes que el ancho y profundidad del cauce, así como los cocientes entre el diámetro de la pieza y la profundidad del cauce; y la longitud de la pieza con el ancho del cauce.

**Tabla 16.** Relación y porcentajes de las dimensiones de la pieza (diámetro, largo) y dimensiones cauce (ancho, profundidad).

	El Carmen	Volcán	Shucos
Diámetro pieza/ Profundidad cauce	0,16	0,16	0,39
Largo pieza/ Ancho cauce	0,25	0,38	0,70
Piezas que sobrepasan la profundidad cauce (%)	0	0	18
Piezas que sobrepasan el ancho cauce (%)	2	11	12

En la microcuenca El Carmen y Volcán se encontró que todas las piezas tuvieron diámetros menores a la profundidad del cauce, demostrándose en el cociente entre la longitud y el ancho del cauce los cuales fueron de 0,25 y 0,38 respectivamente, mientras que la relación promedio entre el diámetro y la profundidad fue igual a 0,16 en ambos casos. En el caso de la microcuenca Shucos, los cocientes fueron mayores debido a que existieron piezas que sobrepasaron la profundidad y ancho del cauce por lo cual entre longitud y ancho hubo un valor de 0,70, y de 0,39 entre el diámetro y profundidad.

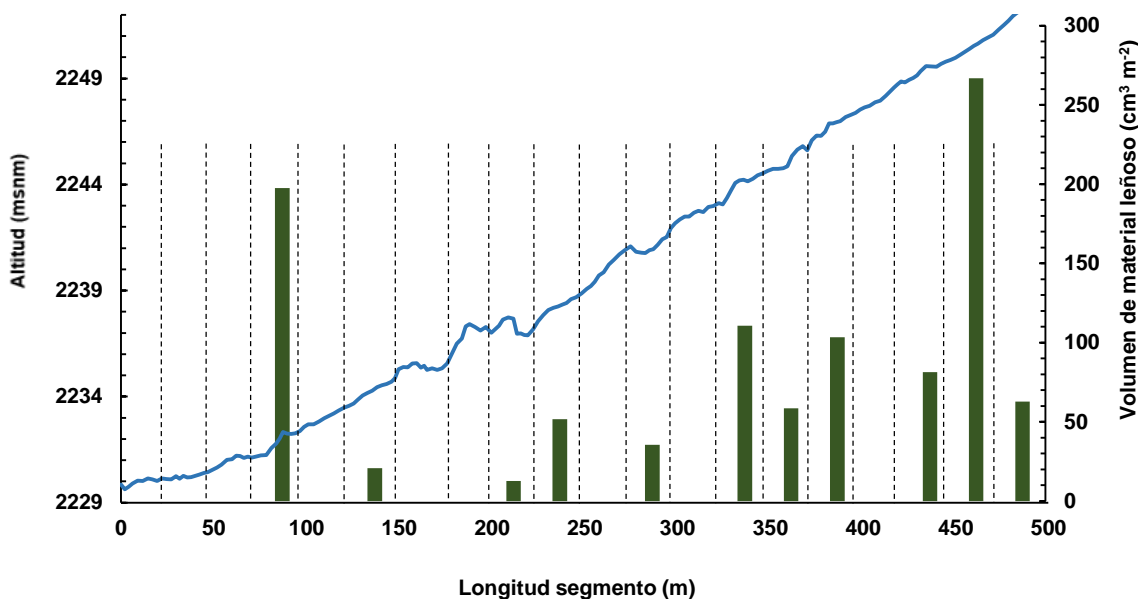


En la Tabla 17 se puede observar los cinco tramos con mayor volumen de material leñoso y sus dimensiones del cauce, observando que en la microcuenca El Carmen la longitud de las piezas en cada tramo fue menor al ancho del cauce y el tramo con mayor volumen fue aquel en el que el diámetro medio de sus piezas fue mayor a la profundidad del cauce.

**Tabla 17.** Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca El Carmen.

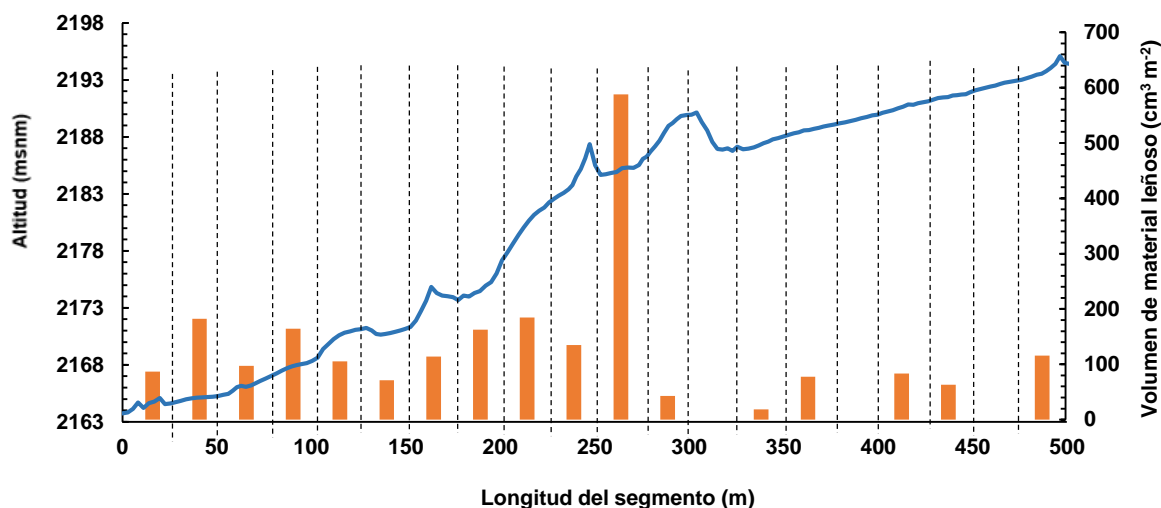
N. Tramo	Volumen (cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Largo (m)	Ancho (m)	Morfología característica
4	198	12,7	22,0	1,6	5,9	EP, LP
14	111	10,3	21,3	2,3	4,5	PR
16	103	9,9	16,8	1,9	5,6	PR
18	81	8,3	20,9	1,8	4,6	EP
19	267	35,2	19,1	2,7	5,5	PR

En la Figura 16 se puede apreciar la distribución del volumen de material leñoso en referencia a los tramos de estudio. En la microcuenca El Carmen los tramos con mayor volumen fueron los tramos 4 y en la secuencia de tramos del 14 al 20, el tramo 19 fue el que concentró mayor material leñoso con 253 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>.



**Figura 17.** Concentración del volumen de material leñoso (cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca El Carmen.

En la Figura 17 se puede apreciar que la mayor concentración de material leñoso en la microcuenca Volcán se encontró en el tramo 11 con 588 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> y en los tramos 1 al 10 un volumen que va desde los 150 a 200 cm<sup>3</sup> m<sup>-2</sup>.



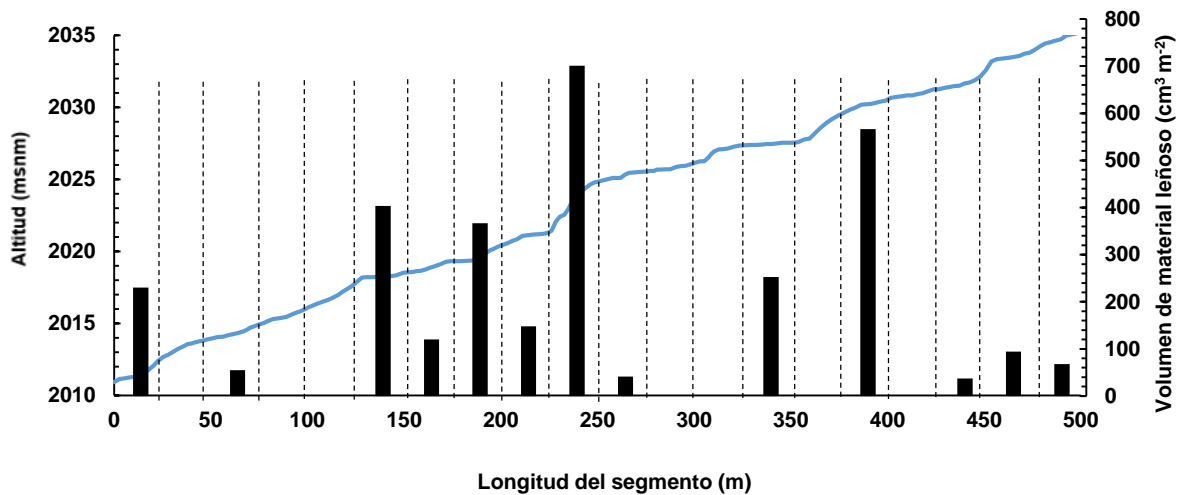
**Figura 18.** Concentración del volumen de material leñoso ( $\text{cm}^3 \text{m}^{-2}$ ) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca Volcán.

