



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Índice de retención y regulación hídrica de las principales
microcuencas del cantón Loja**

**Trabajo de tesis previo a la
obtención del título de
Ingeniera Agrícola**

AUTOR:

Roger Alexander Ramón Jaramillo

DIRECTOR:

Ing. Aníbal Eduardo González González Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 24 de marzo del 2022

Ing. Aníbal Eduardo González González. Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: "Índice de retención y regulación hídrica de las principales microcuencas del cantón Loja", previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de autoría del estudiante Roger Alexander Ramón Jaramillo, con cédula de identidad Nro. 1105992513, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



.....
Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Roger Alexander Ramón Jaramillo, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y 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 Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read "Roger Alexander Ramón Jaramillo". There are three small horizontal lines above the signature, and a hash symbol (#) is written below it.

Firma:

Cédula de identidad: 1105992513

Fecha: 23/02/2023

Correo electrónico: roger.ramon@unl.edu.ec

Teléfono: 0967885041

**Carta de autorización por parte del autor/a, para consulta, reproducción
parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de
Titulación.**

Yo, Roger Alexander Ramón Jaramillo, del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación denominado: “**Índice de retención y regulación hídrica de las principales microcuencas del cantón Loja**”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los veinte y tres días del mes de febrero del dos mil veinte y tres.

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature appears to read 'Roger Alexander Ramón Jaramillo'. Below the signature is a small hash symbol '#'. There are three horizontal lines above the signature, possibly indicating a scan or a specific format.

Firma:

Autor: Roger Alexander Ramón Jaramillo

Cédula: 1105992513

Dirección: Av. Eugenio Espejo entre Jibaros y Huancavilca (Barrio Capulí Loma)

Correo electrónico: roger.ramon@unl.edu.ec

Teléfono: 0967885041

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Aníbal Gonzáles González Mg. Sc.

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen Santísima por ser los guías en mí camino, y por brindarme la suficiente sabiduría y fortaleza, para lograr alcanzar mis objetivos propuestos y afrontar todas las dificultades que se me han presentado a lo largo de mi vida

A mis abuelitos Eudosio Ramón y Elena Jaramillo, a mi mamá Janina Ramón y mi tía Ana Ramón, quienes con su amor y apoyo incondicional a lo largo del camino me inspiraron a cumplir este sueño.

A mis tíos, primos, amigos y familiares que han compartido conmigo durante este proceso, ayudándome a encontrar el buen sentido a la vida.

Y finalmente quiero dedicarme este trabajo a mí, porque a pesar de todas las dificultades presentadas he tenido la suficiente fuerza y admiración de seguir adelante.

Roger Alexander Ramón

Agradecimiento

Al finalizar esta importante etapa de mi vida, le agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen Santísima, por ser mi guía de todos los días, por darme fortaleza y fuerza para seguir adelante. Mis más sinceros agradecimientos a todas y cada una de las personas que hicieron posible alcanzar este logro. Gracias a mis abuelitos Eudocio Ramón y Elena Jaramillo quienes con su esfuerzo y dedicación me impulsaron a conseguir este logro, a mi madre Janina Ramón y a mi tía Anita Ramón, Boris Ramón, Klever Ramón, Mayra Ramón, Dora Ramón, Enid Ramón y Franco Jaramillo y demás familiares por apoyarme en todo momento, brindándome su amor incondicional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las Ingenieras Daniela del Carmen Robles, Jackeline González, Jenyffer Correa y Marcia Saritama quienes me ayudaron de manera oportuna en el transcurso de los ciclos cruzados y a la vez en el desarrollo del presente trabajo investigativo.

A los Ingenieros e Ingenieras Oscar Juela, Jorge Jaramillo, José Merino, Fabián Sotomayor, Fanny Rodríguez, y Valeria Condo, por su oportuno aporte, en el desarrollo del presente proyecto.

También quiero aprovechar la oportunidad para agradecerle a Jhuliana Maza, Nelson Tocto y su esposa Leonor Saez, Gabriela Abad, Edison Michay, Mishel Zapata, María Estrada, Sulema Saritama quienes fueron mis compañeros y amigos, con quienes compartimos momentos buenos y malos, sin su apoyo durante todos estos años no habría sido posible conseguir este sueño.

A mi tutor de tesis el Ingeniero Aníbal González quiero expresar un inmenso agradecimiento por ofrecerme sus conocimientos, confianza y apoyo durante el desarrollo y desenlace del presente proyecto.

De manera especial agradecer a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola por sus conocimientos y experiencias brindadas durante los años de formación universitaria.

Roger Alexander Ramón

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Revisión de Literatura	7
4.1 Almacenamiento de agua en cuencas hidrográficas.....	7
4.2 Regulación hídrica en cuencas hidrográficas	8
4.3 La morfometría de las cuencas y su incidencia en la escorrentía.....	9
4.4 La función de la cobertura vegetal y el suelo como regulador del recurso hídrico.....	10
4.4.1 La vegetación y su influencia en la escorrentía.....	11
4.5 La función del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas	12
4.5.1 La precipitación.....	13
4.5.2 La evapotranspiración	14
4.5.3 La infiltración.....	15
4.5.4 La escorrentía	15
4.6 El agua subterránea y su relación con el agua superficial	17
4.7 Las curvas de duración general	18
4.8 Los caudales medios, máximos y mínimos	19
4.9 El índice de regulación hídrica, IRH	20

4.9.1. Investigaciones sobre el índice de retención y regulación hídrica	23
5. Materiales y Métodos.....	25
5.1 Ubicación.....	25
5.2 Materiales.....	27
5.3 Metodología.....	27
5.3.1 Metodología para el cumplimiento del Primer Objetivo.....	27
5.3.2 Metodología para el cumplimiento del Segundo Objetivo.....	33
5.3.3 Metodología para el cumplimiento del Tercer Objetivo.	39
6. Resultados.....	42
6.1 Análisis de los parámetros físicos y morfométricos de las principales unidades hidrográficas del cantón Loja.....	42
6.2 Cálculo del Índice de retención y regulación hídrica a partir de la curva de duración general.....	51
6.2.1 Análisis de la Precipitación media mensual de las microcuencas en estudio	51
6.2.2 Análisis de los Caudales Medios Mensuales de las Microcuencas en Estudio.....	59
6.2.3 Curva de duración general	66
6.2.4 Índice de retención y regulación hídrica	67
6.3 Cuencas seleccionadas para la intervención	70
6.3.1 Factores que influyen en la regulación hídrica	70
6.3.2 Propuesta de conservación de cuencas hidrográficas.....	71
7. Discusión	80
8. Conclusiones.....	86
9. Recomendaciones	88
10. Bibliografía.....	89
11. Anexos	105

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Calificación de los rangos de valores del índice de retención y regulación hídrica.</i>	20
Tabla 2. <i>Clasificación de áreas</i>	28
Tabla 3. <i>Clases de forma de las cuencas</i>	29
Tabla 4. <i>Clasificación de las pendientes medias</i>	30
Tabla 5. <i>Clasificación del orden de corrientes</i>	31
Tabla 6. <i>Densidad de drenaje para cuencas hidrográficas</i>	31
Tabla 7. <i>Clasificación de la pendiente media del cauce principal</i>	32
Tabla 8. <i>Interpretación del tiempo de concentración</i>	32
Tabla 9. <i>Códigos asignados a las variables del método racional</i>	36
Tabla 10. <i>Valores de C para el cálculo del escurrimiento</i>	36
Tabla 11. <i>Función que desempeñan las microcuencas del cantón Loja</i>	42
Tabla 12. <i>Parámetros morfométricos: área y perímetro de las unidades hidrográficas en estudio</i>	45
Tabla 13. <i>Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio</i>	46
Tabla 14. <i>Parámetros de relieve de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja</i>	47
Tabla 15. <i>Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja</i>	49
Tabla 16. <i>Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja</i>	50
Tabla 17. <i>Precipitación media mensual de las estaciones consideradas en el estudio para el periodo de 1990 a 2013</i>	52
Tabla 18. <i>Precipitación media mensual de las subcuencas del cantón Loja</i>	55
Tabla 19. <i>Precipitación media mensual de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico</i>	56
Tabla 20. <i>Precipitación media mensual de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico</i>	58
Tabla 21. <i>Coeficiente de escorrentía de las superficies hidrográficas en estudio</i>	62
Tabla 22. <i>Caudales medios mensuales de las Subcuencas</i>	62
Tabla 23. <i>Caudales medios mensuales de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico</i>	63

Tabla 24. <i>Caudales medios mensuales de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico</i>	65
Tabla 25. <i>Índice de retención hídrica de las microcuencas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico.</i>	69
Tabla 26. <i>Cuencas seleccionadas para la intervención.</i>	70

Índice de figuras

<i>Figura 1. Regulación hídrica en la microcuenca Jipiro</i>	9
<i>Figura 2. Representación del ciclo hidrológico</i>	13
<i>Figura 3. Principales tipos de precipitación: convectiva, orográfica y frontales.</i>	14
<i>Figura 4. Tipos de escorrentía</i>	16
<i>Figura 5. Curva de duración de caudales para río de alta pendiente.</i>	19
<i>Figura 6. Forma de la curva de duración de caudales</i>	21
<i>Figura 7. Representación gráfica de la curva de duración de caudales</i>	22
<i>Figura 8. Mapa base del cantón Loja</i>	26
<i>Figura 9. Clasificación y descripción de la curva hipsométrica</i>	30
<i>Figura 10. Diagrama de flujo para la obtención del coeficiente de escorrentía.</i>	37
<i>Figura 11. Representación del volumen V_t y V_p, en la curva de duración general.</i>	39
<i>Figura 12. Mapa de las vertientes que inciden sobre el cantón Loja</i>	43
<i>Figura 13. Mapas de las microcuencas principales que inciden sobre el cantón Loja</i>	44
<i>Figura 14. Curvas hipsométricas de las subcuencas del cantón Loja</i>	48
<i>Figura 15. Perfil del cauce principal de la subcuenca Alta del río Guayabal</i>	51
<i>Figura 16. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio</i>	53
<i>Figura 17. Mapa de precipitación media mensual de enero del cantón Loja</i>	54
<i>Figura 18. Histograma de precipitación media mensual del cantón Loja</i>	55
<i>Figura 19. Mapa de pendientes de la microcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el C_e</i>	59
<i>Figura 20. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el C_e</i>	60
<i>Figura 21. Mapa de permeabilidad del suelo de la subcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el C_e</i>	61
<i>Figura 22. Curva de duración general de caudales de las subcuencas</i>	67
<i>Figura 23. Mapa del índice de retención y regulación hídrica de las microcuencas del cantón Loja</i>	68
<i>Figura 24. Barreras vivas siguiendo las curvas de nivel.</i>	74
<i>Figura 25. Construcción de obras biomecánicas</i>	75
<i>Figura 26. Defensas vivas naturales</i>	76
<i>Figura 27. Esquema de un deflector de corriente.</i>	76
<i>Figura 28. Dique marginal encausamiento de un río</i>	77

Figura 29. Manejo adecuado de una cuenca hidrográfica.....	79
Figura 30. Perfil del cauce principal de la subcuenca Malacatos Sur.....	106
Figura 31. Perfil del cauce principal de la subcuenca Vilcabamba.....	106
Figura 32. Perfil del cauce principal de la subcuenca Chichaca.....	106
Figura 33. Perfil del cauce principal de la microcuenca Aguacolla.....	106
Figura 34. Perfil del cauce principal de la microcuenca Yangana.....	107
Figura 35. Perfil del cauce principal de la subcuenca Alta del Guayabal.....	107
Figura 36. Perfil del cauce principal de la microcuenca Malacatos Norte.....	108
Figura 37. Perfil del cauce principal de la microcuenca Las Mercedes.....	108
Figura 38. Perfil del cauce principal de la microcuenca Zamora Huayco.....	108
Figura 39. Perfil del cauce principal de la microcuenca Jipiro.....	108
Figura 40. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Salapa.....	109
Figura 41. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Las Pavas.....	109
Figura 42. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Santiago.....	109
Figura 43. Perfil del cauce principal de la Subcuenca San Lucas.....	109
Figura 44. Perfil del cauce principal de la Microcuenca Santiago.....	110
Figura 45. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Subcuenca Malacatos Sur.....	119
Figura 46. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Subcuenca Vilcabamba.....	119
Figura 47. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Subcuenca Chichaca.....	120
Figura 48. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Aguacolla.....	120
Figura 49. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Masanamaca.....	121
Figura 50. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca La Tuna.....	121
Figura 51. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Yangana.....	122
Figura 52. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Subcuenca San Lucas.....	122
Figura 53. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Santiago.....	123

Figura 54. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Malacatos Norte.....	123
Figura 55. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Las Mercedes	124
Figura 56. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Zamora Huayco.....	124
Figura 57. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Jipiro	125
Figura 58. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Zalapa	125
Figura 59. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Las Pavas.....	126
Figura 60. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Cenen	126
Figura 61. Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Shucus	127
Figura 62. Ejemplo del cálculo del IRH de la Subcuenca de Malacatos Sur.....	130
Figura 63. Visita de campo a la estación Moyococha	131
Figura 64. Visita a la Microcuenca Yangana	131
Figura 65. Cascada Escondida en Vilcabamba.....	131
Figura 66. Cultivos de la Subcuenca Vilcabamba	131
Figura 67. Visita a la Subcuenca Chichaca.....	132
Figura 68. Observación de la cobertura vegetal	132
Figura 69. Cobertura vegetal de las microcuencas	132
Figura 70. Visita a la Microcuenca Malacatos Norte	133
Figura 71. Visita a la Microcuenca el Carmen.....	133
Figura 72. Observación de la cubierta vegetal.....	133
Figura 73. Cubierta vegetal de la Microcuenca Shucus.....	133
Figura 74. Visita a la Microcuenca Zamora Huayco	134
Figura 75. Visita a la Cascada Jipiro	134
Figura 76. Visita a Santiago	134
Figura 77. Red hídrica de Santiago	134
Figura 78. Cobertura vegetal de San Lucas	135
Figura 79. Área poblada de la Parroquia Jimbilla	135

Índice de anexos

<i>Anexo 1. Curvas hipsométricas microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico .</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 2. Curvas hipsométricas microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 3. Perfiles del cauce principal de las sub y microcuencas de la vertiente del Pacífico</i>	<i>106</i>
<i>Anexo 4. Perfiles del cauce principal de las sub y microcuencas de la vertiente del Atlántico.</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 5. Longitud del cauce principal.....</i>	<i>110</i>
<i>Anexo 6. Mapa de pendientes del cauce principal de las sub y microcuencas del cantón Loja</i>	<i>111</i>
<i>Anexo 7. Mapa de densidad de drenaje de las sub y microcuencas del cantón Loja</i>	<i>112</i>
<i>Anexo 8. Análisis de consistencia de datos</i>	<i>113</i>
<i>Anexo 9. Mapa de precipitación media mensual del cantón Loja</i>	<i>117</i>
<i>Anexo 10. Mapas para la obtención del Ce en las unidades hidrográficas de la Vertiente del Pacífico</i>	<i>119</i>
<i>Anexo 11. Mapas para la obtención del Ce en las unidades hidrográficas de la Vertiente del Atlántico.....</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 12. Curvas de duración de caudales de las microcuencas de la vertiente del Pacífico</i>	<i>128</i>
<i>Anexo 13. Curvas de duración de caudales de las microcuencas de la vertiente del Atlántico</i>	<i>129</i>
<i>Anexo 14. Calculo sistemático del índice de retención y regulación hídrica.....</i>	<i>130</i>
<i>Anexo 15. Visita de campo a las microcuencas de la Vertiente del Pacífico</i>	<i>131</i>
<i>Anexo 16. Visita de campo a las microcuencas de la Vertiente del Atlántico</i>	<i>133</i>
<i>Anexo 17. Certificado de traducción del abstract.....</i>	<i>136</i>

1. Título

**Índice de retención y regulación hídrica de las principales microcuencas del Cantón
Loja**

2. Resumen

El cantón Loja es un territorio que posee pendientes muy abruptas, suelos superficiales y una escasa cobertura vegetal, por lo tanto, se ve afectado por procesos de erosión y degradación de suelos lo que ha ocasionado un déficit de humedad en sus cuencas hidrográficas, que en épocas de alta pluviosidad generan grandes crecidas que ponen en riesgo la infraestructura y la vida de las personas; y, en épocas de estiaje se generan caudales muy bajos que afectan la disponibilidad de agua con fines de riego y uso doméstico. Por tal motivo se formuló esta investigación que tiene como objetivo determinar el índice de retención y regulación hídrica, el mismo que permite evaluar la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales permanentes, cuyo resultado se da por la constante interacción del sistema suelo-vegetación, sus condiciones climáticas y sobre todo las características físicas y morfométricas de la cuenca, dicho análisis se realizó en 18 microcuencas estudiadas, 12 de ellas reflejaron índices menores de 0,65; que se interpretan como bajos y muy bajos; por lo tanto, se llega a la conclusión que se trata de superficies en donde se es necesario formular planes de manejo orientados a su rehabilitación, en la perspectiva de recuperar los recursos hídricos para un futuro sostenible, mientras que las seis restantes resultaron con índices superiores a 0,65 que representan rangos de moderada a alta regulación, las cuales no representan mayores cuidados por inundaciones y en época de sequía sus caudales permanecen permanentes. En este sentido, finalmente se plantearon propuestas para la restauración de las cuencas con mayor riesgo a través de su revegetalización, manejo y conservación de suelos, control de torrentes, actividades de ordenamiento y estrategias de capacitación ambiental, para poder revertir su funcionamiento de tal manera que estas unidades hidrográficas, vuelva a prestar los servicios ambientales y no sean un peligro para la ciudadanía, los bienes de las personas y la producción agrícola.