En la Tabla 18 se puede observar que en la microcuenca Volcán los tramos que presentaron la mayor concentración de material leñoso comparativamente la longitud media de las piezas fue menor al ancho del cauce. Sin embargo, en el tramo 11 que presentó el mayor volumen de material leñoso, la longitud y diámetro medio de las piezas fue superior a la profundidad y ancho del cauce. Así mismo otro tramo en el que el diámetro de las piezas supero la profundidad del cauce fue el tramo 4 el cual presentó un volumen de  $164 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$  (ver Anexo 6).

**Tabla 18.** Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca Volcán.

N. Tramo	Volumen ( $\text{cm}^3 \text{m}^{-2}$ )	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Largo (m)	Ancho (m)	Morfología característica
2	182	7,4	20,5	4,5	5,7	PR
4	164	23,7	20,3	3,3	5,4	LP
8	163	11,5	22,0	3,5	7,8	C
9	184	16,6	19,6	3,0	8,2	C
11	588	24,5	19,9	7,7	4,2	EP

Por su parte la microcuenca Shucos presenta mayor concentración en el tramo 10 con  $701 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$ , además se observa que es la mayor concentración por tramo registrada en relación a las demás microcuencas. Otros tramos con concentración alta de material leñoso son los tramos 6 y 16 con  $403$  y  $566 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2}$  respectivamente como se observa en la siguiente figura.



**Figura 19.** Concentración del volumen de material leñoso ( $\text{cm}^3 \text{m}^{-2}$ ) de cada tramo de estudio a lo largo del segmento en la microcuenca Shucos.

En la Tabla 19 se puede observar que en la microcuenca Shucos en los cinco tramos que presentaron la mayor concentración de material leñoso la longitud media de las piezas fue superior al ancho del cauce, mientras que en cuatro de ellos el diámetro medio de las piezas superó a la profundidad.

**Tabla 19.** Dimensiones medias de los tramos con mayor acumulación de material leñoso y dimensiones medias de sus piezas en la microcuenca Shucos.

N. Tramo	Volumen ( $\text{cm}^3 \text{m}^{-2}$ )	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Largo (m)	Ancho (m)	Morfología característica
1	230	6,7	11,1	3,4	2,2	PR
6	403	17,2	10,7	2,7	1,9	LP
8	367	33,0	10,3	5,4	1,9	LP
10	701	20,5	11,5	2,8	1,7	LP, EP
16	566	23,8	10,4	3,4	2,0	LP

## 5. DISCUSIÓN

En cuanto al volumen de material leñoso obtenido en esta investigación en la microcuenca Shucos se obtuvo  $3\,084\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}$ , en Volcán  $2\,293\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}$ , mientras que en El Carmen el volumen por unidad de área fue de  $1\,002\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}$  (**Tabla 8**). El mayor volumen por unidad de área obtenido en Shucos se debe a que el ancho del cauce estimado en esta microcuenca fue 2,20 m (**ver Anexo 11**), siendo menor que en el resto de cauces.

La presencia de atascos de madera en Shucos favorece la acumulación de leño, por lo tanto, aunque esta microcuenca no presentó la mayor cantidad de piezas de madera, la concentración del volumen de material leñoso es mayor a las demás microcuencas. Estos valores pueden ser comparables con los que describe Hering *et al.*, (2000) en arroyos alemanes, entre  $0\text{-}22\,000\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}$  de igual manera Diez *et al.*, (2001) en la cuenca Agüera, Península Ibérica,  $40\text{-}22\,000\text{ cm}^3\text{ m}^{-2}$ . Sin embargo, son inferiores a los  $73,3\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  encontrados por Cuenca (2018) en el río Súa, Atacames y estudios desarrollados en Chile donde Tonon *et al.*, (2017) informan  $75\text{-}230\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ . Ulloa *et al.*, (2011);  $109\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  e Iroumé *et al.*, (2011)  $169\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  en tres cuencas de montaña.

En estudios preliminares a nivel de la Hoya de Loja, Jiménez (2017) registró acumulaciones de leños y volúmenes totales de  $9,0\text{ m}^3$  y  $10,5\text{ m}^3$  en cauces de orden tres de las quebradas El Carmen 1 y Espumos respectivamente. En esta investigación se registró un volumen total de  $0,52\text{ m}^3$  en Volcán,  $0,43\text{ m}^3$  en Shucos y  $0,24\text{ m}^3$  en El Carmen (**Figura 6**), por lo que los bajos volúmenes encontrados pueden estar asociados al orden de las quebradas seleccionado ya que en cauces de orden menor, la altura de los árboles es mayor al ancho del río aumentando la capacidad de captura y por ende el volumen de material leñoso (Andreoli *et al.*, 2007; Wohl y Jaeger, 2009).

La mayoría de piezas tanto en El Carmen y Shucos se orientaron paralelamente a la corriente, debido a que el 72 % y 69 % de las piezas se encontraron dispuestas de esta forma y no de forma aleatoria como en el caso de Volcán donde no hubo una clara diferencia distribuyéndose casi en la misma proporción entre categorías oblicuas, perpendicular y paralelas (**Tabla 11**), relacionando también este aspecto con el volumen de material leñoso encontrado en Shucos ya que el 31 % de las piezas se encontraron orientadas perpendicularmente y este tipo de orientación presenta fricción al movimiento causando atascos con los márgenes del cauce, más aun debido a que el ancho de este cauce es menor en comparación a las demás microcuencas (Benda y Sias, 2003).

El uso de suelo parece determinar las diferencias en la fuente de origen de las piezas de madera encontradas en las microcuencas evaluadas. Así en la microcuenca Volcán cuyas zonas riparias tienen menor intervención antropogénica, el 54 % de piezas fueron producto de la mortalidad de árboles, por otra parte, el origen residual de elementos leñosos (restos de cosecha o actividades agropecuarias) se encontró principalmente en Shucos, donde el origen por transporte corresponde a un segundo orden en términos de abundancia. Por su parte en la microcuenca El Carmen la principal fuente de origen corresponde al arrastre desde aguas arriba, aunque con un mayor porcentaje respecto de los demás cauces (**Figura 8**).

En relación con el transporte de material leñoso, se presentaron valores de movilidad de 32 % para Shucos, 23 % en El Carmen y 21 % en Volcán, estudios similares a nivel de ríos de montaña en América fueron reportados por Andreoli *et al.*, (2007), con valores del 4 % en Chile. Mao *et al.*, (2008) en Argentina reportaron una movilidad del 16 % tras una sucesión de eventos de inundación, mientras que Schenk *et al.*, (2014), 41 % con un registro de años desde 1985 a 1997. Los relativos altos porcentajes obtenidos en esta investigación dado el periodo de estudio se deben a que el 100 % de las piezas movilizadas tanto en El Carmen y Volcán tuvieron una longitud menor a la del cauce, lo que coincide con los estudios de Curran, (2010); Nakamura y Swanson (2011), quienes concluyen que el largo de las piezas debe ser menor al ancho del cauce para que el transporte ocurra.

La mayoría de las piezas que se mueven a más de 300 m oscilan entre los de 2 m de longitud (Gurnell *et al.*, 2002). Así pues, en la microcuenca El Carmen las piezas movilizadas generalmente no sobrepasaron los 2 m de longitud movilizándose a una distancia de 340 m en promedio. Sin embargo, en el caso de Shucos existió un porcentaje mayor de elementos estables, es decir un 18 % de las piezas fueron más largas que el ancho del cauce (**Tabla 18**), aparentemente esto no tiene una influencia sobre las distancias movilizadas ya que este cauce presenta el mayor porcentaje de piezas movilizadas y una considerable distancia de movilización de 230 m (**ver Anexo 2**).

En definitiva considerando que las piezas movilizadas en Shucos tuvieron dimensiones más grandes, el transporte de madera podría estar asociado a la potencia de flujo, la cual aumenta en cauces más angostos como en este cauce produciendo grandes descargas que movilizan a troncos de madera más grandes (Welber *et al.*, 2013).

La ocurrencia de precipitaciones y crecidas de gran magnitud que tienen lugar en nuestra ciudad durante el primer trimestre del año también tiene su incidencia sobre el arrastre de materiales. tal como se ha observado en quebradas de orden menor en microcuencas El Carmen y Mónica, donde se ha registrado altas tasas de movilidad del 76 % y 57 % respectivamente, producto de eventos de crecida máxima (Jiménez, 2017). Así mismo, Iroumé *et al.*, (2011) afirman en sus estudios en Chile que la principal causa de la movilización de los elementos fue la mayor ocurrencia de avenidas extraordinarias.