Palabras clave: Microcuencas, índice de retención, déficit de humedad, estudio hidrológico, revegetalización.

2.1. Abstract

The Loja canton is a territory that has very steep slopes, superficial soils and scarce vegetation cover, therefore, it is affected by processes of erosion and soil degradation, which has caused a moisture deficit in its hydrographic basins, which in periods of high rainfall generate large floods that put the infrastructure and people's lives at risk; and, in times of drought, very low flows are generated that affect the availability of water for irrigation and domestic use. For this reason, this research was proposed, which aims to determine the water retention and regulation index, which allows evaluating the basin's capacity to maintain a permanent flow regime, the result of which is given by the constant interaction of the soil-system. vegetation, its climatic conditions and, above all, the physical and morphometric characteristics of the basin, said analysis was carried out in 18 micro-basins studied, 12 of them reflected indices lower than 0.65; that are interpreted as low and very low; consequently, it is determined that these are surfaces where it is necessary to formulate management plans aimed at their rehabilitation, with the perspective of recovering water resources for a sustainable future, while the remaining six resulted with higher rates. to 0.65, which represent ranges from moderate to high regulation, which do not represent greater care due to flooding and in times of drought their flows remain permanent. In this sense, proposals were finally raised for the restoration of the basins with the greatest risk through their revegetation, soil management and conservation, torrent control, management activities and environmental training strategies, in order to reverse their operation in such a way. that these hydrographic units, return to provide environmental services and are not a danger to citizenship, people's assets and agricultural production.

Keywords: Micro-watersheds, retention rate, moisture deficit, hydrological study, revegetation.

3. Introducción

La capacidad de retención de humedad en las cuencas proviene del cálculo del índice de regulación hídrica (IRH), que se basa en la distribución de frecuencias de series acumuladas de caudales diarios, su importancia se refleja en la conservación de un régimen de caudales por parte de las cuencas, producto de la interrelación entre el suelo y la vegetación, además factores como las características físicas y morfométricas de la cuenca (Sánchez et al., 2010; García et al., 2010). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2019) realiza estudios basados en análisis de este indicador, que se relaciona con el régimen natural de las cuencas y califica cuantitativamente cuánta agua se puede retener y regular, pero depende de la forma de la curva de duración de caudales medios diarios (CDC), que permite marcar las zonas que escurren de forma más estable y la ocurrencia de caudales extremos.

A nivel global el crecimiento demográfico ha repercutido en los cuerpos hídricos que se encuentran cerca de las viviendas urbanas, provocando una disminución de su calidad además de una reducción del caudal antes proporcionado. Como resultado de la degradación del 33% de la superficie terrestre, los impactos relacionados con este recurso natural son particularmente notorios en el ciclo hidrológico e incluyen una evaporación más rápida de lo normal en las regiones áridas y la reducción de la humedad en las cuencas, lo que aumenta la precipitación y la escorrentía y provoca más inundaciones, como se evidenció en el año 2016 en la Cuenca Media de los Andes (Moreno, 2018; Vega et al., 2017; Cothler et al., 2007).

Las cuencas hidrográficas en el Ecuador son importantes debido a que intervienen en la generación de riqueza, ya sea agrícola o del sistema productivo, así como para la organización territorial y distribución equitativa de los recursos hídricos del país. La provincia de Manabí cuenta con seis humedales hidrológicos que benefician a algunas comunidades locales, de igual forma la cuenca del río Guayas se encuentran entre las unidades territoriales más significativas de la provincia desde el punto de vista socioeconómico, ya que albergan el 30% de la población nacional y la mayor variedad de producción agrícola (Rodríguez & Ramón, 2021; Muñoz & Bustos, 2021). La conducta hidrológica que se da en los caudales de los ríos se calculó a través de estos índices, en el territorio ecuatoriano en la mayoría de sus regiones se consta con información únicamente en estudios realizados solo para los principales afluentes.

La mayoría de las superficies hidrográficas en el territorio ecuatoriano se ven afectados por la poca retención de humedad debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos y al

manejo inadecuado en áreas de conservación, lo que provoca dificultades en su ciclo hidrológico, el deterioro de estas avanza aceleradamente para lo cual es preciso establecer planes de manejo y conservación como la gestión integral de los recursos hídricos, lo que ha garantizado de esta manera su disponibilidad y a su vez evitar en lo más mínimo la erosión e inundaciones que se producen en épocas de lluvia y escases del agua en periodos de estiaje (Cuenca, 2015).

El cantón Loja comprende las vertientes del Pacífico y del Atlántico en donde destacan las subcuencas: Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Vilcabamba, Chichaca y San Lucas, y a su vez las microcuencas de Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, Santiago, Malacatos Norte, Las Mercedes, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa, Las Pavas, Cenen y Shucus, sin embargo, existen varios factores que afectan la retención de humedad, así como también la disponibilidad del suministro hídrico, el manejo inadecuado de las áreas de conservación, la intervención de la mano del hombre la cual se da específicamente por la expansión de la frontera agrícola hacia los páramos y zonas boscosas, la contaminación y cambios ambientales. Por ende, es necesario conocer cuál es el índice de retención y regulación hídrica del área estudiada, ya que más del 50% de las cuencas indican que son unidades hidrográficas con bajos niveles de almacenamiento hídrico, esto permitió saber el estado de conservación de estas.

Las microcuencas del cantón Loja sirven para uso doméstico y riego, es importante tener en cuenta los afluyentes de agua que las conforman, así como su disponibilidad, lo que permite categorizar las zonas con baja retención de humedad, que son afectadas en su ciclo hidrológico por altas precipitaciones, poca cobertura vegetal, altas pendientes y texturas del suelo que provocan escorrentías superficiales y por ende erosión e inundaciones en época lluviosa, por su parte aquella lluvia que no se infiltró no permite que se recarguen los acuíferos mismos que se ven afectados en periodos de estiaje o época de escasez del agua. (Muñoz, 2013).

Previo al análisis de la problemática expuesta, se efectuó el estudio para contribuir al conocimiento del estado en qué se encuentran las diferentes microcuencas del cantón Loja, lo cual consintió en la generación y proporción de una base de datos geográfica que sirvió de línea base y a la vez permitió entender los regímenes hidrológicos y ecológicos que se presenta, por el cambio climático, así mismo los efectos que tuvo el incremento o decremento de caudal en las zonas de estudio, dicha valoración se dio con el propósito de mejorar su aprovechamiento y conservación, por medio de información disponible que tiene cada una de ellas, en base a métodos empíricos.

La investigación consintió en crear y corroborar información con respecto al funcionamiento de la retención y regulación hídrica en las cuencas estudiadas, debido a que son solo estimaciones que podrán ser utilizados como referencias y a su vez poder realizar las respectivas comparaciones con nuevas investigaciones. Se espera que en un futuro se cuenten con datos puntuales y estadísticas propias de la zona, de modo que esto permita confirmar o no la autenticidad de los resultados que se conseguirán.

Considerando todos los elementos, este estudio permitirá generar diferentes aportes de vital importancia, no solo para la Universidad Nacional de Loja, con enfoque en el área del manejo y conservación de los recursos hídricos como tal; si no en el cálculo de la estimación aprovechamiento y manejo integral de las cuencas; por medio del análisis de información a través de métodos empíricos permitirá comprender el análisis hidrometeorológicos del área de estudio, y a su vez con esto se pretender conocer las zonas de menor regulación hídrica, en la cual se realizará la ejecución de lineamientos estratégicos que ayuden a rehabilitar y conservar el recurso hídrico en el cual se vean inmersos instituciones como Ministerio de Agricultura y Ganadería Acuacultura y Pesca, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

En base a lo expuesto anteriormente se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo General:

- Contribuir al conocimiento del estado de conservación de las cuencas hídricas del cantón Loja, a través de la determinación del índice de retención y regulación hídrica.

Objetivos Específicos:

- Identificar las principales microcuencas del cantón Loja, para el análisis de sus parámetros físicos y morfométricos.
- Determinar los índices de retención y regulación hídrica, de las microcuencas identificadas, sobre la base de la generación de la curva de duración de caudales.
- Formular lineamientos estratégicos para la recuperación de las cuencas con índices de regulación hídrica bajos.

4. Revisión de Literatura

En el presente capítulo se especifican fundamentos teóricos sobre temas de regulación hídrica en cuencas hidrográficas, la vegetación y su influencia en la escorrentía, índice de regulación hídrica, estimación de la escorrentía, curvas de duración general, caudales máximos y mínimos, que permitan impulsar el conocimiento de cómo se manifiestan e influyen en las microcuencas del cantón Loja.

4.1 Almacenamiento de agua en cuencas hidrográficas

La importancia de las cuencas hidrográficas en el desarrollo de una sociedad es esencial por los diferentes servicios ecosistémicos que brinda, entre los que destaca el suministro de agua dulce el cual se destina a varios usos como doméstico, agrícolas e industrial, debido a la problemática de escases y el déficit del recurso hídrico es importante tener en cuenta que la alteración de estos cuerpos modifica la dinámica hidrológica y causa efectos sobre los componentes internos de estas áreas (Borrero et al., 2020). La capacidad de infiltración y almacenamiento de agua en unidades hidrográficas es drásticamente afectada por la deforestación y cambios en el uso del suelo, todo lo contrario, sucede cuando las características del suelo son las adecuadas, como es el caso que se da en los sistemas de montaña, y con la elevada precipitación propia de la zona se almacena y reside por largos periodos de tiempo garantizando la disponibilidad y abastecimiento continuo de agua para las poblaciones ubicadas en las partes más bajas de las cuencas, sobre todo en los meses más críticos del año (Guzmán, 2017; Muñoz-Villers et al., 2015).

La Comisión Nacional del Agua en sus siglas (CONAGUA) en el 2015 manifiesta que el almacenamiento de agua en cuencas, particularmente en lo que se refiere a aguas subterráneas, ha jugado un papel estratégico en el desarrollo socioeconómico del país por sus características físicas, que permiten su uso flexible como sistemas de almacenamiento y distribución, permitiendo la extracción de agua en cualquier época del año desde diferentes lugares de la superficie del acuífero, también funcionan como filtros de purificación de agua, preservando la calidad de esta.

La cantidad de agua que ingresa a la cuenca se da principalmente por el agua de lluvia y las fuentes que vienen de los acuíferos, mientras que la salida del agua se da por la infiltración a través del suelo y el flujo del cauce principal y el agua almacenada es equivalente al agua que se acumula en los páramos depósitos, embalsamamientos y lagos de la cuenca (Bateman, 2007).

4.2 Regulación hídrica en cuencas hidrográficas

El término regulación hídrica se refiere a la infiltración, retención y almacenamiento de agua en ríos, lagos y océanos, donde la infiltración se realiza principalmente a través de la vegetación y el suelo, la diversa gama de funciones hidrológicas proporcionadas por los ecosistemas terrestres es crucial para el bienestar humano, en donde se destaca las características del suministro de agua, la regulación del caudal para reducir las inundaciones y la sedimentación, el mantenimiento del caudal durante las estaciones secas, la purificación del agua y el control de la erosión (De Groot et al., 2002).

Para comprender este proceso en los sistemas hidrológicos, se parte del concepto de cuenca hidrológica, la cual se define como un sistema complejo y abierto que sufre un ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos e institucionales varían en el tiempo (Vásquez et al., 2018) manifiesta que los cambios de coberturas naturales producidos e inducidos por las actividades productivas y ocupación humana afectan de manera secuencial a los servicios ecosistémicos especialmente la capacidad de regulación hídrica (Álvarez et al., 2021).

La facultad que tienen las cuencas hidrográficas para captar y almacenar el agua de lluvia de las tormentas, reducir las inundaciones directas e indirectas se conoce como regulación hídrica, el agua se libera de forma gradual, manteniendo el flujo de agua a través de la zona seca, lo que permite se sistematice el ciclo hidrológico, dando como resultados caudales de base más grandes y un período de tiempo más largo antes de que el cauce comience a disminuirse, en zonas con régimen de precipitaciones estacionales este servicio es crucial porque permite que las fuentes de agua permanezcan operativas durante los meses críticos. A mayor altitud, el agua es almacenada y regulada por la nieve, hielo, los lagos, lagunas y ciénagas que se encuentran a lo largo de la cordillera también cumplen este propósito de forma natural. Los suelos con alto contenido orgánico, cubierta vegetal conservada y microtopografía formada por la glaciación más reciente permiten el almacenamiento de mucha agua en la superficie del suelo a poca profundidad (Chávez, 2015), todo este proceso se ve demostrado mediante la Figura 1.

Figura 1.

Regulación hídrica en la microcuenca Jipiro



Fuente: Gonzaga (2019).

4.3 La morfometría de las cuencas y su incidencia en la escorrentía

El análisis morfométrico permite conocer el conjunto de variables lineales, de superficie, relieve y drenaje; las características físicas que se dan en las cuencas, en donde se puedan realizar comparaciones entre varias unidades hidrográficas, así como la interpretación de su función hidrológica, a través de este estudio se podrá generar los diferentes planes de manejo y conservación. La morfología específica de las mismas está correlacionada con la probabilidad de convergencia y respuesta a eventos climáticos, como la escorrentía superficial expresada en caudales, el impacto en el transporte de sedimentos, y nutrientes a través de los ecosistemas que lo componen. Las tipologías físicas de una cuenca tienen una relación inusual con el comportamiento de los caudales que las atraviesan y el funcionamiento de una cuenca es similar al de un colector que recoge la precipitación y convierte parte de ella en escurrimiento dicha transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca (Gaspari et al., 2012).

Los parámetros morfométricos presentes en una cuenca sirven para entender la fisiografía la cual es importante en el análisis hidrológico relacionado a la erosión, sedimentación y conducta de recarga y descarga de agua (Robleto, 2014). La respuesta hidrológica de una cuenca está influenciada por las características morfométricas, la precipitación, cobertura, uso y propiedades del suelo, clima, geomorfología factores socioeconómicos y actividades humanas que interactúan en las cuencas, lo que ocasiona una

serie de variaciones en el proceso de escorrentía alterando su aumento o disminución dicha alteración genera procesos de contaminación, erosión y sedimentación (Muñoz , 2018; Knox, 2001; Jiménez, 2005).

La Morfometría de las cuencas es muy útil para determinar la simetría de los caudales de varios tamaños. Según Ruiz (2001) este estudio consiste en aplicar los resultados de modelos a pequeña escala a prototipos a gran escala y realizar las comparaciones necesarias (Chow et al., 1994).

4.4 La función de la cobertura vegetal y el suelo como regulador del recurso hídrico

La definición de cubierta vegetal es la capa natural de vegetación que cubre la superficie de la tierra, esta definición incluye una amplia gama de biomásas con diversas características fisicoquímicas y ambientales, que van desde pastizales hasta regiones cubiertas de bosques naturales. El término “coberturas vegetales” también se refiere a las que son inducidas de forma artificial por el hombre, tales como áreas de cultivo, en el caso específico de los bosques, juegan un papel significativo en la preservación ambiental debido a que mantienen la estabilidad climática, regulan los climas locales y globales y, lo que es aún más importante, su apoyo a la preservación de los suelos al prevenir la erosión, además, sirven como hábitat para numerosas especies de plantas y animales (Bennett, 1999).

Cabe señalar que la mayor recuperación hidrológica ocurre en presencia de una cubierta vegetal multicapa, ya que esta ayuda a la conservación de las propiedades del suelo, lo que a su vez facilitará la recuperación. Tanto el uso de la superficie como el cambio de este inciden en el deterioro de las características físicas (erosión y compactación), así como en la reducción de la capacidad de infiltración y drenaje hídrico (Matus et al., 2010).

El tipo de cobertura vegetal agrupada al uso del suelo influye en la textura de este y establece la estructura edáfica que a su vez varía sus propiedades hídricas (Kavian y et al., 2014). A nivel de cuenca las constantes transformaciones que se dan en el uso del suelo ocasionan pérdidas de materia orgánica, aumento de la densidad y erosión del suelo, disminución en la continuidad de los flujos hídricos e incremento de la escorrentía superficial (Wei et al., 2007; Martínez et al., 2008; Dominati et al., 2010)

Según el Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2005) en cuanto a la relación que existe entre el suelo y la vegetación, manifiesta que: los suelos permeables facilitan la recarga de los acuíferos, pero los suelos impermeables o compactos impiden o dificultan la infiltración o reposición hídrica. Por su parte, la vegetación reduce la escorrentía superficial, permitiendo

que más agua entre en contacto con la superficie y acelerando el proceso de infiltración. Por otro lado, parte de la lluvia que cae se deposita en la vegetación a modo de intersección, teniendo en cuenta la profundidad radicular y la capacidad de retención vegetativa.

Los cambios en la cobertura vegetal originan pérdidas de materia orgánica, aumento en la densidad y erosión del suelo, disminución en la continuidad de los flujos hídricos e incremento de la escorrentía superficial (Rodríguez et al., 2009). Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos bajo la cubierta forestal son especialmente adecuadas para suministrar agua de alta calidad a los arroyos y regular la hidrología de las cuencas hidrográficas; su alto contenido de materia orgánica promueve una microfauna rica y diversa; los sistemas radiculares que están debajo de estas áreas son extensas y relativamente profundas en comparación con las tierras agrícolas y pastizales; en conjunto, estas circunstancias biológicas generan suelos con alta macroporosidad, baja densidad aparente, conductividades hidráulicas altamente saturadas y elevadas tasas de infiltración (Neary et al., 2009)

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación [CNULD] (2010) manifiesta que la disponibilidad y el suministro de agua puede verse gravemente afectados por una gestión inadecuada del uso de la tierra, así como cambiar su ciclo del agua en las zonas secas, la reducción de biomasa y hojarasca en la superficie disminuye drásticamente la infiltración de agua en el suelo, lo que se traduce en un importante escorrente. La pérdida de humectación del suelo y la baja recuperación de los niveles de agua subterránea son causados por la superficie desnuda, y las áreas secas de la tierra reaccionan de manera que las hace particularmente sensibles a las alteraciones en los ciclos del agua y la biomasa, la mala gestión de los servicios de regulación y apoyo está afectando gravemente a ambos sectores

4.4.1 La vegetación y su influencia en la escorrentía

La cantidad de cobertura vegetal y el uso del suelo afectan el equilibrio hidrológico y la producción de escorrentías, respectivamente (González, et al., 2016). Tanto el proceso de infiltración como el desarrollo de la escorrentía superficial están influenciados por la vegetación, incluyendo su densidad, estructura, altitud, etapa de crecimiento y duración. Debido a cambios en las propiedades hidrofísicas del suelo, la sustitución de la vegetación natural provoca cambios significativos en el régimen hidrológico de las cuencas de alta montaña (Tobón, 2009). Según estudios realizados en cuencas de abastecimiento de agua, hay menos escorrentía en las zonas donde hay bosques que en las zonas donde existe poca vegetación (Scott & Lesch, 1997).

Una mayor cobertura vegetal permite mayores tiempos de contacto del agua con la superficie del suelo, lo que favorece la infiltración del agua, se reduce la cantidad de evaporación superficial, como resultado, una parte de la lluvia es atrapada por la cubierta vegetal (se debe tener en cuenta la profundidad, densidad y capacidad de retención). La principal y más importante fuente de abastecimiento de agua para los distintos cursos de agua subterráneos, manantiales y embalses es la lluvia; sin embargo, actividades como la agricultura, ganadería, producción forestal, planificación urbana e industrial alteran las características de las zonas de recarga hídrica dificultando con ello la infiltración del agua, ya que al dejar descubierto el suelo producto de la erosión, compactación e impermeabilización se genera una mayor escorrentía superficial, lo que ocasiona que se disminuya la recarga de los acuíferos, esto afecta la calidad del agua, haciéndola frecuentemente no apta para el consumo humano u otros usos como el riego, también baja el nivel de las aguas subterráneas (Matus et al., 2009).

4.5 La función del ciclo hidrológico en las cuencas hidrográficas

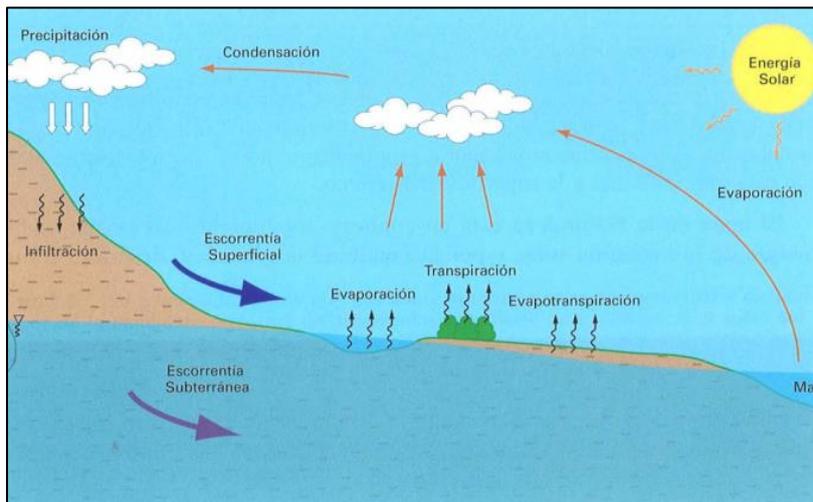
Según Gutiérrez (2014) el ciclo hidrológico se refiere al movimiento del agua, que puede ser de forma ascendente por evaporación de las aguas de los océanos, el vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento que en diversas condiciones forma nubes las cuales pueden ocasionar precipitaciones que conjuntamente con la escorrentía superficial y subterránea se transforman en forma descendente.

El fenómeno que comprende una serie de procesos producidos fundamentalmente por la energía solar, movimiento y transferencia de agua en la Tierra a través de cuerpos de agua, océanos y en la atmosfera se denomina ciclo hidrológico, el cual sirve para el abastecimiento ya sea de plantas, animales y el ser humano (Ramírez, 2018). No existe un punto de partida único para el ciclo del agua en la tierra, pero está claro que se basa en todos los estados del agua (sólido, líquido y gaseoso), los cuales existen en la naturaleza y son significativos en términos de recursos humanos, se debe tener en cuenta la relación entre el ser humano con el medio ambiente y su impacto (Bateman, 2007).

Ordoñez (2011) define el ciclo hidrológico como la sucesión de etapas por las que pasa el agua en su viaje desde la Tierra a la atmósfera y viceversa; evaporación del suelo, de las aguas oceánicas o continentales, formación de nubes, precipitación, acumulación de agua en el suelo o masas de agua y su posterior evaporación, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2.

Representación del ciclo hidrológico



Fuente: Marínez et al., (2006)

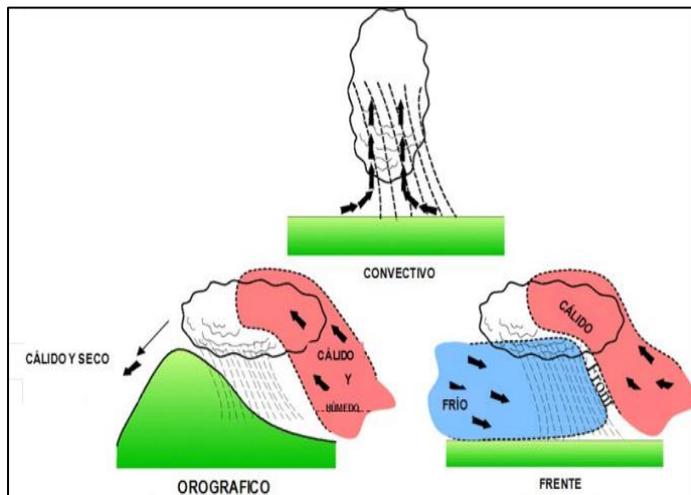
4.5.1 La precipitación

La precipitación se refiere a todas las formas de humedad que se liberan de la atmósfera y se depositan en la superficie terrestre, incluidas la lluvia, la nieve, el hielo, rocío, el granizo, la neblina. Para la formación de esta, se requiere la elevación de una masa de agua a la atmósfera la cual se debe enfriar y parte de su humedad se condensa, los tres mecanismos principales para elevación de masas de aire se visualizan en la Figura 3 (Saénz, 1999; Chow et al., 1994). Este fenómeno se caracteriza por la variación espacio – temporal de los recursos hídricos y sus cambios afectan a la hidrología y disponibilidad del agua (Buttafuoco et al., 2011)

Musy (2001) denomina a la precipitación a toda agua meteorológica que cae sobre la superficie de la tierra, ya sea líquida (llovizna, lluvia, etc.), sólida (nieve, granizo, etc.) u oculta (rocío, blanca helada, etc.). Son provocados por un cambio en la presión y la temperatura, la única entrada principal a los sistemas hidrológicos continentales es la precipitación. Se clasifica en tres tipos de precipitación, los cuales son: convectivas, orográficas y frontales.

Figura 3.

Principales tipos de precipitación: convectiva, orográfica y frontales.



Fuente: Musy (2001).

4.5.2 La evapotranspiración

Según Vásquez (2000) la definición de evaporación es la transición del agua de un estado líquido a gaseoso, esta transformación tiene lugar cuando algunas moléculas de agua adquieren la energía cinética necesaria para salir por sí solas de la superficie del agua. Los dos factores principales que afectan la evaporación desde una superficie abierta son la disponibilidad de energía para suministrar el calor latente de vaporización y la capacidad de alejar el vapor de la superficie de evaporación. Cuando se trata de evaporación fisiológica o transpiración, este es el resultado del proceso biológico y físico a través del cual el agua cambia de estado y viaja a través del metabolismo de la planta hacia la atmósfera.

La evapotranspiración se refiere al proceso de combinación de la evaporación desde la superficie terrestre con la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que intervienen en este proceso son: el suministro de energía y el transporte de vapor, además la humedad que se da en la superficie de evaporación es considerado como un tercer factor, a medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración se reduce por debajo del nivel que generalmente se presenta en un suelo húmedo (Chow et al., 1994). En hidrología, existe interés en comprender la evapotranspiración de los cultivos, que puede calcularse indirectamente utilizando la idea de evapotranspiración potencial (ETP), la cual se produce cuando la humedad del suelo y cobertura vegetal se encuentran en condiciones estándar u óptimas (Thornthwaite, 1948).

El agua que se infiltra logra ser absorbida por la vegetación y regresa a la atmósfera por procesos de transpiración (T). El término evapotranspiración (ET) se emplea para designar a la

suma de transpiración de la vegetación y pérdida por evaporación de la superficie mostrada de un dosel húmedo. La evaporación de la hojarasca y la superficie del suelo en bosques húmedos tropicales son prácticamente despreciables (Gaspari et al., 2013). La evapotranspiración, es el resultado de agua transformado en vapor por la cubierta vegetal; incluye la evaporación del suelo y el agua interceptada, además de la transpiración por los estomas de las hojas (Ordoñez, 2011).

4.5.3 La Infiltración

Infiltración es la entrada de agua en el suelo, la velocidad máxima a la que el agua puede penetrar en la superficie del suelo se conoce como capacidad de infiltración (es la cantidad de agua que el suelo es capaz de absorber por unidad de tiempo se expresa en mm/h, cm/min o cm/h). El estado del horizonte superficial del suelo, cuyas condiciones determinan si las precipitaciones se escurren o no, está sujeto a la infiltración. Otra definición que se le puede dar a esta terminología consiste en el movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por la gravedad, se denomina infiltración; el agua acumulada en los poros del suelo es utilizada por las plantas, o también se puede desplazar hacia las capas más profundas del suelo en donde alimenta a los acuíferos (Saénz, 1999; Matus et al., 2009).

Es el proceso por el cual el agua se transfiere desde la superficie del terreno hacia las profundidades, según la morfología y composición del suelo, una infiltración saturada o no saturada es posible, ambos son procesos bastante diferentes. El otro fenómeno está influenciado por las reacciones fisicoquímicas que tienen lugar entre el material y el agua, mientras que el primero depende únicamente de la Ley de Darcy, uno de los más significativos es el fenómeno físico de la tensión superficial, esta es la responsable del movimiento significativo de una gran cantidad de sales se mueva dentro del interior del suelo o del terreno (Bateman, 2007).

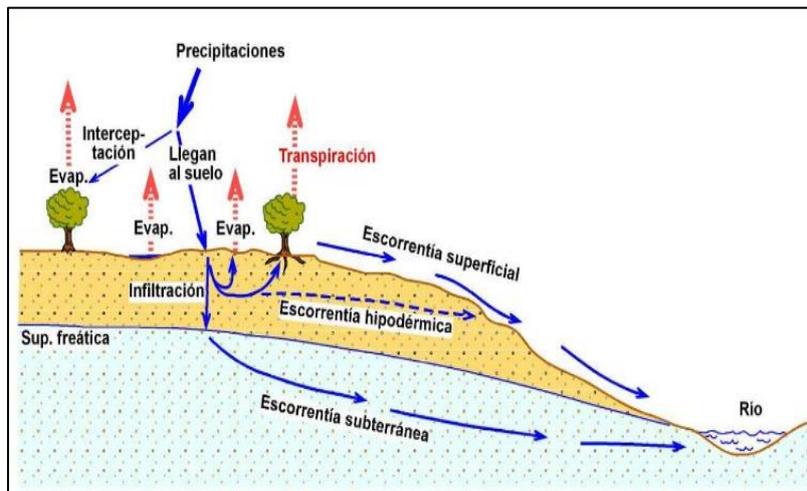
4.5.4 La escorrentía

La escorrentía es la cantidad de agua de riego, deshielo o de precipitación que supera la capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo, cuando esto sucede el agua fluye en sentido longitudinal a la pendiente y desemboca en quebradas, ríos, lagos, arroyos, embalses y océanos. Este término también se puede utilizar para describir el agua de las precipitaciones que no se evapora ni penetra, escurre superficialmente en forma de “escorrentía directa” y fluye directamente a la superficie de la tierra poco después de una precipitación. También incluye la “escorrentía subsuperficial”, que es la escorrentía que alimenta los cauces en época de estiaje (Ordoñez, 2011; Matus et al., 2009).