En este estudio los caudales máximos medidos en las microcuencas evaluadas fueron de 1,1 m<sup>3</sup> en la microcuenca El Carmen; 1,2 m<sup>3</sup> en Volcán y 0,24 m<sup>3</sup> en Shucos en las mediciones de junio (**Figura 9**). En relación a los caudales en época de estiaje de estas microcuencas se tiene que en El Carmen es de 0,45 m<sup>3</sup>, 0,12 m<sup>3</sup> en Volcán y 0,20 m<sup>3</sup> en Shucos (Zarate, 2011). Por lo que los caudales obtenidos muestran ser propios de la época invernal la cual en nuestra ciudad se presenta desde el mes de diciembre con un pico máximo en marzo culminando hasta el mes de mayo (GADIML, 2014).

Otro punto relevante en la diferencia de caudales con la microcuenca Shucos es el número de afluentes y dimensiones del cauce principal de las microcuencas El Carmen y Volcán las cuales son mayores razón por la cual cuentan con mayores caudales siendo de las principales proveedoras de agua para la ciudad de Loja (Arteaga *et al.*, 2014). Aunque en Shucos el caudal promedio es considerablemente menor que en los demás sitios de estudio, esto no parece ser un inconveniente para que se movilizaran piezas de tamaños similares a las demás microcuencas.

Los valores de caudal medidos en las microcuencas El Carmen y Shucos no reflejaron ninguna relación con las características del material leñoso probablemente debido a que los aforos se realizaron en días con ausencia de precipitación o precipitaciones bajas, otra causa puede atribuirse a los pocos eventos de movilización de material leñoso, siendo necesario contar con registros permanentes de caudal (Rigon *et al.*, 2012). En cambio, en la microcuenca Volcán el máximo caudal se corresponde con la mayor movilización de leños encontrando correlaciones estadísticas positivas superiores al 75% (**Tabla 12**). Estas relaciones muestran una tendencia preliminar del aumento del diámetro medio y volumen de las piezas de material leñoso a medida que los caudales aumentaron. Sin embargo, con respecto al registro de precipitación no se observa una correspondencia con los eventos de movilización siendo evidente la necesidad de continuar con la generación de datos que permita verificar dicho comportamiento.

En cuanto a las microcuencas El Carmen y Shucos el registro de transporte y pérdida de material leñoso más sobresaliente se evidenció en la tercera inspección pudiendo atribuirlo a las precipitaciones superiores a los 30 mm registrados en las estaciones auxiliares (**Figura 10**), por lo que dichos eventos de lluvia pueden haber causado un incremento en el flujo de caudal modificando la ubicación de los elementos leñosos, como menciona Rollenbeck y Bendix (2011), quienes determinaron que en la microcuenca El Carmen 1, las precipitaciones tienen un efecto significativo sobre la escorrentía superficial y el caudal. De igual forma Loaiza (2017), observó que el máximo caudal en la microcuenca El Carmen 1 coincidió con el evento máximo de precipitación registrado por la estación meteorológica en el mes de febrero de 2016.

Las piezas de madera aportadas en las tres microcuencas evaluadas mostraron de igual manera que la fuente principal de material leñoso se dio por el arrastre desde cursos menores causado por el incremento del flujo de agua (**Figura 13**). En la microcuenca Shucos existió un mayor volumen aportado y esto se debe a que la erosión de los márgenes producto de actividades agropecuarias causó aumentos en el ancho de varios tramos del río que permitió el desplazamiento de piezas más grandes al ancho del cauce inicial, situación que es evidente en gran parte de la microcuenca tramos arriba y que no se observó en los otros sitios de estudio (Wyzga *et al.*, 2015). Además, un factor que puede haber provocado una mayor deposición de madera en este cauce es la profundidad del cauce la cual fue la menor en comparación con el resto de microcuencas impidiendo que las piezas sean arrastradas.

En el caso de El Carmen y Volcán el volumen de material leñoso aportado fue mayor al perdido, por lo tanto, se obtuvo un balance positivo en el volumen de material leñoso alcanzando a recuperar el volumen inicial debido en Volcán la morfología del cauce presenta sucesiones de cascadas y pozas de gran profundidad con una gran cantidad de cantos sobresalientes a lo largo del segmento del cauce, las cuales crean obstrucciones a las piezas de madera que se transportan aguas abajo impidiendo que recorran mayores distancias y permanezcan por un periodo de tiempo más prolongado (Wohl y Jaeger, 2009; Ulloa *et al.*, 2011). En El Carmen además del transporte fluvial existió aportaciones por acción del viento las cuales son posibles ya que en estas dos microcuencas existe una importante vegetación de ribera a ambos lados del cauce con un 90 % y 89 % de bosque (MAE 2016; Jiménez, 2018), aspecto que mejora la estabilidad de los márgenes del río e incrementa la posibilidad que la madera quede anclada en estructuras como raíces de los

árboles (Tal y Paola, 2010; Van Dijk *et al.*, 2013), como en el caso de Shucos donde el mayor volumen de material leñoso perdido respecto de las aportaciones se puede atribuir a un mayor porcentaje de tierras utilizadas para labores agropecuarias la cual ocupa el 57 % de las zonas riparias (**ver Anexo 5**) que genera erosión e ingreso de residuos de madera. Además, un factor que puede haber provocado una mayor deposición de madera en este cauce es su profundidad de 0,11 m siendo menor en comparación con el resto de microcuencas (**ver Anexo 11**).

Las relaciones entre las características del cauce (ancho o profundidad máxima) y las características de material leñoso (abundancia, volumen, largo o diámetro de los elementos) en las tres microcuencas evaluadas no mostraron significancias estadísticas, la falta de relación también la reportaron Mao *et al.*, (2008) en un torrente de Argentina, Tonon *et al.*, (2017) en Ríos de Chile. Sin embargo los estudios los desarrollados por Iroumé *et al.*, (2010,2011,2015) indican que el ancho del cauce es la variable que más influencia tiene en la abundancia y las características del material leñoso. Jiménez (2017) en la quebrada Espumos, microcuenca El Carmen también informa buenas correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre el ancho del cauce y la mayoría de las variables de los elementos leñosos, aunque no fue el caso en la presente investigación dada la dispersión y baja abundancia de las piezas de madera, se encontró que en las microcuencas Shucos y Volcán los tramos con mayor concentración de material leñoso correspondió aquellos en los que el ancho y la profundidad del cauce fue menor al tamaño de las piezas (**Tabla 17 y 19**) mientras que en El Carmen solo fueron mayores a la profundidad, permitiendo así conocer las zonas del cauce en donde la mayor la presencia de material leñoso puede provocar cambios en su morfología (Wyżga *et al.*, 2015). No obstante es posible que la consideración de otras zonas de estudio y periodos de mediciones más amplios evidencien correlaciones significativas pues dadas las variaciones temporales del material leñoso en los ríos es importante contar con registros anuales que permitan obtener conclusiones más acertadas (Comiti *et al.*, 2016).



## 6. CONCLUSIONES

- El mayor volumen encontrado en la microcuenca Volcán (0,52 m<sup>3</sup>) está asociada a la mortalidad de árboles de la zona riparia; mientras que en Shucos (0,43 m<sup>3</sup>) a la erosión y presencia de residuos de actividades agropecuarias, lo que muestra que la calidad y estado de las zonas de ribera incide en el suministro de material leñoso.
- Las dimensiones de piezas de madera encontradas en las microcuencas evaluadas (diámetro, largo) fueron generalmente menores a las del cauce (profundidad, ancho) siendo altamente propensas a movilizarse lo que se evidencia en los porcentajes de movilidad obtenidos los cuales fueron relativamente altos.
- El caudal y las características del material leñoso (volumen y diámetro) en la microcuenca Volcán mostraron relaciones estadísticamente significativas con una alta correlación positiva (superior al 75 %), indicando preliminarmente dado al tiempo de estudio que la variación del material leñoso ocurre por acción del caudal.
- La principal fuente de origen del material leñoso aportado en las tres microcuencas es el transporte fluvial desde cursos superiores lo que permite deducir que en este tipo de corrientes (orden 4) dominan procesos de movilización y el tiempo de residencia y acumulación de los elementos no es muy prolongado.
- El tipo de morfología del cauce con profundidades más grandes y cantos de río presentes en Volcán disminuye la movilización de material leñoso y mejora las capacidades retentivas de las piezas demostrándose en la mayor distancia que recorrieron las piezas en El Carmen y Shucos.
- Los tramos cuyas características ancho y profundidad del cauce son menores a la longitud y diámetro de las piezas de madera corresponde a los lugares de mayor acumulación y residencia de material leñoso.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Continuar esta línea de investigación y en futuros estudios incorporar el tipo de vegetación de ribera con el fin de conocer las especies y la composición/estructura del bosque de ribera que aporta material leñoso a los cauces.
- Realizar estimaciones del material leñoso en corrientes de orden uno y dos, que permitan conocer la producción anual de madera en las diferentes microcuencas de la hoya de Loja.
- En el caso de no contar con información de caudales, se recomienda continuar con el aforo mediante la técnica de trazadores químicos con sal utilizada en este estudio dada su fácil aplicación.
- Incorporar sensores remotos a través del uso de imágenes satelitales LIDAR para la estimación del volumen de material leñoso en cauces que permitan realizar análisis comparativos con los obtenidos en campo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbe, T., y Montgomery, D. (2003). Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. *Geomorphology*, 51(1–3), 81–107 p. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00326-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00326-4)
- Aguirre, N., Samaniego, N., y Zury, A. (2017). *Evaluación hidrológica de microcuencas altoandinas en la Reserva de Biósfera Podocarpus-El Cónдор, estudios de caso: El Carmen y Mónica (Loja, Ecuador)*. Loja, Ecuador. 110 p.
- Alatorre, N. (2006). La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. *Centro de estudios en Geografía Humana*. Meichoacán, Mexico. 1–6 p. Consultado Julio 17 2018.
- Alvarez, J., (2017). *Disponibilidad y demanda del recurso hídrico superficial. Estudio de caso: subcuenca Zamora Huayco*. Tesis. Máster en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Escuela de Postgrado en Administración de Empresas. Universidad Nacional de la Plata. Argentina 123 p.
- Andreoli, A., Carlig, G., Comiti, F., y Iroumé, A. (2007). Residuos leñosos de gran tamaño en un torrente de la Cordillera de Los Andes, Chile: su funcionalidad e importancia. *Bosque (Valdivia)*, 28(2), 83–96 p. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002007000200001>
- Andreoli, A., Comiti, F., Mao, L., Iroumé, A., y Lenzi, M. A. (2008). Evaluación de los volúmenes y de los efectos hidro-morfológicos del material leñoso en dos torrentes andinos (Chile). *Ingeniería del agua*, 15(3), 189 p. <https://doi.org/10.4995/ia.2008.2935>
- Armijos, D., y Castro, K. (2007). *Propuesta de conservación y saneamiento ambiental de la microcuenca Kullky-Yacu del cantón Saraguro, Provincia de Loja*. Tesis. Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 168 p.
- Arias, J., Benavides, H (2005). *Programa de economía ambiental para la explotación sustentable y sostenible de agua de la cuenca hidrográfica del Río Zamora Huayco*. Tesis. Máster en Gerencia de Proyectos para el Desarrollo, Escuela de Postgrado en Administración de Empresas. Escuela Politécnica del Litoral.

- Ecuador. 123 p.
- Arteaga, J., Ayala, G., Briseño, J., González, J., Granda, A., et al. (2014). Microcuencas abastecedoras de agua para la ciudad de Loja., 12 p. Consultado Agosto 20 2018.
- Bateman, A. (2007). Hidrología básica y aplicada. *Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos*, (1923), 16 p. Consultado Agosto 18 2018.
- Benda, L., y Sias, J. (2003). A quantitative framework for evaluating the mass balance of in-stream organic debris. *Forest Ecology and Management*, 172(1), 1–16 p. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00576-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00576-X)
- Benke, A., y Wallace, B. (2003). Influence of Wood on Invertebrate Communities in Streams and Rivers Wood-Created Habitat. *American Fisheries Society Symposium*, 37, 149–177 p.
- Bertoldi, W., Welber, M., Gurnell, A., Mao, L., Comiti, F. et al. (2015). Geomorphology Physical modelling of the combined effect of vegetation and wood on river morphology. *Geomorphology*, 246, 178–187 p. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.038>
- Brierley, G., Cohen, T., Fryirs, K., y Brooks, A. (1999). Post-european changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia: Implications for river ecology. *Freshwater Biology*, 41(4), 839–848 p. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00397.x>
- Busnelli, J., y Horta, L. (2014). Morfometría de cuencas montanas y metamorfosis fluvial. Tucumán. Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), 11–20 p.
- Cabrera, G. (2007). *Indicadores de uso sustentable del agua en la ciudad de Loja, 2015*. Tesis. Carrera de Economía, Area Administrativa. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. 91 p.
- Centro Peruano de Ciencias Sociales (CEPES). (2005). La cuenca hidrografica. *Metodología para la elaboracion de planes maestros de cuencas*, 11 p. Consultado Julio 14 2018.
- Comiti, F., Andreoli, A., Lenzi, M., y Mao, L. (2006). Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). *Geomorphology*, 78(1–2), 44–63 p.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.021>

- Comiti, F., Andreoli, A., Mao, L., y Lenzi, M. A. (2008). Wood storage in three mountain streams of the Southern Andes and its hydro-morphological effects. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(2), 244–262 p.  
<https://doi.org/10.1002/esp.1541>
- Comiti, F., Lucía, A., y Rickenmann, D. (2016). Large wood recruitment and transport during large floods: A review. *Geomorphology*, 269, 23–39 p.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.016>
- Cotler, H. (2004). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Mexico D.F. Instituto Nacional de Ecología. 126p.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R., y Rios, E. (2013). *Cuencas hidrogáficas: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Mexico D.F: Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. 120 p.
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas et al. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances en investigación para la conservación de los páramos Andinos*. Cuenca, Ecuador. 288–304 p.
- Crozzoli, L., y Batalla, R. (2003). Aplicación de la fotografía al análisis granulométrico de ríos con lecho de gravas. *Revista C y G*, 17(1): 29–39 p.
- Cuenca, A. (2018). *Comparación de la acumulación de detritos leñosos en la cuenca de los ríos Atacames y Súa: influencia del uso de cambio de suelo*. Tesis. Ing en Gestión Ambiental, Escuela de Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 44 p.
- Cueva, C. (2017). *Análisis de eventos de máximos de precipitación en cuencas prioritarias del cantón Loja*. Tesis. Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 90 p.
- Curran, J. (2010). Mobility of large woody debris (LWD) jams in a low gradient channel. *Geomorphology*, 116(3–4), 320–329 p.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.027>

- Diez, J., Elosegui, A., y Pozo, J. (2001). Woody Debris in North Iberian Streams: Influence of Geomorphology, Vegetation, and Management. *Environmental Management*, 28(5), 687–698 p. <https://doi.org/10.1007/s002670010253>
- Doujeranni, A. (2006). Conceptos y definiciones sobre Gestion Integrada de Cuencas. Santiago, Chile. Editorial CONAMA. 90 p.
- Edwards, P., Williard, K., y Schoonover, J. E. (2015). Fundamentals of Watershed Hydrology. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 3–20. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03185.x>
- Elosegi, A., y Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Bilbao, España. Editorial Valant. 444 p.
- Espinoza, H. (2016). Propuesta para homologar metodologías en el aforo de caudales. Guatemala. Consultado Octubre 05 2018.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). (2000). La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales. Consultado Julio 03 2018.
- Flores-Armillas, V. (2016). Hacia la gestión comunitaria del agua en la Nanocuenca de El Pantano, en el municipio de Jiutepec. Fundación Biosfera del Anáhuac. Morelos, México. 190 p.
- Flores, A., Lucero, E., y Duque Marin, M. (1992). *La cuenca hidrográfica como una unidad de análisis y planificación territorial*. Tesis Economía Agrícola, Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional de Colombia. Medellin. 120 p.
- Foresti, L., y Pozdnoukhov, A. (2012). Exploration of alpine orographic precipitation patterns with radar image processing and clustering techniques. *Meteorological Applications*, 19(4), 407–419 p.
- Francis, R., Petts, G., y Gurnell, A. (2008). Wood as a driver of past landscape change along river corridors, *1626*, 1622–1626 p. <https://doi.org/10.1002/esp>
- Fuentes, J. (2011). *Influencia morfológica e hidráulica del material leñoso en el cauce del torrente tres arroyos*. Tesis Ing en Obras Civiles, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Universidad Austral de Chile. Malalcahuello, Chile. 104 p.