El agua líquida que se desliza por las pendientes de un terreno se “denomina escorrentía; la cual se presenta en los diversos climas y desiertos, dicho fenómeno es el agente principal que provoca erosión y transporte de sedimentos (Cuenca, 2015). La escorrentía se define como el agua derivada de las precipitaciones que llega a las corrientes superficiales de una cuenca y las alimenta (Breña & Jacobo, 2006). La Figura 4 muestra los tres componentes de la escorrentía.

Figura 4.

Tipos de escorrentía



Fuente: Acadity (2021).

Según Vásconez et al., (2019) realiza la clasificación de los tipos de escorrentía de la siguiente forma:

Escorrentía Superficial: Porción más rápida de la escorrentía, no penetra e infiltra en el suelo en ningún punto y se desplaza por la superficie de este por efecto de la gravedad. La escorrentía directa es el producto de la combinación de la escorrentía superficial y subsuperficial rápida

Escorrentía Hipodérmica: Parte de la escorrentía que se infiltra y se mueve a través de la capa superficial del suelo reaparece en la superficie como manantiales Se puede dividir en dos flujos: lento y rápido.

Escorrentía Subterránea: Porción más lenta de la escorrentía es la porción subterránea, que se infiltra y alcanza el nivel freático antes de llegar a la red de drenaje principal; en unión con la escorrentía subsuperficial lenta se conocen como la escorrentía base. El indicador más popular

de escorrentía en los modelos hidrológicos es el coeficiente de escurrimiento, este se define como la relación entre el volumen total escurrido y el volumen total de precipitación. Generalmente, este coeficiente se puede encontrar en Tablas según la pendiente, cobertura vegetal y permeabilidad del suelo, el hidrograma, que es un gráfico que muestra la evolución del caudal, debe ser elaborado para analizar o estimar el escurrimiento superficial provocado por una precipitación intensa en una cuenca

4.6 El agua subterránea y su relación con el agua superficial

Según Ordoñez (2011) define el agua subterránea como la porción de agua que se encuentra bajo la superficie terrestre y que puede ser recuperada mediante excavaciones, drenajes o desagües naturales provocados por manantiales o goteras a lo largo de los cauces de los ríos.

Las aguas subterráneas poco profundas se pueden captar por medio de calicatas, galerías siendo la perforación de pozos profundos el método principal para su extracción, la relación entre las aguas superficiales y subterráneas se debe a que ambas son parte del mismo ciclo hidrológico que se encuentran formando el ciclo general del agua. Esto comienza con la evaporación del agua de los océanos y mares debido a la energía solar y termina con la lluvia, que penetra en la superficie de la corteza terrestre la cual llena los deslizamientos de tierra y las fisuras del suelo. Finalmente, la relación entre las dos aguas sugiere que las aguas subterráneas eventualmente serán retenidas, ya sea directa o indirectamente, y seguirán un curso de nivel superficial, es posible que los sistemas subterráneos comiencen con agua superficial, la distinción es crucial para un sistema de tratamiento de desechos acuosos y para numerosos estudios hidrogeológicos (Perdomo & Pérez, 2018).

Los dos tipos de aguas están íntimamente relacionados porque, de manera regular, las aguas subterráneas se airean en manantiales y mantos para continuar sus viajes superficiales, y en otros casos, las aguas superficiales se infiltran y eventualmente se vuelven parte de las aguas subterráneas. Muchas veces, los ríos superficiales sirven como desvío natural de los ríos subterráneos, razón por la cual las corrientes continúan transportando agua a pesar de que pasan largos períodos de tiempo sin llenarse. Esta correlación entre agua superficial y agua subterránea se evidencia en el curso de muchos afluentes, cuando el agua fluye por el alvéolo de un cauce colocado sobre suelo poroso no consolidado, una parte del caudal llena los poros del suelo, formando un manto subalveolar que discurre a la par del río superficial, como resultado, un río subterráneo se ve alimentado por un río superficial, moviéndose

considerablemente más lento que el anterior, cuando el nivel del agua está por debajo de la superficie del cauce, toda el agua es considerada como subterránea (Fuentes, 2002).

4.7 Las curvas de duración general

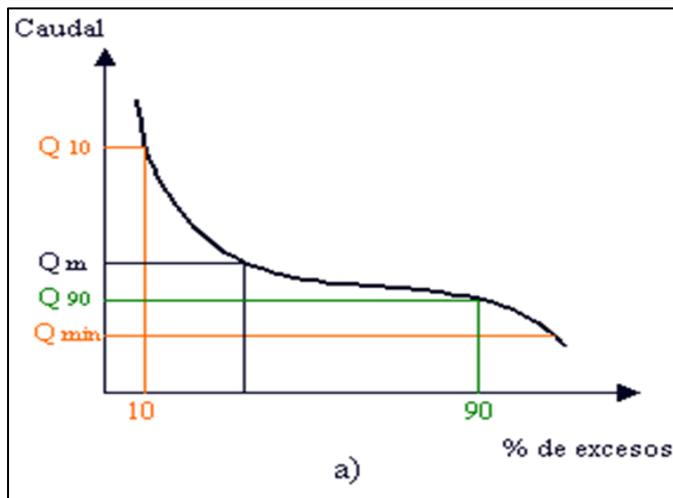
La curva de duración nos muestra el porcentaje de tiempo que se han igualado o superado los caudales, además, proporciona el valor del caudal en relación con la frecuencia con la que se produce. Esta curva también se denomina curva de persistencia o curva de caudales categorizados, y se puede construir utilizando una frecuencia de la serie histórica de caudales que son diarios, mensuales, anuales etc., el análisis de estos datos sirve como base en la ubicación de una captación o suministro de agua. La curva representa el régimen de caudales medios de un cauce, si los valores obtenidos de las estaciones hidrométricas son suficientemente fuertes o grandes se puede utilizar para predecir el comportamiento del régimen de caudales en el futuro el cual mostrará la vida útil de la captación (Gutiérrez, 2014).

Según González (2001) la curva de duración de caudales se utiliza con frecuencia en los estudios de aprovechamiento de los ríos ya que muestra el porcentaje de tiempo que un determinado valor de caudal es igual o superior, dependiendo de las necesidades del proyecto, también se aprovecha esta información para definir un caudal ecológico que se puede construir de forma anual, mensual, estacional o diaria. Además, esta curva se aplica para determinar la capacidad de un río para satisfacer la demanda y, al mismo tiempo, establece límites de generación con importantes ramificaciones económicas para el lanzamiento de un proyecto y la toma de decisiones.

Las formas típicas de las curvas de duración están determinadas por las características de las cuencas vertientes, por ejemplo, en las cuencas de montaña, la pendiente al comienzo de la curva indica que los caudales altos solo aparecen por breves períodos de tiempo, mientras que, en los ríos de llanura, no hay diferencias particularmente notables entre las pendientes en los distintos puntos de la curva Figura 5. Cuando el número de caudales disponibles es insuficiente, esto es útil para ajustar la forma de la curva de duración de acuerdo con las características de la cuenca, o para transferir una curva de duración de una cuenca bien instrumentada en la misma región a una cuenca con datos escasos. La importancia de la curva radica en establecer si una cuenca es suficiente para suministrar la demanda o si se necesita construir los respectivos embalses de almacenamiento para suplir las insuficiencias en el suministro de agua durante los períodos secos, pero siempre se debe tener en cuenta la demanda (Gutiérrez, 2014).

Figura 5.

Curva de duración de caudales para río de alta pendiente.



Fuente: Eddyhrbs (2010)

4.8 Los caudales medios, máximos y mínimos

En la mayoría de las cuencas al no contar con series estadísticas de estaciones hidrométricas, la estimación de caudales se realiza por métodos empíricos en lo cual resulta importante conocer la precipitación que cae sobre estas unidades hidrográficas que pueden ser de distribución temporal y una intensidad determinada, luego se calcula el coeficiente de escorrentía considerando la relación pendiente suelo y cobertura vegetal, así como el cálculo proyectado del área de la cuenca y otros parámetros geométricos (Mintegui et al., 2012).

Estimar los caudales de una cuenca es fundamental para planificar el uso de los recursos hídricos, las áreas agrícolas y urbanas, y sobre todo para evaluar el tamaño de los proyectos de infraestructura física, particularmente los hidráulicos. Para el cálculo de caudales se necesitan datos históricos de precipitación, datos de evapotranspiración potencial y niveles de escorrentía superficial expresados en m^3/s , así como información paramétrica de la cuenca relacionada con su geometría y morfometría espacial (Herencia & Carrera, 2019).

Es posible establecer modalidades de caudales cuantificables, tales como: caudales instantáneos, diarios, mensuales, promedios anuales, modulares, caudales extremos, ecológicos y caudales máximos y mínimos. A partir de estas categorías se pueden generar una serie de caudales con varios periodos de retorno y por medio de gráficos que permitan explicar el comportamiento espacial y temporal utilizando una variedad de curvas que incluyen las curvas de duración, variación estacional y de Rippel. Los caudales máximos, son las crecientes o eventos extraordinarios que se muestran en los cauces de las corrientes naturales, durante las

cuales las magnitudes de los caudales resaltan con creces los valores medios que son normales en dichas corrientes (Villon, 2011; González, 2001).

La escorrentía de los ríos durante la bajamar, que en su mayoría es causado por la disminución o ausencia de precipitaciones, se conoce como caudales menores o estiaje, y el período de tiempo durante el cual estos caudales están presentes se conoce como estiaje o estío. El diseño de proyectos que involucren el uso de agua potable, riego, generación hidroeléctrica, navegación, recreación, manejo y preservación de humedales y la protección de ecosistemas acuáticos están generalmente asociados al estudio. de caudales mínimos o estacionales (Vladimirov, 1990; Andrade & Ríos, 2014).

4.9 El índice de regulación hídrica, *IRH*

La capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales se mide por el índice hídrico de retención y regulación (IRH), que es el resultado de la interacción entre el sistema de vegetación del suelo, las condiciones climáticas y las características físicas y morfológicas de la cuenca, Este índice mide la capacidad de regulación y de retención de humedad de las cuencas cuya base se sustenta en la distribución de la serie acumulada de mediciones diarias de frecuencia de caudales para ello es importante tener en cuenta la gráfica de la curva de duración de caudales medios diarios. El indicador también permite evaluar la capacidad global del sistema para autorregular cuya sustentación se visualiza en la Tabla 1. Los valores fluctúan entre 0 y 1, y los valores más bajos son los que se descifran como de menor regulación (IDEAM, 2010; García et al., 2010; Sánchez et al., 2010).

Tabla 1.

Calificación de los rangos de valores del índice de retención y regulación hídrica.

Rangos de valores del indicador	Calificación	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación hídrica
0,75 – 0,85	Alta	Alta retención y regulación hídrica
0,65 – 0,75	Moderada	Media retención y regulación hídrica
0,50 – 0,65	Baja	Baja retención y regulación hídrica
< 0,50	Muy baja	Muy baja retención y regulación hídrica

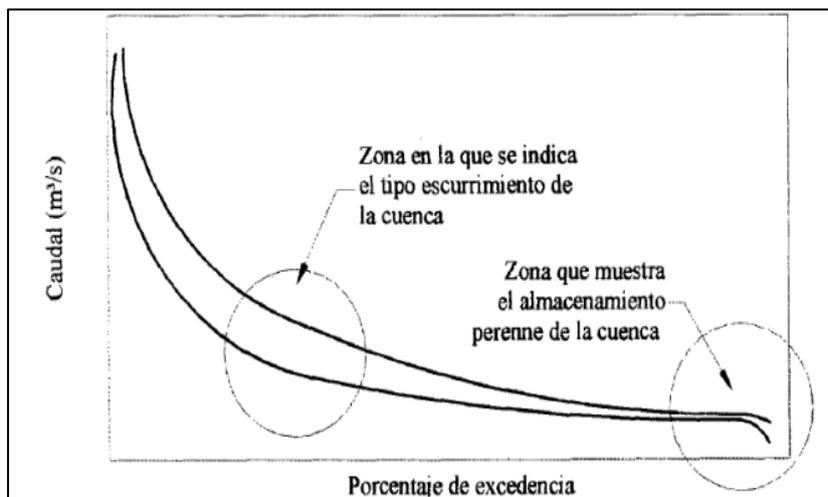
Fuente: (IDEAM, Estudio nacional del agua. , 2010)

Según Sánchez et al (2010) la importancia de la curva de duración de caudales radica en que permite conocer las condiciones de regulación hídrica de la cuenca, los valores característicos de los caudales medios diarios y de igual manera la interpretación de manera general de las características del régimen hidrológico de un cauce, así como el comportamiento de retención y regulación de la humedad en la cuenca.

La duración del tiempo en el que los caudales medios diarios igualan o superan un valor específico se muestra mediante las curvas de duración de caudales. El tamaño, pendiente y forma de estas curvas indican la capacidad de regulación de la cuenca en un tiempo determinado (IDEAM, 2010), siendo determinantes sus características hidrológicas y geológicas. Por su parte (Gómez, 1999) manifiesta que las pendientes altas que se presenten denotan en la curva corrientes con variaciones altas de caudal, siendo de escurrimiento directo en la mayoría de su flujo; todo lo contrario, sucede en una curva con pendientes bajas en donde se revela la presencia de un almacenamiento superficial que iguala el flujo del agua. La parte inicial de la curva muestra el tipo de escurrimiento de la cuenca, mientras que la parte final refleja las características de almacenamiento, la Figura ejemplifica la forma que tienen las curvas de duración de caudales.

Figura 6.

Forma de la curva de duración de caudales



Fuente: (Gómez, 1999).

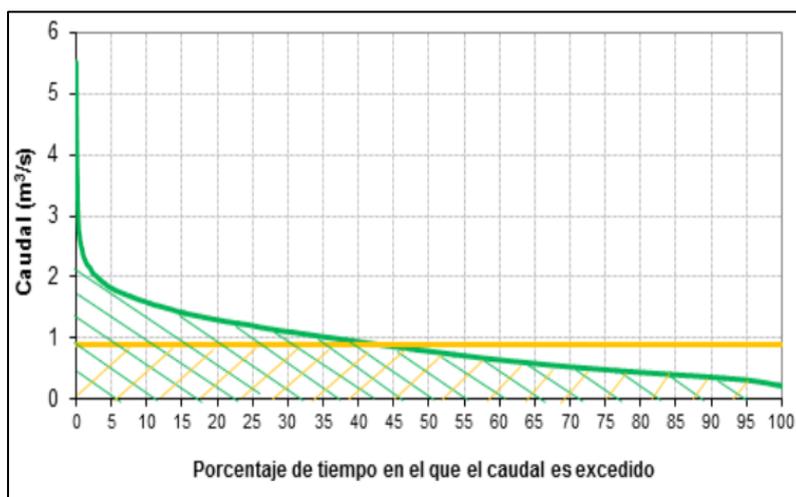
Las curvas de duración de caudales (CDC) son una serie de duración parcial no cronológicas, por lo tanto independientemente del periodo del año en que se produce el flujo, se consiente trabajar con series no continuas, por ende, es preciso tener en cuenta el análisis

anual de retención y regulación del agua. Para ello, se realiza a través de un balance cronológico detallando la secuencia de entradas y salidas, por lo que esta situación restringe su uso a la determinación del potencial de agua disponible. La distribución de grandes flujos en las CDC se ve afectado principalmente por el clima, forma, cobertura vegetal de la cuenca (excepto aquellas que son muy permeables) mientras que los caudales bajos están determinados por la geología; pero aún, si las formaciones son las mismas, se deben considerar factores que afectan la esorrentía, como cambios en la permeabilidad de la formación, profundidad hidráulica del río y la caracterización de la formación subyacente (Fattorelli & Fernandez, 2011; Gómez, 1999).

Según Sánchez et al. (2010) las características e interacciones de las condiciones geomorfológicas, geoquímicas, edáficas, vegetativas y climáticas, así como la interpretación antrópica, se expresan mediante la generación de las curva de duración de los caudales, estas curvas suministran información sobre el porcentaje del tiempo en el que el río lleva un caudal superior o inferior a un determinado valor, pero no reflejan la distribución o secuencia de dicho periodo ni el momento del año en que se produce. El calculo del IRH, se basa en la relación entre entre el volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el correspondiente al área total baja la curva de duración de caules diarios, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7.

Representación gráfica de la curva de duración de caudales



Fuente: Sánchez et al. (2010).

Según García et al., (2010) el campo para la aplicación del IRH, depende de la densidad de estaciones hidrológicas consideradas, por lo que es vital tener un requerimiento de información sobre caudales medios diarios de series históricas de 15 años. El propósito del cálculo de este índice, es representar la regulación del agua en los sistemas hidrológicos, con especial énfasis en zonas donde se muestra más estabilidad en condiciones de escorrentía y regulación de los flujos, estas observaciones junto con la CDC medios diarios evidencian la frecuencia con la que se exhiben caudales altos y bajos, por encima o por debajo de un cierto valor independientemente del período en que acontece un suceso (IDEAM, 2020).

4.9.1. Investigaciones sobre el índice de retención y regulación hídrica

El estudio realizado por Sánchez et al. (2010) sobre el (IRH) para las diferentes cuencas y subcuencas hidrográficas de Colombia, identificaron la distribución de las condiciones de regulación, en donde las superficies del Pacífico, Amazonía y Bajo Cauca muestran alta capacidad para retener humedad y mantener las condiciones regulatorias, pero se observan bajas condiciones de regulación en algunas zonas de las regiones Magdalena-Cauca, Orinoco y Caribe, la superficie de La Guajira exhibe las condiciones de más baja regulación. Por su parte Álvarez et al. (2021) investigaron sobre la “*Estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra (Caso de estudio: Cuenca alta del río Chinchiná, Caldas, Colombia)*”, obtuvieron un valor de 0,30 que caracteriza una capacidad muy baja de regulación hídrica, esto se debería a diferentes factores que intervienen como las actividades productivas, la ocupación humana y los cambios constantes que se dan en las coberturas naturales.

En cambio Otalora & Hernandez (2018) en su trabajo titulado “*estimación de los índices hídricos (IUA, IRH, IVH) y formulación de medidas para la mitigación del desabastecimiento en la Subcuenca Arroyo Grande Corozal (2502- 01-07) de la cuenca Río Bajo San Jorge*” determinaron un valor de menos 0,50 para el índice de retención y regulación hídrica, lo que se interpreta que la subcuenca Arroyo Grande Corozal posee una capacidad muy baja de retención, esto repercute en una mala señal del estado en que se encuentra el sistema hídrico de dicha zona. Popayan et al. (2019) estudiaron la “*Evaluación de la regulación hídrica: oferta y calidad de la quebrada Telléz, microcuenca Ortiz*” obteniendo un valor de 0,7018 que se categoriza como moderado, es decir presenta regulación media de retención y regulación que según el (IDEAM, 2013) manifiesta que este comportamiento se debe a los cambios moderados

que se presentan debido a la variación de las condiciones climáticas y mantiene la capacidad de funcionamiento de los sistemas hídricos en el tiempo.

Según (García, 2016) en su investigación *“Índice de vulnerabilidad del recurso hídrico con fines de riego en la Cuenca Hidrográfica del Río Naranjo, Cuba”* estimó un valor menor a 0,50 que se interpreta con muy baja regulación hídrica. García et al. (2010) mencionan que los factores que influyen en gran medida y no favorecen la retención adecuada son la escasa vegetación, el tipo de suelo muy pedregoso, las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca, especialmente, la alta dominancia de la pendiente

Los estudios realizados en cuencas hidrográficas tropicales en el territorio ecuatoriano por parte de Giler et al. (2019) calculó un valor menor a 0,50 que señalan baja capacidad de regulación hidrológica, debido a sus características morfométricas, clima y vegetación. En la Provincia de Loja, se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre el índice de retención y regulación hídrica. Maldonado (2017) en su trabajo titulado *“Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en el Sistema de Riego Paquishapa”* para la microcuenca Ramas estimó un valor de 0,71 que según el IDEAM (2010) representa una clasificación moderada, es decir que la microcuenca tiene una capacidad media de retención y regulación de la humedad, debido a las condiciones de morfometría de las cuencas, sus aspectos hidrológicos de respuesta a eventos climáticos como la precipitación, suelo, cobertura vegetal y pendientes las cuales interrelacionadas entre sí impiden que se de una infiltración completa. Por otra parte Luna (2017) en su tesis *“Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la Era, utilizando los sistemas de información geográfica SIG”* obtuvo un valor de 0,56 para la microcuenca San Agustín, que representa baja regulación y retención de la humedad, esto tiene un marcado contraste con la cubierta vegetal, que está dominada por pastos y pendientes altas de la cuenca en un 46%.

5. Materiales y Métodos

En este capítulo se explica de forma detallada, la metodología utilizada, para determinar el índice de retención hídrica de las principales microcuencas del cantón Loja, teniendo como base la curva de duración de caudales, además de los materiales, bases de datos, ubicación del área en donde se realizó el trabajo de investigación, para así alcanzar los objetivos propuestos.

5.1 Ubicación

El cantón Loja está ubicado en el extremo sur del Ecuador, siendo el más grande de la Provincia, ocupa una superficie de 1895,19 km², que corresponde al 17,13% del territorio provincial, situado entre las coordenadas planas:

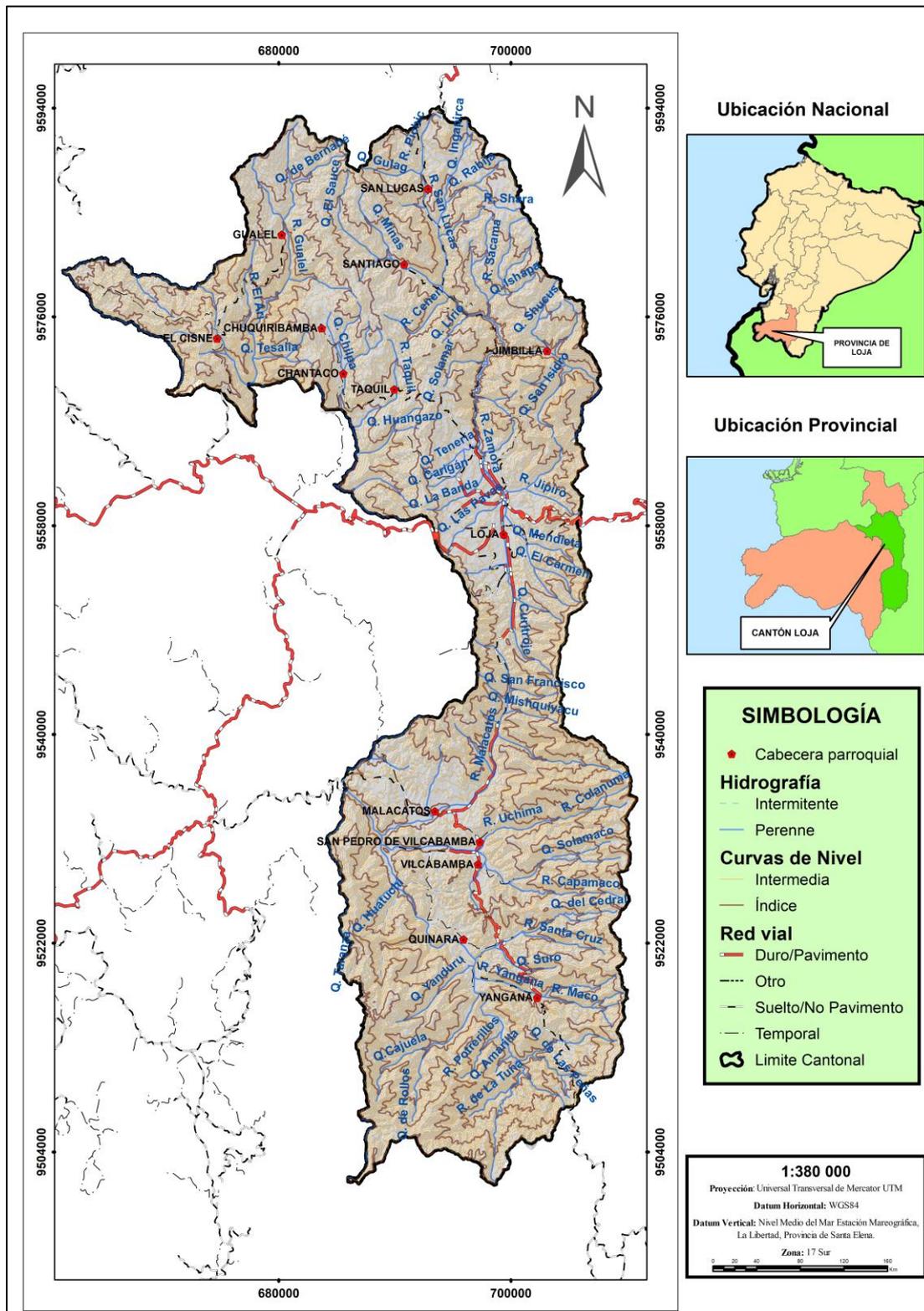
- Coordenada Norte: 9 594 638 m 9 501 249 m
- Coordenada Este: 661 421 m y 711 075 m

Los límites del cantón Loja son al Norte con el cantón Saraguro, al Sur y al Este con la Provincia de Zamora Chinchipe; y al Oeste con la Provincia de El Oro y los cantones de Quilanga, Catamayo y Gonzanamá (PDOT de Loja, 2014)

Según el PDOT de Loja (2014) en lo que se refiere a la altitud, el cantón ostenta variaciones que van desde los 800 a 3500 m.s.n.m. El clima es de tipo Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo, influenciado por factores como la altitud y el relieve, presentando una temperatura media anual de 15 °C, humedad relativa del 65 al 90 %, y la precipitación media anual que va desde los 500 a 2000 mm, estos factores influyen en el desarrollo de la biodiversidad.

Figura 8.

Mapa base del cantón Loja



Fuente: Línea base obtenida de Instituto Geográfico Militar

Elaboración: El autor

5.2 Materiales

- Libreta de apuntes
- Materiales de escritura
- Computadora Laptop
- Softwares varios (Excel, Word, Power Point, Sistemas de información geográficos)
- Base de datos de precipitación de las estaciones: La Argelia, San Lucas, Saraguro, San Francisco, Zaruma, El Cisne, La Toma, El Tambo – Loja, Cajanuma, Malacatos, Gonzanamá, Quinara, Yangana y Amaluza
- Base de datos de cobertura vegetal y tipo de suelo para la zona de estudio.
- Modelo de Elevación Digital (MDT), obtenido a través de Alaska Satellite Facility (ASF).
- Cámara fotográfica
- GPS Diferencial

5.3 Metodología

5.3.1 Metodología para el cumplimiento del Primer Objetivo

“Identificar las principales microcuencas del cantón Loja, para el análisis de sus parámetros físicos y morfométricos.

Para la identificación de las principales microcuencas, se lo realizó mediante la obtención de información primaria a partir del análisis cartográfico publicado por el IGM (Instituto Geográfico Militar), estos datos se sintetizaron a través del Sistema de Información Geográfico (SIG). Para la selección de las microcuencas se procedió a tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Por la utilización de los recursos hídricos para agua potable.
- La ubicación de las microcuencas con respecto a centros poblados.
- Dimensión de la cuenca a posibles impactos en caso de crecidas.
- El crecimiento urbano sobre su área de regulación hídrica

Se efectuó salidas de campo a las microcuencas de Yangana, Campana – Malacatos, Malacatos – Cajanuma, Zamora Huayco, Jipiro, Las Pavas, Zalapa, Santiago, Vilcabamba, Chichaca como se puede observar en el Anexo 15, con el fin de evidenciar las cuencas que tienen mayor importancia en los diferentes ámbitos como lo son: el riego, portadoras de

suministro de agua para consumo humano, y aquellas que por su peligrosidad se pueden ver afectadas en lluvias de alta intensidad y corta duración.

5.3.1.1 Delimitación de las cuencas y determinación de los parámetros morfométricos. En el siguiente apartado se delimitaron las cuencas y mediante la información cartografía digital del cantón Loja, misma que comprende la red hídrica, curvas de nivel y el punto de interés en las mismas, se efectuó el delineado de la divisoria de aguas o “*divortium aquarium*” los cuales pasan por los puntos de mayor nivel topográfico, Una vez obtenida la delimitación y seleccionadas las cuencas de estudio visualizadas en la Tabla 11 más adelante, se calculó mediante el uso del sistema de información geográfica (SIG), los parámetros de forma, relieve y relativos a la red hídrica.

En lo que se refiere a los parámetros de forma, es fundamental conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas, es decir si una cuenca es redonda presenta mayor riesgo a crecidas que una cuenca alargada, este parámetro consta de área, perímetro y forma de las cuencas; siendo el área de la cuenca la característica morfométrica más importante, determinada por la divisoria de aguas, el tamaño esta expresado en km² (González, 2001; Reyes et al., 2010), tal como se visualiza en la Tabla 2

Tabla 2.

Clasificación de áreas

Área (km ²)	Nombre
< 5	Unidad
5 – 20	Sector
20 – 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Fuente: Jiménez & Materón (1986)

Para determinar la forma de las cuencas se utilizó el índice coeficiente de compacidad. Según Gravelius (citado por Luna, 2017) se lo obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

En donde:

K_c = Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca Km

A = Área de drenaje (Km²)

La interpretación de los resultados obtenidos para las microcuencas en estudio se realizará mediante el empleo de la Tabla 3.

Tabla 3.

Clases de forma de las cuencas

Forma de la cuenca	Coeficiente de compacidad (Kc)	Tendencia a la crecida
De casi redonda a oval	1,00 a 1,25	Alta
De oval redonda a oval oblonga	1.26 a 1.50	Media
De oval oblonga a rectangular	1,51 a 1,75	Baja

Fuente: González (2001)

La cuenca presentará formas irregulares y menores problemas de crecidas cuando su valor se aleje de la unidad, mientras tanto dicho valor sea cercano o se acerque a 1, la cuenca mostrará una forma circular y por ende más problemas de crecidas (González, 2001).

En lo que respecta a los parámetros de relieve, los cuales tiene mayor influencia en el proceso hidrológico de la cuenca debido a que a mayor pendiente la escorrentía se produce en menor tiempo, el parámetro se divide en pendiente y elevación media de las cuencas; en cuanto a la pendiente media se utilizó los Sistemas de Información Geográfica (SIG), por medio de sus herramientas y en base al Modelo Digital del Terreno (MDT) del cantón Loja, descargado a través del (ASF), mismo que consta con una resolución de 12,5 metros y con la ayuda del comando Slope ubicado en el Arctoolbox, se obtuvo el mapa de pendientes de las cuencas correspondientes, la cual se reclasifico de forma manual en seis categorías, una vez obtenidas se convirtió a polígono y en base a la Tabla 4, según la pendiente que se encuentren se procedió a clasificarlas.

Tabla 4.

Clasificación de las pendientes medias

Pendiente (%)	Clasificación
Plano o casi suave	0 – 5,0
Suave o ligeramente ondulado	5,0 – 12,0
Moderadamente ondulado	12,0 – 25,0
Colinado	25,0 – 50,0
Escarpado	50,0 – 70,0
Montañoso	>70,0

Fuente: IGM, Mapa de pendientes, 2003. Elaborado por Mafla et al., (2015)

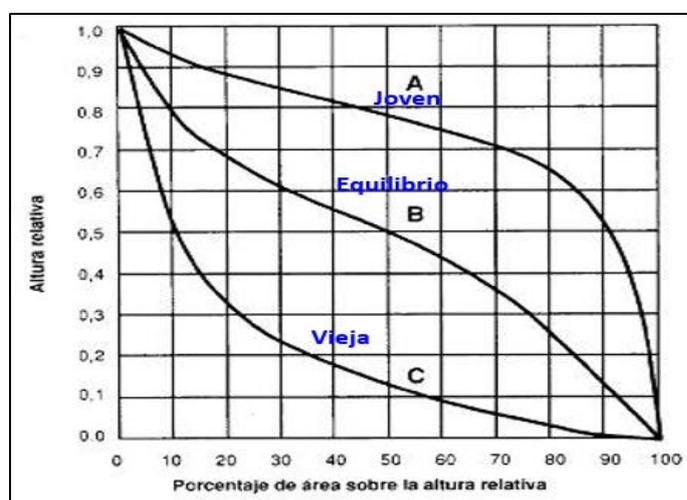
La elevación media de las cuencas se calculó a través de la curva hipsométrica, que indica que porcentaje del área o superficie de la cuenca, que está sobre cierta cota determinada, sirve para definir el relieve de la cuenca.