- Gobierno Autónomo Descentralizado del Ilustre Municipio de Loja (GADIML). (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja*. Loja, Ecuador. 347 p.
- Galecio, J. (2007). *Métodos de aforo para la estimación de la recarga de acuíferos*. Tesis Ing Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 154 p..
- Gaspari, F., Vagaría, R., Senisterra, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad de la Plata. La Plata, Argentina. 191 p..
- Gonzaga, A. (2017). Cultura ambiental para mitigar la contaminación de las microcuencas proveedoras de agua a la ciudad de Loja. *INNOVA Research Journal*, 2(10.1), 25–35 p. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n10.1.2017.472>
- González, A. (2014). *Características físicas y morfométricas de las cuencas*. Centro Integrado de Gomática Ambiental, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 40 p.
- González, A., y Ramírez, J. (2014). Manual Piragüero Medición de Caudal. *Programa Integral Red Agua*. Editorial Libro Arte. Medellín, Colombia. 24 p.
- Gregory, S., Boyer, K., y Gurnell, A. (2003). The Ecology and Management of Wood in World Rivers. *Geomorphology*, 41 (8), 444 p.
- Gurnell, A., Petts, G., Harris, N., Ward, J., Tockner, K. et al. (2000). Large wood retention in river channels: The case of the Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(3), 255–275 p. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200003\)](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200003))
- Gurnell, A., Petts, G., Hannah, D., Smith, B., Edwards, P et al. (2000). Wood storage within the active zone of a large European gravel- bed river. *Geomorphology*, 34, 55–72 p.
- Gurnell, A., Piegay, H., Swanson, F., y Gregory, S. (2002). Large wood and fluvial processes. *Freshwater Biology*, 47(4), 601–619 p.
- Gurnell, A., Tockner, K., Edwards, P., y Petts, G. (2005). Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(7), 377–382 p. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0377](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0377)

- Hall, J., y Kirn, V. (2015). *Managing Watersheds for Ecosystem Services in the Steepland Neotropics*. Banco Interamericano de Desarrollo. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Ciudad de Panamá, Panamá. 189 p.
- Hering, D., Kail, J., Eckert, S., Gerhard, M., Meyer, E et al. (2000). Coarse Woody Debris Quantity and Distribution in Central European Streams. *International Review of Hydrobiology*, 3(85), 1-22 p. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2632\(200003\)85:13.3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2632(200003)85:13.3).
- Horacio, J. (2015). Reflexiones y Enfoques en la Conservación y Restauración de Ríos: Georrestauración y Pensamiento Fluvial. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 20(1142), 1–22 p.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.07058.x>
- Hupp, C., y Bornette, G. (2005). Vegetation as a Tool in the Interpretation of Fluvial Geomorphic Processes and Landforms in Humid Temperate Areas. En *Tools in Fluvial Geomorphology*. Chichester, UK. 269–288 p.  
<https://doi.org/10.1002/0470868333.ch10>
- Instituto de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC). (2017). Manual de Medición de Caudales. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Guatemala. 18p.
- Iroumé, A., Andreoli, A., Comiti, F., Ulloa, H., y Huber, A. (2010). Large wood abundance, distribution and mobilization in a third order Coastal mountain range river system, southern Chile. *Forest Ecology and Management*, 260(4), 480–490.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.004>
- Iroumé, A., Mao, L., Andreoli, A., Ulloa, H., y Ardiles, M. P. (2015). Large wood mobility processes in low-order Chilean river channels. *Geomorphology*, 228, 681–693. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.025>
- Iroumé, A., Ulloa, H., Lenzi, M, Andreoli, A., y Gallo, C. (2011). Movilidad y reclutamiento de material leñoso de gran tamaño en dos cauces de la Cordillera de la Costa de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 247–254.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300006>
- Jackson, C., y Sturm, C. A. (2002). Woody debris and channel morphology in first- and second-order forested channels in Washington's coast ranges. *Water Resources*



*Research*, 38(9), 16-1-16–14. <https://doi.org/10.1029/2001WR001138>

- Jiménez, C. (2017). *Dinámica espacio temporal de material leñoso en descomposición a nivel de cuencas prioritarias del cantón Loja*. Tesis. Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 90 p.
- Jiménez, E. (2018). *Dinámica y modelamiento futuro, de cambios y fragmentacion en la cobertura y uso del suelo de la Hoya de Loja en el período 2001-2016*. Tesis. Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 70 p.
- Kaczka, R. (2003). *The coarse woody debris dams in mountain streams of central Europe, structure and distribution. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 37:111-127 p.
- Kumar, B., y 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 p.
- Lenzi, M., Comiti, F., Mao, L., Androeli, A., Pecorari, E., et al. (2006). El control de los detritos leñosos y el manejo de la vegetación en el cauce. *Universita degli studi di Padova, Italia*. 185 p.
- Leopold, L., y Wolman, M. (1957). River Channel Patterns- Braided, Meandering and Straight. *US Geological Survey Professional Paper*, 282(B), 39-35 p.
- Loaiza, A. (2017). *Variabilidad temporal de la producción de sedimentos en suspensión en microcuencas prirotarias de la provincia de Loja*. Tesis Ing. en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 81 p
- Maas, S., y Brookes, A. (2009). Fluvial geomorphology. *Fluvial Design Guide*. Manchester, Inglaterra 1–20 p.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2002). *División Hidrográfica Ecuador*. Quito: Memoria Técnica. Propuesta del CNRH y el Grupo Interinstitucional para oficializar en el Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Mao, L., Burns, S., Comiti, F., Andreoli, A., y Urciuolo, A. (2008). Acumulaciones de detritos leñosos en un cauce de montaña de Tierra del Fuego : análisis de la

- movilidad y de los efectos hidromorfológicos LW jams in a mountain stream of Tierra del Fuego : piece movement and hydro-morphological effects analysis. *Bosque*, 29(3), 197–211 p.
- Marbello, R. (2005). *Hidrometría y aforo de corrientes naturales*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellin, Colombia. 37 p.
- Martínez De La Cruz, J., Díaz Zorrilla, G., Trejo, S., Isabel, M., León, P et al. (2013). Diagnóstico de la microcuenca Río Yuqueza en la comunidad de San Lorenzo Albarradas, Oaxaca, Mexico. 1211–1220 p.
- Martínez, E. (2010). Las Cuencas Hidrográficas: Revisión histórica de su uso como soporte físico de la regionalización, *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 36 (1). 232 p.
- Maza, C. (2009). *Clasificación y Análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huyaco - Cantón Loja*. Tesis Ing en Gestión Ambiental. Escuela de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad Técnica Particular de Loja. Loja. Ecuador. 69 p.
- Mazzorana, B., Ruiz-Villanueva, V., Marchi, L., Cavalli, M., Gems, B et al. (2017). Assessing and mitigating large wood-related hazards in mountain streams: Recent approaches. *Journal of Flood Risk Management*. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12316>
- Merz, J., & Doppmann, G. (2006). Measuring mountains stream discharge using the salt dilution method, A practical guide. Editorial Team. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD). Kathmandu, Nepal. 18 p.
- Montes, C., y Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*, 16(3), 137–147 p.
- Montgomery, D., y Buffington, J. (1993). Channel classification, prediction of channel response and assessment of channel condition. Timber, Fish and Wildlife Agreement, Department of Natural Resources, Olympia, Washington.
- Montgomery, D., y Abbe, T. (2006). Influence of logjam-formed hard points on the formation of valley-bottom landforms in an old-growth forest valley, Queets River, Washington, USA. *Quaternary Research*, 65(1), 147–155 p. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.10.003>

- Montgomery, D., y Buffington, J.. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Department of Geological Science*, 109(5), 596–612 p.
- Montgomery, D., y Piégay, H. (2003). Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. *Geomorphology*, 51(1–3), 1–5 p.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00322-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00322-7)
- Moore, D. (2005). Slug Injection Using Salt in Solution. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 8, 1–28 p.
- Moore, K., Jones, K., y Dambacher, J. (2014). Methods for Stream Habitat Surveys Aquatic Inventories, Department of Fish and Wildlife. Oregon, USA. 59 p.
- Moulin, B., y Piegay, H. (2004). Characteristics and temporal variability of large woody debris trapped in a reservoir on the River Rhone (Rhone): Implications for river basin management. *River Research and Applications*, 20(1), 79–97 p.  
<https://doi.org/10.1002/rra.724>
- Naiman, R., Bilby, R., y Bisson, P. (2000). Riparian ecology and management in the pacific coastal rain forest. *BioScience*, 50(11), 996 p. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)).
- Nakamura, F., y Swanson, F. (2011). *Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, Western Cascade Range, Oregon. Canadian Journal of Forest Research* (Vol. 24). <https://doi.org/10.1139/x94-309>
- Nakamura, F., y Swanson, F. (1993). Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream, 18, 43–61 p.
- Ollero, A. (2009). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro*. (D. Ferre & D. Mora, Eds.). Zaragoza: Univerisdad de Zaragoza.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla Técnica: Cuenca hidrológica, unidad mínima de conservación, preservación y desarrollo sostenible*. Sociedad Geográfica de Lima, Lima, Peru. 96 p.
- Pagano, T., y Sorooshian, S. (2014). Hydrologic cycle. Encyclopedia of Global Environmental Change. Arizona, USA. 450-464 p.
- Piegay, R., y Marston, A. (1998). Distribution of large woody debris along the outer band of meanders in the Ain River, France. *Physical Geography*, 13–39.

- Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo (PNUD). (2007). Gobernabilidad del Sector Agua y Saneamiento en el Ecuador en el Marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). 74 p. Consultado Enero 12 2019.
- Pollock, M., y Beechie, T. J. (2014). Does Riparian Forest Restoration Thinning Enhance Biodiversity? The Ecological Importance of Large Wood. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 543–559 p. <https://doi.org/10.1111/jawr.12206>
- Ramirez, G., y Bocanegra, R. (2004). Caracterización de los materiales del lecho de un río para propósitos de modelación matemática. *Seminario Internacional La hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.*, 7, 99–106 p.
- Rigon, E., Comiti, F., y Lenzi, M. A. (2012). Large wood storage in streams of the Eastern Italian Alps and the relevance of hillslope processes. *Water Resources Research*, 48(1), 1–18 p. <https://doi.org/10.1029/2010WR009854>
- Rollenbeck, R., y Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, 277–289 p.
- Ruiz-Villanueva, V. (2012). Nuevas metodologías en la evaluación de la peligrosidad y el riesgo por avenidas en cuencas de montaña. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha. Madrid, España. 468 p.
- Ruiz-Villanueva, V., Piégay, H., Gurnell, A., Marston, R., y Stoffel, M. (2016). Recent advances quantifying the large wood dynamics in river basins: New methods and remaining challenges. *Reviews of Geophysics*, 54(3), 611–652 p. <https://doi.org/10.1002/2015RG000514>
- Sánchez, A., García, R., y Palma, A. (2003). *La Cuenca Hidrográfica: Unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Editorial SEMARNAT. Mexico. 1-37 p.
- Schenk, E., Moulin, B., Hupp, C., y Richter, J. (2014). Large wood budget and transport dynamics on a large river using radio telemetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(4), 487–498. <https://doi.org/10.1002/esp.3463>
- School of Environmental and Life Sciences. (2015). The Fluvial System. Consultado Diciembre 10 2018.

- Segura-Serrano, L. (2014). Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. *Tecnología en Marcha, VI Encuentro de Investigación y Extensión*, (506), 12–21 p.
- Sepúlveda, S. (2002). Desarrollo sostenible microregional: Métodos de planificación local. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 313 p.
- Shields, F., y Smith, R. H. (1992). Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2(2), 145–163 p. <https://doi.org/10.1002/aqc.3270020203>
- Suarez, E. (2016). Análisis de material leñoso en cuencas de precordillera de San Juan, contribución al avance en el estudio de riesgo Aluvional. Instituto de Geografía Aplicada, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina. 200 p.
- Tal, M., y Paola, C. (2010). Effects of vegetation on channel morphodynamics: Results and insights from laboratory experiments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(9), 1014–1028p. <https://doi.org/10.1002/esp.1908>
- 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>
- Tonon, A., Iroumé, A., Picco, L., Oss, D., y Lenzi, M. A. (2017). Temporal variations of large wood abundance and mobility in the Blanco River affected by the Chaitén volcanic eruption, southern Chile. *Catena*, 156, 149–160 p. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.03.025>
- Ulloa, H., Iroumé, A., Lenzi, M., Andreoli, A., Álvarez, C., y Barrera, V. (2011). Material leñoso de gran tamaño en dos cuencas de la Cordillera de la Costa de Chile con diferente historia de uso del suelo. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 235–245 p. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300005>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). (2016). Natural processes of ground-water and surface-water interaction. *Usgs*, 1–13. Consultado Septiembre 03 2018.
- Van Dijk, A., Beck, H., Crosbie, R., de Jeu, R., Liu, Y., et al. (2013). The Millennium Drought in southeast Australia (2001-2009): Natural and human causes and

- implications for water resources, ecosystems, economy, and society. *Water Resources Research*, 49(2), 1040–1057 p. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20123>
- Vargas, G. (2012). Geología , geomorfología y dinámica fluvial aplicada a hidráulica de ríos. *XX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*, 12 p.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I. et al. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 646 p.
- Warren, D., y Kraft, C. E. (2008). Dynamics of large wood in an eastern U.S. mountain stream. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 808–814 p. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.038>
- Welber, M., Bertoldi, W., y Tubino, M. (2013). Wood dispersal in braided streams: Results from physical modeling. *Water Resources Research*, 49(11), 7388–7400 p. <https://doi.org/10.1002/2013WR014046>
- Wentworth, C. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The journal of Geology*, 30(5), 377–392 p. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Winkler, R., Moore, R., Redding, T., Spittlehouse, D., Carlyle, D., et al. (2010). Hydrologic Processes and Watershed Response. *Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia. Forum for Research and Extension in Natural Resources. Land Management Handbook*, 133–178 p.
- Wohl, E., Bledsoe, B., Fausch, K., Kramer, N., Bestgen, K., et al. (2016). Management of Large Wood in Streams: An Overview and Proposed Framework for Hazard Evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*, 52(2), 315–335 p. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12388>
- Wohl, E., Cenderelli, D., Dwire, K., Ryan-Burkett, S., Young, M. et al. (2010). Large in-stream wood studies: a call for common metrics. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(1), 618-625 p. <https://doi.org/10.1002/esp.1966>
- Wohl, E., & Jaeger, K. (2009). A conceptual model for the longitudinal distribution of wood in mountain streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(3), 329–344 p. <https://doi.org/10.1002/esp.1722>
- Vision Mundial (WorldVision). (2004). *Manual de manejo de cuencas*. Canadá: WorldVision. Consultado Agosto 21 2018.

Wyżga, B., Zawiejska, J., Mikuś, P., y Kaczka, R. (2015). *Contrasting patterns of wood storage in mountain watercourses narrower and wider than the height of riparian trees*. *Geomorphology*, 28(3), 275-285 p.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.014>

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. Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Estatal de Cuenca. 231 p.

Zury, W. (2004). *Manual de planificación y gestión participativa de cuencas y microcuencas*. Proyecto de apoyo al desarrollo forestal comunal en los Andes del Ecuador. Quito, Ecuador. 375 p.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Promedio de caudal líquido en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcán.