Para la construcción de la curva hipsométrica en base a la Figura 9, se lo realizó por medio del siguiente proceso:

- Estableciendo el uso del MDT y con la ayuda de los SIG se obtuvo dicha información.

Figura 9.

Clasificación y descripción de la curva hipsométrica



Fuente: González (2001)

Por su parte los parámetros relativos a la red hídrica o red de drenaje guardan una estrecha relación entre las corrientes naturales existentes en la cuenca, de manera que permite conocer la rapidez que tiene la cuenca para desalojar el agua que recibe; consta de orden de corrientes, densidad de drenaje y pendiente del cauce principal.

La clasificación del orden de corrientes y el grado de ramificación en la cuenca, se tomó en cuenta que una corriente de orden 1 es un aportador sin ramificaciones, una de orden 2 consta de aportadores de orden 1, dos corrientes de primer orden constituyen una de orden 2, una corriente de orden 3 cuenta con dos o más aportadores de orden 2 o menor, etc. Para la interpretación del resultado de las diferentes superficies hidrográficas se lo realizó teniendo en cuenta la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación del orden de corrientes

Orden de corrientes	Clasificación
1,0 – 2,0	Bajo
2,0 – 4,0	Medio
4,0 – 6,0	Alto

Fuente: Fuentes (2004).

La Tabla 6 muestra la clasificación de la densidad de drenaje, este índice resulta de la relación entre la longitud total de los cauces que está dada en kilómetros y el área de la cuenca sobre la cual drenan los cauces (González, 2001). (González R. , 2001)

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (2)$$

En donde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km²)

L = Longitud total de los cauces de agua (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Tabla 6.

Densidad de drenaje para cuencas hidrográficas

Rangos de Densidad	Clases
0,1 – 1,8	Baja
1,9 – 3,6	Moderada
3,7 – 5,6	Alta

Fuente: Fuentes (2004)

La Pendiente del cauce principal, se determinó mediante el empleo de los SIG, a través del MDT, se generó el mapa de pendientes y se seleccionó el cauce principal, para

posteriormente realizar una extracción por máscara en el programa, generándose de esta manera las pendientes las mismas que serán categorizadas de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7.

Clasificación de la pendiente media del cauce principal

Pendiente del cauce principal	Clases
1,0 – 5,0	Suave
6,0 – 11,0	Moderado
12,0 – 17,0	Fuerte

Fuente: Fuentes (2004)

Según el tiempo de concentración se define, como al tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de la cuenca una gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca, el mismo que se determina mediante fórmulas experimentales (Botero & Vélez, 2010). El tiempo de concentración de las microcuencas se calculó empleando el método de Ven Te Chow Ecuación (3).

$$T_c = 0,005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,64} \quad (3)$$

En donde:

T_c = Tiempo de concentración en horas.

L = Longitud del cauce en metros.

S = Pendiente media del cauce (%)

La interpretación de los datos obtenidos para las diferentes cuencas hidrográficas se realizará mediante el empleo de la Tabla 8.

Tabla 8.

Interpretación del tiempo de concentración

Tiempo de concentración (min)	
Rangos	Clases
0,0 – 41,5	Rápida
41,6 – 83,2	Moderado
83,2 – 125,1	Lento

Fuente: Fuentes (2004)

5.3.2 Metodología para el cumplimiento del Segundo Objetivo

“Determinar los índices de retención y regulación hídrica, de las microcuencas identificadas, sobre la base de la generación de la curva de duración de caudales”

Para llevar a cabo el cumplimiento de este objetivo, se presentaron varios eventos, desde la estimación de la precipitación y caudales medios mensuales de las cuencas emplearon métodos empíricos, para ello fue fundamental disponer disponible en los anuarios meteorológicos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), hasta la posterior generación de la curva de duración de caudales. Finalmente se determinó el cálculo del índice de retención y regulación hídrica.

5.3.2.1 Estimación de la precipitación media. Para la estimación de la precipitación media, primero se identificaron las estaciones que estén rodeando al cantón Loja, (La Argelia, San Lucas, Saraguro, San Francisco, Zaruma, El Cisne, La Toma, El Tambo – Loja, Cajanuma, Malacatos, Gonzanamá, Quinara, Yangana, Amaluza), con una estadística de datos que comprenden 23 años (1990 – 2013), dicha información se obtuvo a través de anuarios meteorológicos.

El relleno de datos faltantes, se lo realizó mediante los métodos de razón normal, media aritmética, y Jansa Guardiola (González, 2001; Bateman, 2007), para ello se tomó en cuenta que tengan la misma similitud climática como: precipitación, temperatura y altitud:

- Método de la razón normal; según Bateman (adptado por Maldonado, 2017) consideró que existan al menos 3 estaciones y que haya una similitud entre los datos, y únicamente se consideró los años con registros completos, y la ecuación a aplicarse es:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_a} P_a + \frac{N_x}{N_b} P_b + \frac{N_x}{N_c} P_c \right) \quad (4)$$

$$N_x = \frac{\Sigma_{Total}}{\# Estaciones}$$

Donde:

Px = Precipitación a encontrar

N_x = Precipitación normal anual de la estación para la cual se está rellorando la información

N_a, N_b, N_c = Precipitaciones normales anuales de las estaciones circundantes consideradas

P_a, P_b, P_c = Precipitación de cada estación

- Media Aritmética; consiste en observar si las estaciones a usar cuentan con condiciones climáticas similares, y el método consiste en obtener el dato faltante mediante el simple promedio aritmético de los valores registrados (González R, 2001).
- Jansa Guardiola; cuando falta un valor en una serie original de datos, se debe encontrar el valor probable que lo sustituya, para lo cual utilizamos la Ecuación (5)

$$P_m = P_{min} + \frac{c * a}{a + b} \quad (5)$$

Donde:

a = Es la diferencia entre los dos términos que presiden al dato faltante.

b = Es diferencia entre los dos términos que siguen al dato faltante.

c = Es diferencia entre los dos términos que limitan al dato faltante, y

P_{min} = Es el menor valor entre los términos que presiden y siguen al dato faltante

El análisis de la consistencia de datos sirve para convalidar la homogeneidad de los datos en las estaciones pluviométricas de manera que se obtenga confianza en los datos ya que en muchas ocasiones las estaciones cambia de lugar, posición o marca para ello se manipuló mediante el método de doble masa, haciendo comparaciones de las precipitaciones acumuladas anuales de una estación con varias estaciones e ir realizando gráficas; en donde en las ordenadas se coloca la precipitación de la estación comparada mientras tanto en las abscisas la sumatoria de varias estaciones consideradas (Bateman, 2007). Es importante tener en cuenta que las estaciones a comparar deben tener similitud climática y ubicación geográfica (Anexo 8).

Una vez consolidada la información meteorológica de las diferentes estaciones mencionadas con anterioridad, se generaron precipitaciones medias mensuales para el cantón Loja. El método de cálculo que mejor se ajustó a las condiciones naturales es el de las isoyetas porque permite considerar la topografía y se aplica a cuencas con una distribución no uniforme de pluviómetros (Carrera, 2016).

Para la estimación de la precipitación media mensual se lo realizó por medio de los SIG, la interpolación los datos de precipitación se procesaron con la ayuda del comando Interpolación Spline, obteniendo capas raster de precipitación para cada uno de los meses del año y con la ayuda del comando Contour se permitió crear las isoyetas, las mismas que posteriormente en dicho programa se calculó las áreas existentes entre cada isoyeta, considerando el límite de las microcuencas se realizó una extracción por mascara, obteniendo de esta manera la precipitación para cada cuenca en estudio (Maldonado, 2017).

5.3.2.2 Estimación de los escurrimientos medios mensuales. Para la determinación del escurrimiento medio mensual de las microcuencas del cantón Loja, se realizó mediante el método racional.

5.3.2.2.1 Método Racional. Este método empírico es uno de los más utilizados para la estimación de los caudales medios mensuales está directamente relacionada con la precipitación, consta con la ventaja de que no se necesita datos hidrométricos para su cálculo (Maldonado, 2017).

La fórmula empleada para determinar los escurrimientos medios es la siguiente:

$$Q_m = A_c * C_e * P_m \quad (6)$$

En donde:

Q_m = Caudal medio que puede escurrir la cuenca (m³/s)

A_c = Área de la cuenca (km²)

C_e = Coeficiente de esorrentía (adimensional)

P_m = Precipitación media mensual (mm)

Para calcular los escurrimientos medios mensuales por el método racional, se calculó el coeficiente de esorrentía; para lo cual se debe contar con información de; permeabilidad del suelo y cobertura vegetal que se obtuvo a través del Centro de Investigaciones Territoriales (CIT) de la Universidad Nacional de Loja. Las pendientes se generaron a través del MDT, esta información antes de ser cruzadas se la codifico y se procedió a transformar las tres capas a formato raster en base a los códigos de la Tabla 9.

Tabla 9.*Códigos asignados a las variables del método racional.*

Cobertura vegetal	Código	Tipo de suelo (Textura)	Código	Pendientes	Código
Bosque	1	Fina	300	0 – 5%	1000
Pastizal	2	Media	200	5 – 10 %	2000
Cultivo	3	Gruesa	100	10 – 30%	3000
				>30%	4000

Fuente: González (2001)

En la opción Raster Calculator de los SIG, se ejecutó la combinación de las capas (cobertura vegetal + pendientes + permeabilidad del suelo) generando un archivo de tipo raster. Mediante un ejemplo como se visualiza en la Tabla 10 por medio de la combinación de los códigos un valor de 1101, se lo obtiene de la siguiente manera; en el código 1000 le pertenece una pendiente que va del 0,0 al 5,0 %, con un tipo de textura gruesa cuyo codificación es 100 y con cobertura vegetal de tipo bosque que se digita con valor de 1, dando como resultado un coeficiente de escorrentía de 0,10.

Tabla 10.*Valores de C para el cálculo del escurrimiento.*

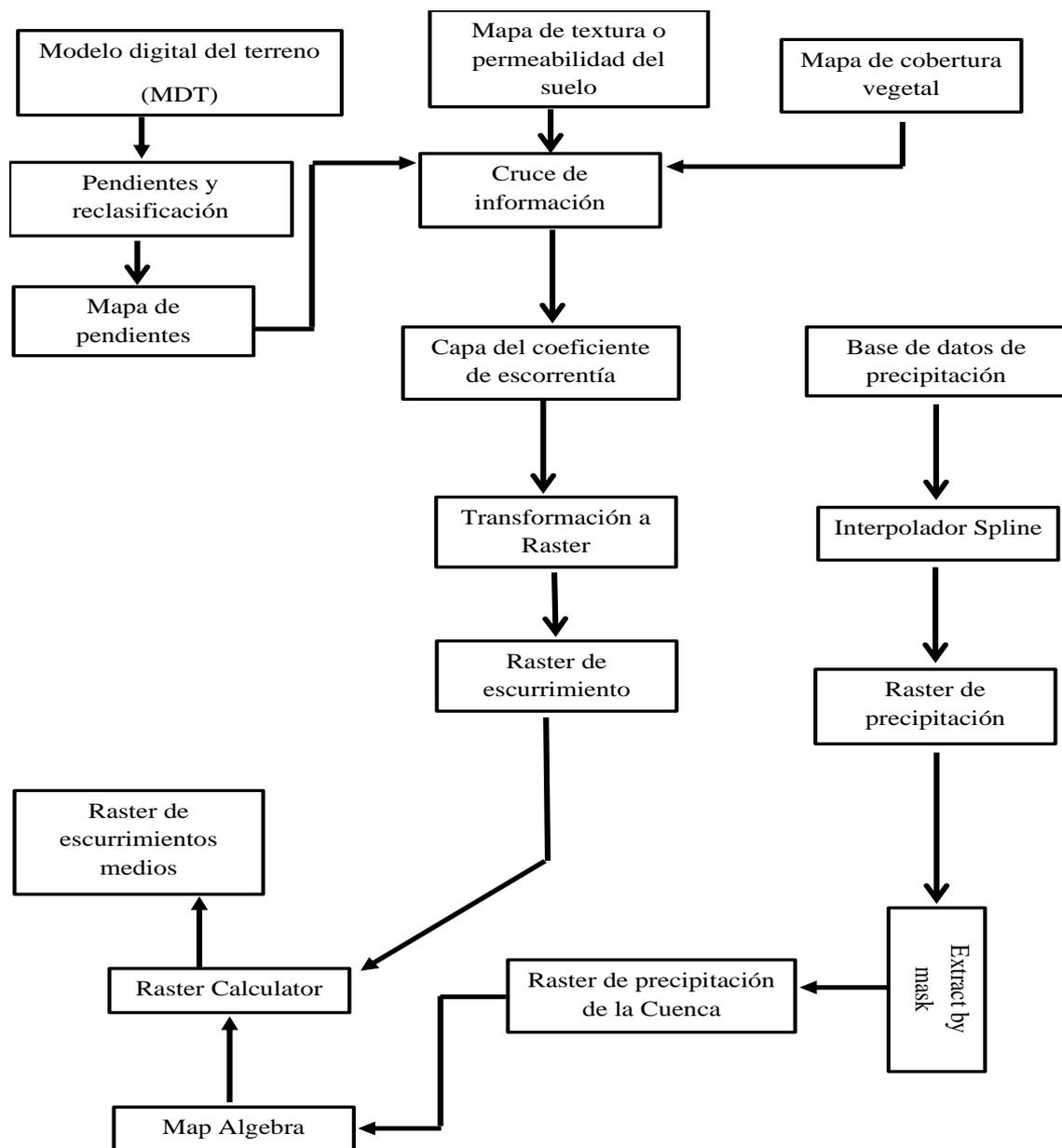
Uso de suelo	Pendiente %	Arenoso (G)	Limoso-Arenoso (M)	Arcilloso (F)
Bosque (1)	0 – 5 (1000)	0,10	0,30	0,40
	5 – 10 (2000)	0,25	0,35	0,50
	10 – 30(3000)	0,30	0,40	0,60
	>30 (4000)	0,32	0,42	0,63
Pastizal (2)	0 – 5 (1000)	0,15	0,35	0,45
	5 – 10 (2000)	0,30	0,40	0,55
	10 – 30(3000)	0,35	0,45	0,65
	>30 (4000)	0,37	0,47	0,68
Cultivo (3)	0 – 5 (1000)	0,30	0,50	0,60
	5 – 10 (2000)	0,4	0,66	0,70
	10 – 30(3000)	0,50	0,70	0,80
	>30 (4000)	0,53	0,74	0,84
		100	200	300

Fuente: Prevert (1986)

Los valores obtenidos de la capa raster se interpretó en el software SIG, en donde se multiplicaron por sus respectivas áreas, la sumatoria de todos estos productos, se fraccionó para el área de cada una de las microcuencas consiguiendo así el valor de coeficiente de escorrentía tal y como se muestra en la Tabla 10 y Figura 10. Siguiendo esta misma metodología, se procedió a cruzar la información de los mapas de textura, pendientes y cobertura vegetal como se muestra en la Figura 19, 20 y 21, así mismo, este procedimiento se realizó para todas las microcuencas pertenecientes al área de estudio.

Figura 10.

Diagrama de flujo para la obtención del coeficiente de escorrentía.



Fuente: Cuenca (2015).
Elaboración: El Autor.

Con el valor de escorrentía, la precipitación media mensual y con el área de las microcuencas se determinó la escorrentía media mensual para cada una de ellas respectivamente.