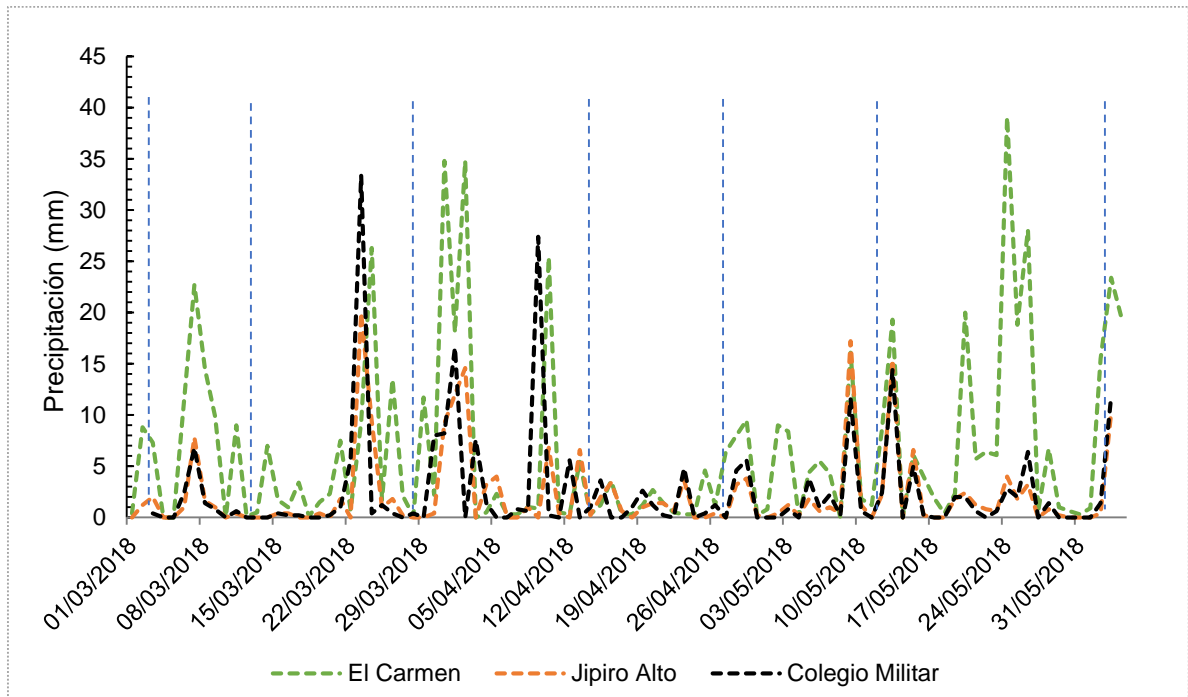
El Carmen						
Nro.	Fecha	Hora	Caudal 1 (l/s)	Hora	Caudal 2 (l/s)	Promedio
1	1/3/2018	9:53:13	265	15:58:37	265,24	265,12
2	15/3/2018	8:54:53	387,29	10:27:46	396,39	391,84
3	5/4/2018	10:09:53	582,11	13:40:23	517,93	550,02
4	16/4/2018	8:54:39	566,64	9:52:12	549,56	558,10
5	1/5/2018	9:45:00	364,42	10:41:37	343,77	354,10
6	16/5/2018	10:25:32	338,75	11:17:03	331,99	335,37
7	4/6/2018	11:12:39	1173,13	12:19:27	1067,84	1120,49
Shucos						
1	6/3/2018	10:54:35	59,5	14:00:56	56,62	58,06
2	16/3/2018	12:39:19	57,67	14:54:19	57,87	57,77
3	2/4/2018	10:53:57	76,3	13:41:47	75,22	75,76
4	15/4/2018	9:16:51	69,16	10:57:29	74,26	71,71
5	29/4/2018	9:48:41	88,41	11:07:22	87,97	88,19
6	15/5/2018	9:27:06	104,27	11:16:36	256,72	180,50
7	3/6/2018	9:46:53	247,77	11:42:38	235,67	241,72
Volcán						
1	2/3/2018	13:57:38	265,78	15:07:22	298,62	282,20
2	16/3/2018	10:37:33	196,35	11:22:59	195,67	196,01
3	4/4/2018	9:57:25	297,81	12:19:33	299,93	298,87
4	15/4/2018	15:36:27	449,71	16:27:07	432,61	441,16
5	30/4/2018	10:47:37	452,04	12:45:09	434,59	443,32
6	15/5/2018	13:48:01	816,73	16:06:31	588,88	702,81
7	3/6/2018	14:20:53	1255,85	17:09:33	1048,92	1152,39

**Anexo 2.** Rangos de movilidad y dimensiones del material leñoso transportado dentro y fuera del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen, Shucos y Volcán.

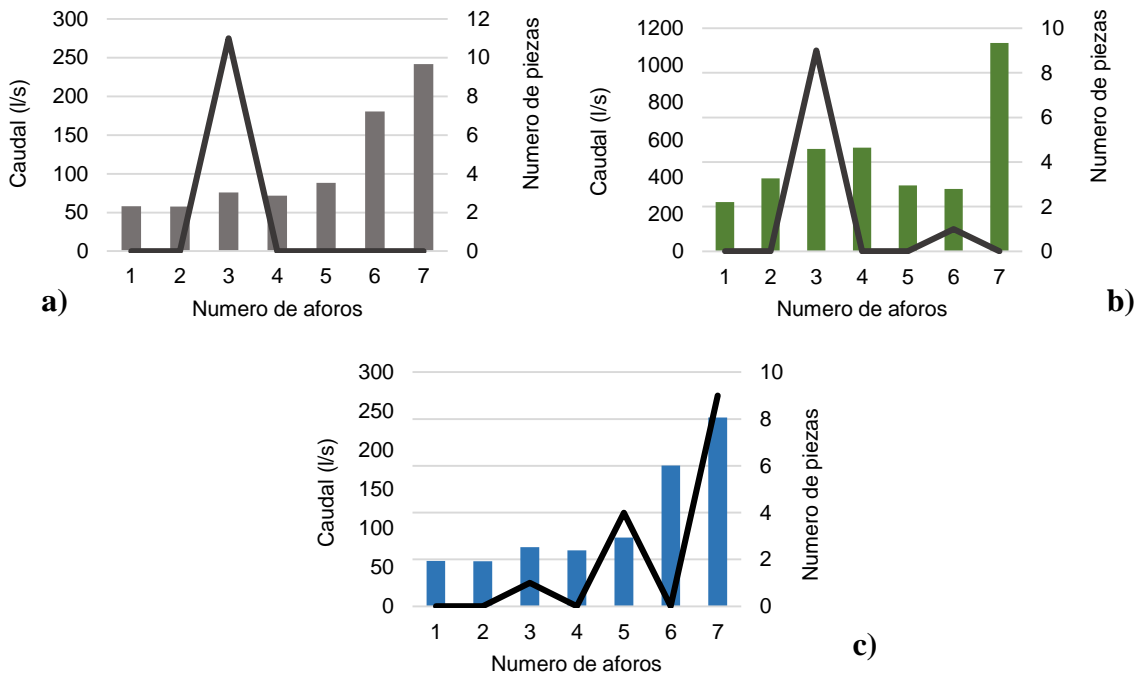
	Microcuenca		
	El Carmen	Volcán	Shucos
% de Piezas movilizadas (m, p)	23	21	32
Rango de diámetro	3,3 – 23 cm	4,9 – 12,7 cm	7,5 – 37,5 cm
Diámetro medio	8,9 cm	8,1	20,2
Rango de longitud	0,9 - 2,9 m	0,7 – 3,4 m	0,5 – 5,4 m
Longitud media	1,7 m	1,9 m	2 m
Distancia recorrida promedio (m)	340	154	240



**Anexo 3.** Precipitación diaria registrada en las estaciones El Carmen, Finca Jipiro-Alto y Colegio Militar



**Anexo 4.** Número de piezas de material leñoso movilizado respecto a los aforos de caudal medidos en las microcuencas Shucos (a), El Carmen (b) y El Volcán (c).



**Anexo 5.** Tipos de cobertura y uso del suelo en la zona de aportación de las microcuencas El Carmen, Volcán y Shucos.

	El Carmen		Volcán		Shucos	
	ha	%	ha	%	ha	%
Cobertura vegetal						
Páramo	0,78	3	-	-	0,19	1
Bosque	20,19	90	17,30	89	11,10	42
Tierras agrícolas	1,48	7	2,18	11	15,25	57
Zonas antrópicas	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>22,44</b>	<b>100</b>	<b>19,48</b>	<b>100</b>	<b>26,54</b>	<b>100</b>

**Anexo 6.** Desnivel y dimensiones máximas en cada tramo del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).

N. Tramo	Pendiente			Ancho máximo (m)			Profundidad máxima (cm)		
	EC	VO	SH	EC	VO	SH	EC	VO	SH
1	0,07	0,04	0,07	6	9	4,3	42	81	27
2	0,01	0,04	0,03	6,3	7,2	4,1	58	47	25
3	0,03	0,07	0,03	10,4	11,1	5	39	62	22
4	0,03	0,05	0,03	8	9,1	3,8	57	63	35
5	0,11	0,03	0,14	10,9	8,3	3,9	52	94	41
6	0,03	0,05	0,07	6,6	5,1	5,1	63	124	30
7	0,03	0,04	0,03	8,4	9,4	4,5	53	87	46
8	0,07	0,13	0,03	6,9	9,5	5,4	46	58	27
9	0,03	0,13	0,03	6,7	10,4	5,5	36	43	24
10	0,03	0,15	0,07	5,7	6,5	5,5	57	118	28
11	0,07	0,04	0,11	6	5,4	4,3	78	48	24
12	0,07	0,13	0,11	8,9	9,4	4,2	61	64	30
13	0,03	0,13	0,03	6	8,6	3,1	51	42	36
14	0,03	0,07	0,11	6,2	6,9	5	42	59	40
15	0,03	0,03	0,03	8,7	7,8	4,1	71	50	31
16	0,07	0,03	0,03	9	7,1	4,4	42	63	27
17	0,07	0,03	0,07	8,3	9,5	7,7	50	49	29
18	0,03	0,05	0,03	8,2	7,8	4,7	50	64	25
19	0,07	0,03	0,03	7,2	7,3	6	45	43	20
20	0,07	0,04	0,07	10,3	10,9	5,7	50	76	31
<b>Promedio</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>7,7</b>	<b>8,3</b>	<b>4,8</b>	<b>52,2</b>	<b>66,8</b>	<b>29,9</b>

**Anexo 7.** Características del material leñoso en cada tramo del segmento estudiado de las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).