5.3.2.2.2 Cálculo de la curva de duración general. Para la elaboración de la curva de duración general de caudales de las microcuencas en estudio se consideró los 12 meses del año y posteriormente se realizó el siguiente procedimiento tomado de (Juera, 2011):

- Se ordenó los caudales de mayor a menor ($Q_{\max} \dots Q_{\min}$).
- Se calculó el rango de la muestra ($R = Q_{\max} - Q_{\min}$).
- Se selecciona el número de intervalo de clase (NC).
- Se determinó la amplitud “ ΔX ” del intervalo ($\Delta x = R/NC$).
- Se determina los límites de clase de cada uno de los intervalos y el número de valores comprendidos en cada intervalo.
- Para expresar el % del tiempo se divide el número de meses de superávit para el total de frecuencias y como el caudal es expresado en % representará una probabilidad de ocurrencia del 100%.
- Finalmente se graficó la curva de duración general tomando en cuenta que en el eje de las (Y) va el valor del caudal correspondiente; y en el eje de las (X) el porcentaje acumulado de ocurrencia haciendo uso del software Microsoft Excel.

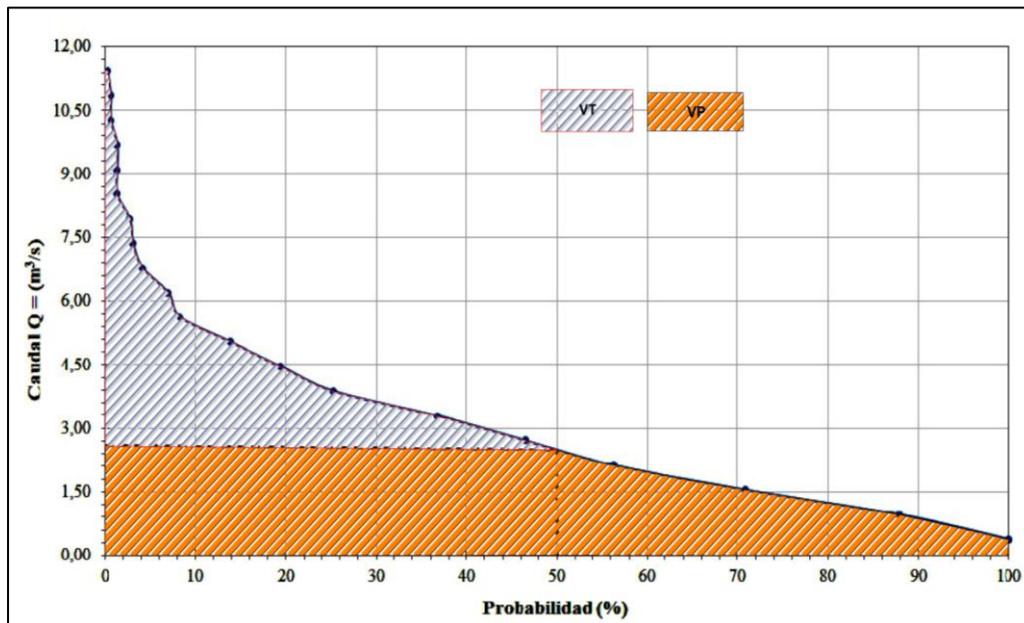
5.3.2.2.3 Índice de retención y regulación hídrica de las microcuencas en estudio.

Para calcular el índice de retención y regulación hídrica, se hará utilizó la curva de curva de duración general, su estimación es producto de la relación entre volúmenes encontrados en dicha curva.

Según (IDEAM, 2010) su estimación resulta de la relación entre el volumen V_p que está representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio y el volumen total V_t es aquel que se ubica por debajo de la curva de duración como se visualiza en la Figura 11.

Figura 11.

Representación del volumen V_t y V_p , en la curva de duración general.



Fuente: (IDEAM, 2010)

Elaboración: El autor

Con los valores obtenidos se aplicó la siguiente expresión matemática (7):

$$IRH = \frac{V_p}{V_t} \quad (7)$$

En donde:

IRH = Índice de retención y regulación hídrica (Anexo 5)

V_p = Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio

V_t = Volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

5.3.3 Metodología para el cumplimiento del Tercer Objetivo.

“Formulación de lineamientos estratégicos para la recuperación de las cuencas con índices de regulación hídrica bajos”.

5.3.3.1 Selección de las cuencas que se deben intervenir para mejorar su índice de retención y regulación hídrica. Luego del análisis realizado se identificaron aquellas unidades hidrográficas que tienen baja capacidad de regulación, es decir las que presentan que presentaron ciertas deficiencias alejadas a valores normales de su funcionamiento, en donde

influyen factores como pendientes, la interacción de la cobertura vegetal y en gran medida por los procesos del agua en el suelo, se las tomo en cuenta como tema de investigación, para posteriormente plantear una propuesta con el fin de poder ayudar a su conservación y protección.

5.3.3.2 Selección de los factores que influyen en la regulación hídrica. Para la selección de los factores se realizó mediante la verificación de la disponibilidad de datos y consultas bibliográficas, por medio del empleo de los SIG se elaboró los mapas mismos que se interpretaron de acuerdo con las condiciones que poseen, de las cuencas que presentaron serios problemas de retención y regulación hídrica se tomó en cuenta los siguientes factores:

- La precipitación, la cual influye considerablemente en las cuencas, especialmente en la regulación hídrica, debido a que si la cuenca no se encuentra protegida puede producir grandes deslizamientos y escorrentías producto de épocas lluviosas.
- Pendiente, esta variable se incluye principalmente por la relación positiva que tiene con el flujo de escurrimiento superficial, disminuyendo la infiltración y por lo tanto la regulación hídrica, del mapa que se obtuvo a partir del MDT, se realizó su clasificación de acuerdo con (Mafla et al., 2015), aquellas que presentan pendientes pronunciadas, tienden a incrementar el riesgo a inundaciones y deslizamientos.
- Cobertura vegetal, este factor se considera fundamental debido al papel que desempeña la vegetación en la prestación de este servicio (Regulación hídrica) es muy importante porque reduce e incrementa la escorrentía superficial, a mayor cobertura se da mejor contacto del agua con la superficie del suelo favoreciendo la infiltración del agua, diversos estudios destacan que la capacidad de amortiguamiento está determinada por una serie de factores físicos (pendiente, escorrentía, tasa de infiltración del suelo, contenido de humedad del suelo, pH, entre otros) sino también biológicos como el estado de sucesión, estructura y composición de la vegetación (Wenger, 1999; Matus et al., 2009). El mapa de cobertura vegetal se lo obtuvo a partir de información otorgada por el CIT de la Universidad Nacional de Loja, y para constatar dicha información se realizó su verificación mediante recorridos de campo a las cuencas de Yangana, Campana – Malacatos, Malacatos – Cajanuma, Zamora Huayco, Jipiro, Las Pavas, Zalapa, Santiago, Vilcabamba, Chichaca
- Suelos en la regulación hídrica, estos regulan una fracción del agua de la precipitación por medio de la infiltración, regulando así escorrentía, transporte de nutrientes, contaminantes y sedimentos, y contribuyendo a la recarga de aguas subterráneas; la

infiltración del suelo depende de varios factores como, las condiciones de humedad, características estructurales del suelo como textura, estabilidad, características de la precipitación (duración e intensidad) (Calzolari et. Al, 2016). Para el presente estudio se seleccionó el tipo de suelo, por medio de su clasificación textural, mediante la revisión bibliográfica, se determina que las granulometrías finas (arcillas y limos) se caracterizan por tener baja permeabilidad y porosidad efectiva, aunque presenta alta porosidad total. Las granulometrías medias (arenas) y, particularmente, las gruesas (gravas) son lo suficientemente porosas para almacenar el agua y con la permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicamente importantes y de calidad deseable para su aprovechamiento (Ingeominas, 2004).

5.3.3.3. Propuesta de uso del suelo de las cuencas que tienen índices de retención hídrica bajo y muy bajo. Para la formulación de lineamientos estratégicos se consideró las microcuencas que presenten valores bajos a muy bajos cuyo propósito se ve enmarcado en la conservación permitiendo con ello mejorar en el tiempo las condiciones hidrológicas de las microcuencas en base a propuestas de conservación.

Las medidas de mitigación y prevención necesarias se establecieron después de haber identificado las zonas donde existe mayores problemas, con la ayuda de revisión bibliográfica y la opinión de expertos.

Los lineamientos estratégicos que se han tomado en cuenta van directamente enfocados a la estabilización, revegetación de cauces, taludes y recuperación de cuencas, planteando alternativas amigables con el ambiente.

Las medidas de prevención se detallan mediante el empleo de una propuesta, la cual tiene que ver con la revegetalización de las cuencas hidrográficas, manejo y conservación de suelos, control de torrentes, ordenación de las actividades de las cuencas y estrategias de capacitación y educación ambiental.

6. Resultados

Los resultados obtenidos permiten conocer de manera cuantitativa los parámetros morfométricos y el índice de retención y regulación hídrica, además de proponer una propuesta que garantice manejar adecuadamente las microcuencas hidrográficas a continuación, se detallan cada uno de los resultados:

6.1 Análisis de los parámetros físicos y morfométricos de las principales unidades hidrográficas del cantón Loja

Mediante el análisis geográfico y de observación In Situ, se analizaron 18 microcuencas que integran el cantón Loja. En la Tabla 11, se puede observar las microcuencas del cantón Loja, categorizadas de acuerdo con su función.

Tabla 11.

Función que desempeñan las microcuencas del cantón Loja

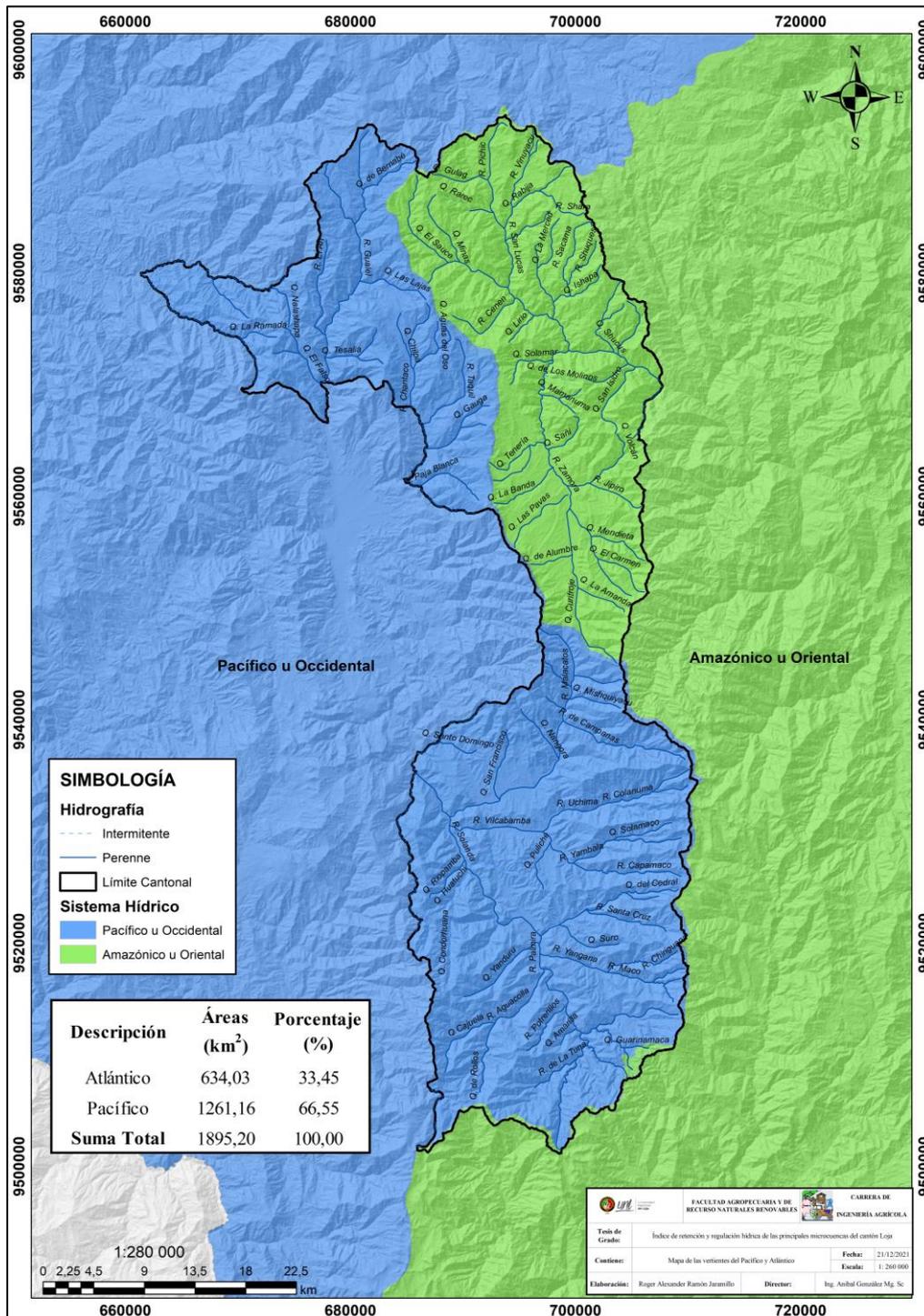
Cuencas	Función que desempeñan
Vertiente del Pacífico	
Malacatos Sur	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Alta del Río Guayabal	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Vilcabamba	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Chichaca	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Aguacolla	Conservación y protección
Masanamaca	Suministro de agua potable
La Tuna	Suministro de agua potable
Yangana	Suministro de agua potable y de uso poblacional
Vertiente del Atlántico	
San Lucas	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Santiago	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Malacatos Norte	Suministro de agua potable y de uso poblacional
Las Mercedes	Suministro de riego y agua potable, uso poblacional
Zamora Huayco	Suministro de agua potable y uso poblacional
Jipiro	Suministro de agua potable y de uso poblacional
Zalapa	Suministro de riego y uso poblacional
Las Pavas	Suministro de agua potable y uso poblacional
Cenen	Suministro de agua potable y uso poblacional
Shucus	Suministro de agua potable

Elaboración: El Autor

En la Figura 12, se representa gráficamente la superficie que ocupan las vertientes del Pacífico con 66,55% y del Atlántico con 33,45% con respecto al cantón Loja.

Figura 12.

Mapa de las vertientes que inciden sobre el cantón Loja.