N. Tramo	Volumen (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )			Diámetro medio (cm)			Longitud media (m)			Abundancia (pieza/sección)		
	EC	VO	SH	EC	VO	SH	EC	VO	SH	EC	VO	SH
1	-	86,7	230,1	-	7,1	6,7	-	2,8	3,4	-	4,0	9,0
2	-	189,4	-	-	7,4	-	-	4,5	-	-	6,6	-
3	-	105,5	39,3	-	8,8	9,1	-	2,5	2,7	-	4,4	1,3
4	178,2	170,0	-	12,7	23,7	-	1,6	3,3	-	10,3	3,3	-
5	-	105,6	-	-	14,9	-	-	6,6	-	-	1,0	-
6	6,0	69,0	403,4	5,6	10,4	17,2	3,2	1,9	2,7	0,9	4,6	4,0
7	-	113,8	176,7	-	10,9	-	-	2,4	2,1	-	5,0	2,5
8	-	162,8	251,8	-	11,5	33,0	-	3,5	5,4	-	4,0	1,7
9	12,7	194,5	110,2	6,6	16,6	37,5	1,5	3,0	2,2	1,0	4,6	1,0
10	51,8	120,3	499,5	7,1	8,2	20,5	3,3	4,2	2,8	2,0	4,6	3,9
11	33,0	490,0	11,8	-	24,5	18,0	-	7,7	1,0	2,1	2,0	0,3
12	35,6	47,3	-	13,9	7,0	-	2,2	2,6	-	1,0	2,4	-
13	-	-	104,6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9
14	31,6	18,8	249,9	10,3	5,9	41,6	2,3	2,6	2,5	0,9	1,0	1,0
15	58,6	77,4	-	22,9	10,5	-	2,0	1,9	-	3,0	3,0	-
16	134,3	-	538,1	9,9	-	23,8	1,9	-	3,4	9,1	-	1,3
17	54,4	83,6	128,7	-	8,9	17,0	-	2,9	4,0	0,7	3,0	2,9
18	107,6	57,4	10,7	8,3	7,2	16,5	1,8	2,5	1,5	5,7	3,7	2,0
19	266,9	-	72,1	35,2	-	21,0	2,7	0,0	1,3	2,0	-	2,0
20	46,6	115,8	162,3	6,4	28,5	10,4	2,3	2,7	1,4	4,3	2,0	4,3

**EC:** El Carmen, **VO:** Volcán, **SH:** Shucos

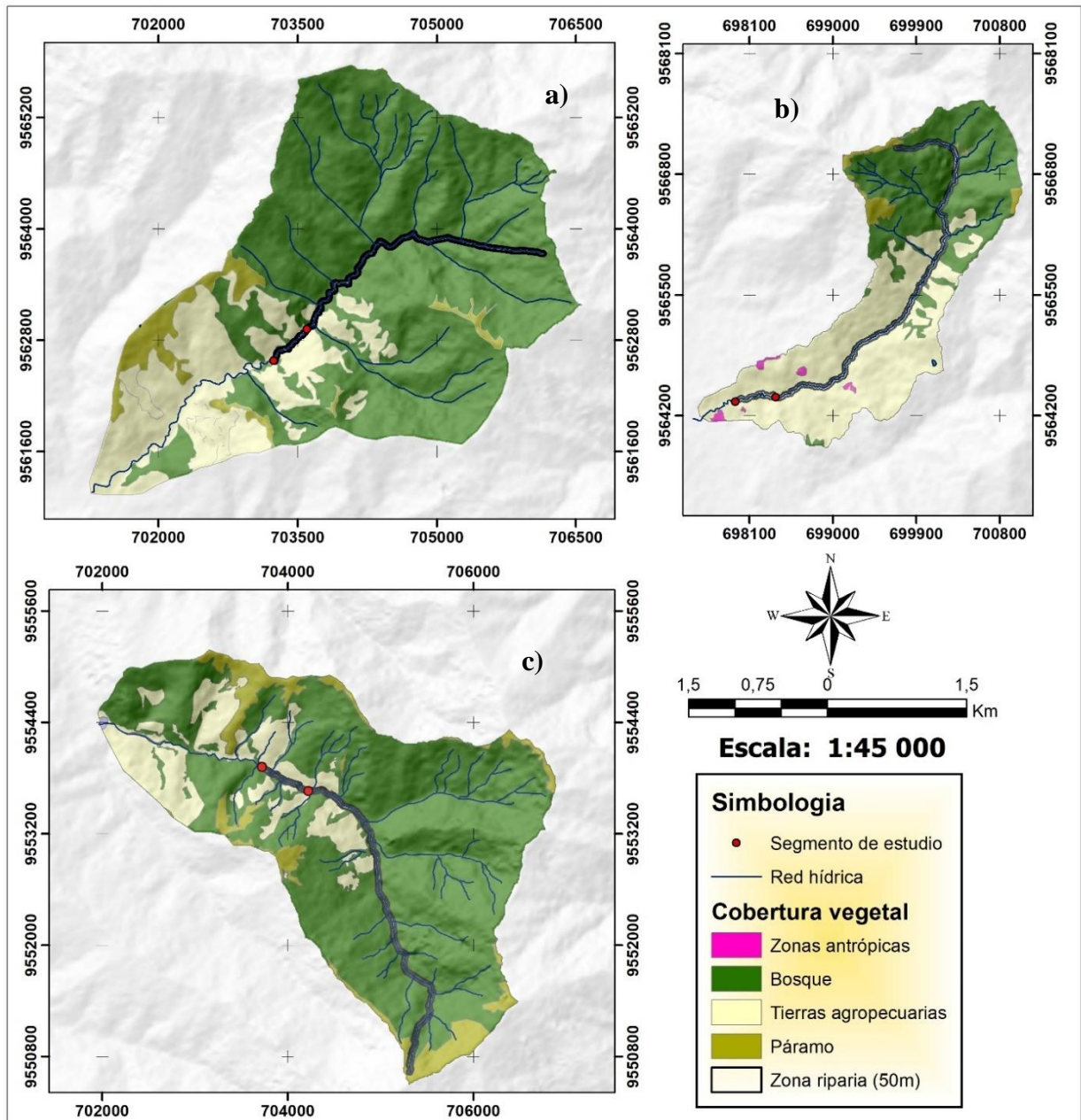
**Anexo 8.** Etiqueta metálica para referenciación de piezas colocada en pieza de leño.



**Anexo 9.** Pesaje de sal en laboratorio y medición de conductividad en campo con equipo multiparámetro.



**Anexo 10.** Mapa de cobertura y uso de suelo de las microcuencas Volcan, (a) Shucos (b) y El Carmen (c).



**Anexo 11.** Tipologías morfológicas en cada tramo del segmento de estudio en las microcuencas El Carmen (EC), Volcán (VO) y Shucos (SH).

N. Tramo	Profundidad media. (cm)			Ancho medio (m)			Morfología característica		
	EC	VO	SH	EC	VO	SH	EC	VO	SH
1	21,1	20,8	11,1	5,6	5,4	2,3	LP	EP, PR	PR
2	19,1	20,5	10,7	4,9	5,7	2,2	LP	PR	LP, PR
3	16,3	20,5	10,1	7,2	7,2	2,2	EP	PR	LP
4	22,0	20,3	10,3	5,9	5,4	2,1	EP, LP	LP	LP
5	18,3	32,5	14,0	5,4	3,9	1,8	PR, LP	EP	EP
6	21,9	38,8	10,7	5,2	2,7	2,2	PR, LP	EP	LP
7	23,4	25,6	19,9	6,3	5,1	1,7	PR	C	EP
8	19,8	22,0	10,3	4,3	7,8	1,9	PR	C	LP
9	18,8	19,6	9,9	4,2	8,2	1,9	PR	C	LP
10	25,4	29,9	11,5	4,2	3,6	1,7	LP	C	LP, EP
11	30,0	19,9	9,6	3,6	4,2	2,2	EP	EP	LP
12	23,4	22,8	9,7	4,7	6,4	2,8	EP, PR	LP	LP
13	24,9	16,8	10,9	4,6	5,3	2,0	EP	LP	LP
14	21,3	23,6	11,7	4,5	4,2	2,6	PR	LP	EP
15	23	19,9	9,6	4,5	6,7	1,8	PR	EP	LP
16	16,8	25,6	10,4	5,6	3,2	2,9	PR	PR	LP
17	18,7	19,5	14,1	4,9	5,7	2,4	EP	EP, PR	EP
18	20,9	17,47	9,2	4,6	4,4	2,0	EP	EP	LP
19	19,1	16,7	8,4	5,5	4,6	3,0	PR	LP	EP
20	20,3	25,9	8,8	8,2	6,5	2,8	EP, PR	LP	EP
<b>Promedio</b>	<b>21,2</b>	<b>22,9</b>	<b>11,0</b>	<b>5,2</b>	<b>5,3</b>	<b>2,2</b>			