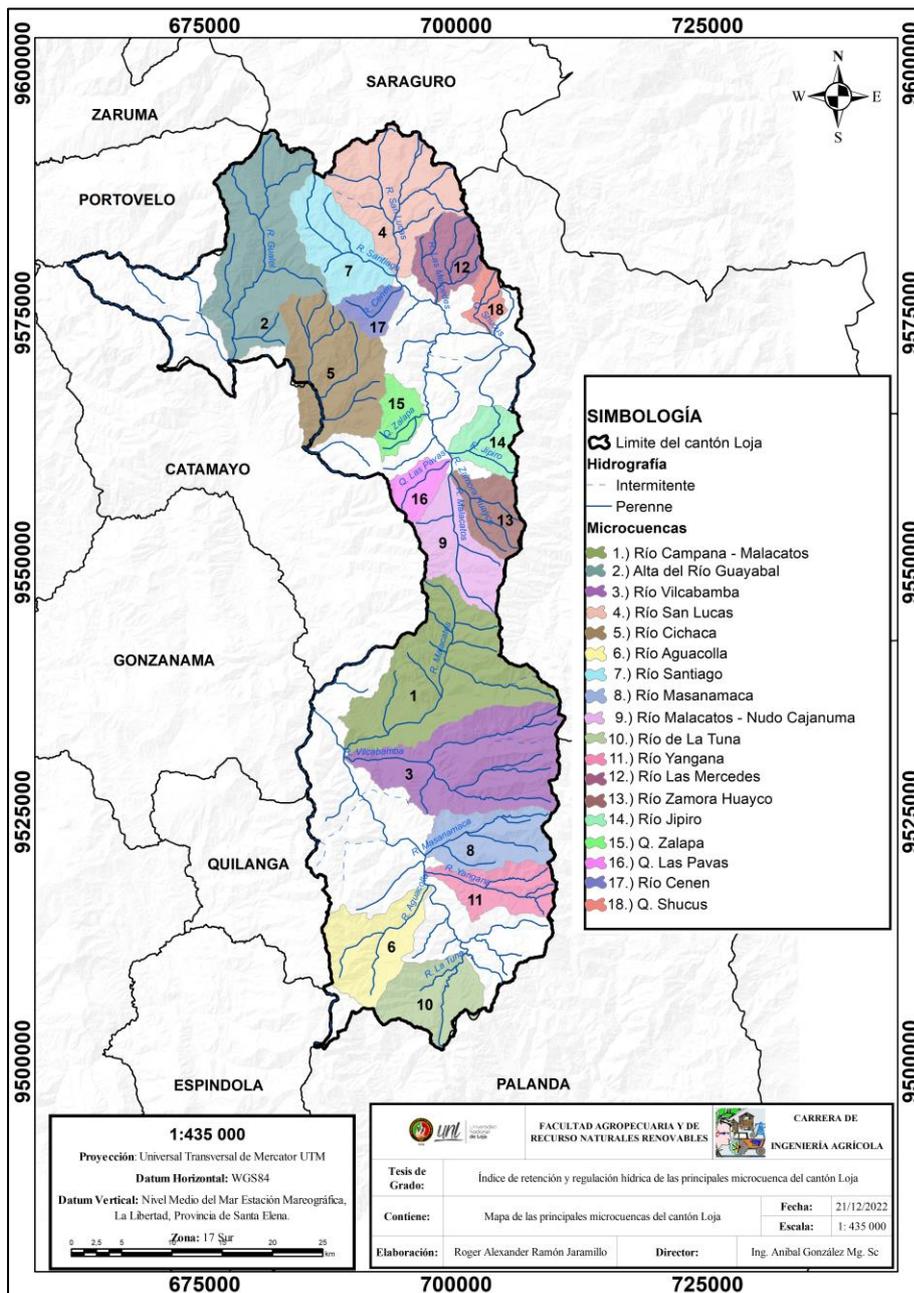
Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El autor

Tomando en cuenta la Figura 13, se visualiza las microcuencas que desembocan en la vertiente del Pacífico, en base a su ubicación geográfica de norte a sur son las de los ríos; Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Vilcabamba, Chichaca, Aguacolla, Masanamaca, Yangana, y La Tuna. Por su parte aquellas que se dirigen a la vertiente del Atlántico son; la de las Quebradas Las Pavas, Zalapa y Shucus y de los ríos San Lucas, Santiago, Las Mercedes, Cenen, Jipiro, Zamora Huayco y Malacatos Norte.

Figura 13.

Mapa de las microcuencas principales que inciden sobre el cantón Loja



Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El autor

En lo que respecta a los parámetros de forma, las superficies hidrográficas consideradas para el estudio, en la Tabla 12, destacan con mayor área: Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Vilcabamba, San Lucas y Chichaca. Por otra parte, las unidades hidrográficas restantes con menor superficie, abarcan las cuencas de Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, Santiago, Malacatos Norte, Las Mercedes, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa, Las Pavas, Cenen, Shucus.

Tabla 12.

Parámetros morfométricos: área y perímetro de las unidades hidrográficas en estudio

Cuencas	Área (km²)	Perímetro (km)
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	175,24	75,55
Alta del Río Guayabal	163,27	69,73
Vilcabamba	159,52	64,84
Chichaca	115,07	51,73
Aguacolla	72,95	42,90
Masanamaca	65,67	38,49
La Tuna	62,40	36,97
Yangana	49,19	39,52
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	118,04	51,86
Santiago	70,27	40,93
Malacatos Norte	62,69	40,80
Las Mercedes	44,93	28,62
Zamora Huayco	41,04	28,52
Jipiro	34,67	26,64
Zalapa	25,62	25,72
Las Pavas	22,92	21,96
Cenen	20,48	20,80
Shucus	16,79	22,14

Elaboración: El Autor

En base a la Ecuación 1 se calculó el coeficiente de compacidad de Gravelius dando como resultado los valores indicados en la Tabla 13. En donde las cuencas de Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Yangana y Shucus presentan forma oval oblonga a rectangular, mientras que, Zamora Huayco y Las Mercedes tienen forma casi redonda a oval, las superficies hidrográficas restantes poseen forma oval redonda a oblonga.

Tabla 13.*Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio*

Cuencas	Coef. De Gravelius	Forma
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	1,61	Oval oblonga a rectangular
Alta del Río Guayabal	1,54	Oval oblonga a rectangular
Vilcabamba	1,45	Oval redonda a oval oblonga
Chichaca	1,36	Oval redonda a oval oblonga
Aguacolla	1,42	Oval redonda a oval oblonga
Masanamaca	1,34	Oval redonda a oval oblonga
La Tuna	1,32	Oval redonda a oval oblonga
Yangana	1,59	Oval oblonga a rectangular
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	1,35	Oval redonda a oval oblonga
Santiago	1,38	Oval redonda a oval oblonga
Malacatos Norte	1,45	Oval redonda a oval oblonga
Las Mercedes	1,20	Casi redonda a oval
Zamora Huayco	1,25	Casi redonda a oval
Jipiro	1,27	Oval redonda a oblonga
Zalapa	1,43	Oval redonda a oval oblonga
Las Pavas	1,29	Oval redonda a oval oblonga
Cenen	1,30	Oval redonda a oval oblonga
Shucus	1,52	Oval oblonga a rectangular

Elaboración: El Autor

Con relación a los parámetros de relieve, las microcuencas que presentan los valores más altos respecto a pendientes medias son: La Tuna, Aguacolla y Yangana (56,02; 54,26 y 55,36%) presentan pendientes escarpadas. Por su parte, las microcuencas que presentan los datos más bajos son Zalapa con 22,55 % y Las Pavas con 22,22 %, lo que se interpretan como colinadas.

Respecto a la Altitud media, las microcuencas de Santiago, La Tuna y Subcuenca San Lucas presentan los valores mayores de altitud con (2889,34; 2874,22 y 2829,42 m.s.n.m.), mientras que las Subcuencas de Malacatos Sur (2196,65 m.s.n.m.), Vilcabamba (2349,90 m.s.n.m.) y la microcuenca de Las Pavas (2304,77 m.s.n.m.) constan con menor elevación, valores obtenidos mediante la interpretación de la curva hipsométrica.

Tabla 14.*Parámetros de relieve de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja*

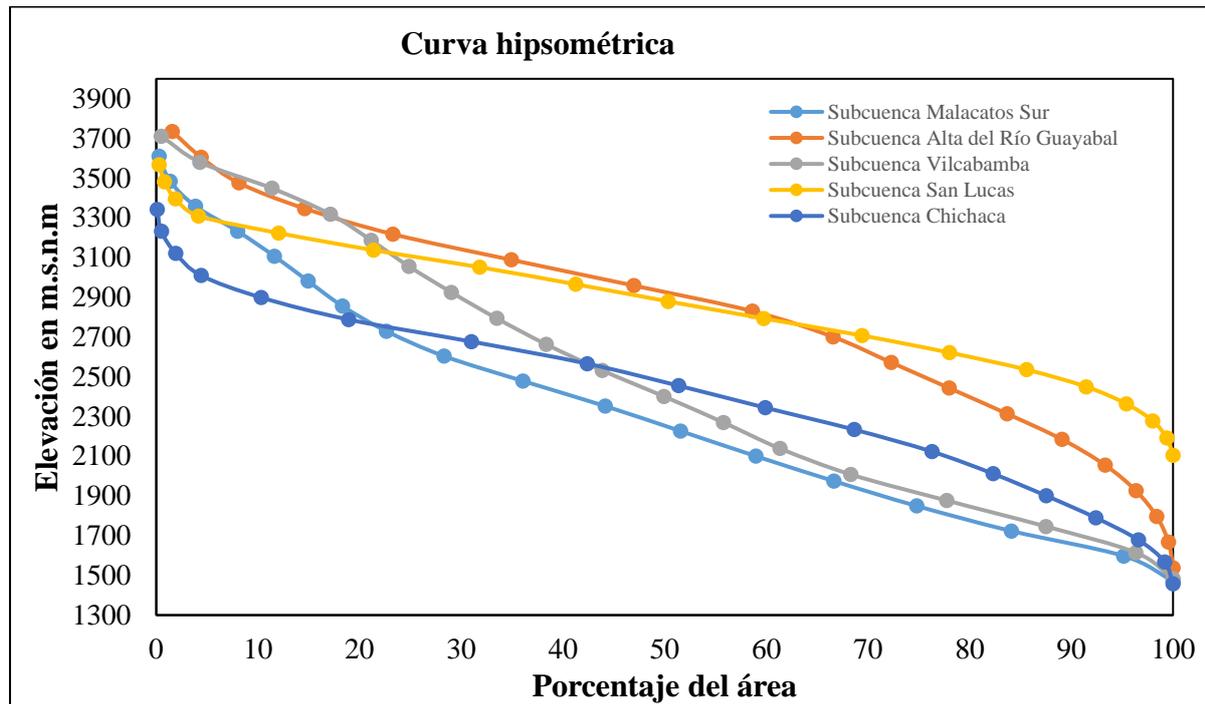
Cuencas	Pendiente (%)	Elevación media (m.s.n.m..)
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	43,67	2196,65
Alta del Río Guayabal	40,14	2794,33
Vilcabamba	44,74	2349,90
Chichaca	41,57	2380,55
Aguacolla	55,36	2600,90
Masanamaca	48,21	2360,20
La Tuna	56,02	2874,22
Yangana	54,26	2379,68
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	37,50	2829,42
Santiago	38,47	2889,34
Malacatos Norte	40,22	2477,87
Las Mercedes	38,38	2754,97
Zamora Huayco	46,87	2497,08
Jipiro	44,87	2454,74
Zalapa	22,55	2353,77
Las Pavas	22,22	2304,77
Cenen	44,60	2647,93
Shucus	37,67	2482,98

Elaboración: El Autor

En la Figura 14 se visualiza la representación de la curva hipsométrica de las subcuencas pertenecientes al cantón Loja, de categoría de tipo B (Anexo 1 y 2).

Figura 14.

Curvas hipsométricas de las subcuencas del cantón Loja



Elaboración: El Autor.

Por otra parte, los parámetros relativos a la red de drenaje, en la Tabla 16 se visualiza el orden de corrientes de las sub y microcuencas del cantón Loja. Las microcuencas de Yangana, Santiago y Malacatos Norte comprenden orden de corriente de tipo 3, en orden 4 se ubican a las unidades hidrográficas de Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa y Shucus que, en orden 5 destacan Vilcabamba, Aguacolla San Lucas y Las Mercedes.

La densidad de drenaje de cuencas hidrográficas, que se encuentran en el rango de 0,1 a 1,8 km/km² son Malacatos Sur, Alta de Río Guayabal, Vilcabamba, Chichaca, Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Santiago, Malacatos Norte, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa, Las Pavas, Cenen; mientras que en el rango de 1,9 a 3,6 se encuentran las Mercedes y Shucus.

Tabla 15.*Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja*

Cuencas	Orden de corrientes	Densidad de drenaje (km/km²)
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	4	1,3
Alta del Río Guayabal	4	1,5
Vilcabamba	5	1,3
Chichaca	4	1,0
Aguacolla	5	1,6
Masanamaca	4	1,3
La Tuna	4	1,8
Yangana	3	1,4
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	5	1,67
Santiago	3	1,00
Malacatos Norte	3	1,20
Las Mercedes	5	2,30
Zamora Huayco	4	1,00
Jipiro	4	1,30
Zalapa	4	1,40
Las Pavas	4	1,59
Cenen	3	1,31
Shucus	4	2,10

Elaboración: El Autor.

Referente a la longitud del cauce principal la subcuenca de Vilcabamba posee la mayor longitud con un valor de 21,20 km, mientras que Zalapa posee un valor de 5,02 km. La microcuenca de la Tuna destaca con la mayor pendiente del cauce principal (28,85%), y con menor pendiente se encuentra Zamora Huayco (7,39%). Calculado el tiempo de concentración el mayor dato registrado lo tiene la cuenca de Vilcabamba con 70 minutos y el menor tiempo se da en Shucus con 29 minutos.

Tabla 16.*Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas pertenecientes al cantón Loja*

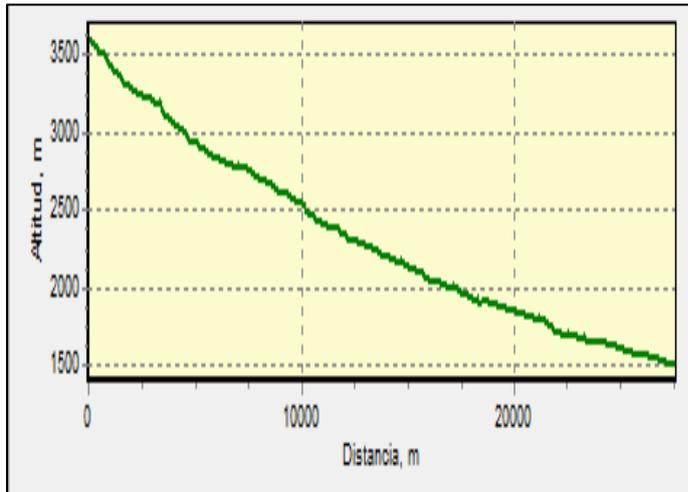
Cuencas	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal (%)	Tiempo de concentración Ven Te Chow (minutos)
Vertiente del Pacífico			
Malacatos Sur	16,24	10,83	69
Alta del Río Guayabal	20,87	25,22	61
Vilcabamba	21,20	17,62	70
Chichaca	11,73	17,25	48
Aguacolla	11,64	17,64	48
Masanamaca	9,93	18,79	42
La Tuna	12,00	28,85	41
Yangana	11,15	20,49	44
Vertiente del Atlántico			
San Lucas	10,25	21,08	41
Santiago	12,05	21,26	46
Malacatos Norte	10,71	8,34	58
Las Mercedes	7,31	20,25	34
Zamora Huayco	5,57	7,39	40
Jipiro	6,96	11,19	40
Zalapa	5,02	14,47	30
Las Pavas	5,85	9,87	37
Cenen	6,75	23,28	31
Shucus	6,77	27,38	29

Elaboración: El Autor.

A modo de ejemplo se indica el perfil del cauce principal generado en SIG de la subcuenca Alta del río Guayabal Figura 15 mismo que nace a una altitud de 3550 m.s.n.m., y desemboca a los 1500 m.s.n.m., debido a sus pendientes en caso de presentarse intensas precipitaciones causan daños en la parte baja de las cuencas, esto se puede visualizar en mayor parte en la ciudad de Loja. Anexos 3 y 4.

Figura 15.

Perfil del cauce principal de la subcuenca Alta del río Guayabal



Elaboración: El Autor.

6.2 Cálculo del Índice de retención y regulación hídrica a partir de la curva de duración general

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó mediante la estimación de la precipitación media mensual de las cuencas, una vez obtenida dicha información se procedió a calcular los caudales medios mensuales a través del método racional para lo cual resulta importante obtener el coeficiente de escorrentía, con el resultado de los caudales medios se graficó la curva de duración general, la misma que posteriormente servirá para generar los índices de retención y regulación hídrica.

6.2.1 Análisis de la Precipitación media mensual de las microcuencas en estudio

Las estaciones consideradas para el cálculo de la precipitación media mensual fueron: La Argelia, San Lucas, Saraguro, San Francisco, Zaruma, El Cisne, La Toma, El Tambo – Loja, Cajanuma, Malacatos, Gonzanamá, Amaluza, Quinara, Yangana. Considerando a la estación La Argelia como base, la información pluviométrica se consiguió a partir de anuarios meteorológicos del INAHMI; las mismas que constan en la Tabla 17, en donde se presentan sus coordenadas correspondientes.

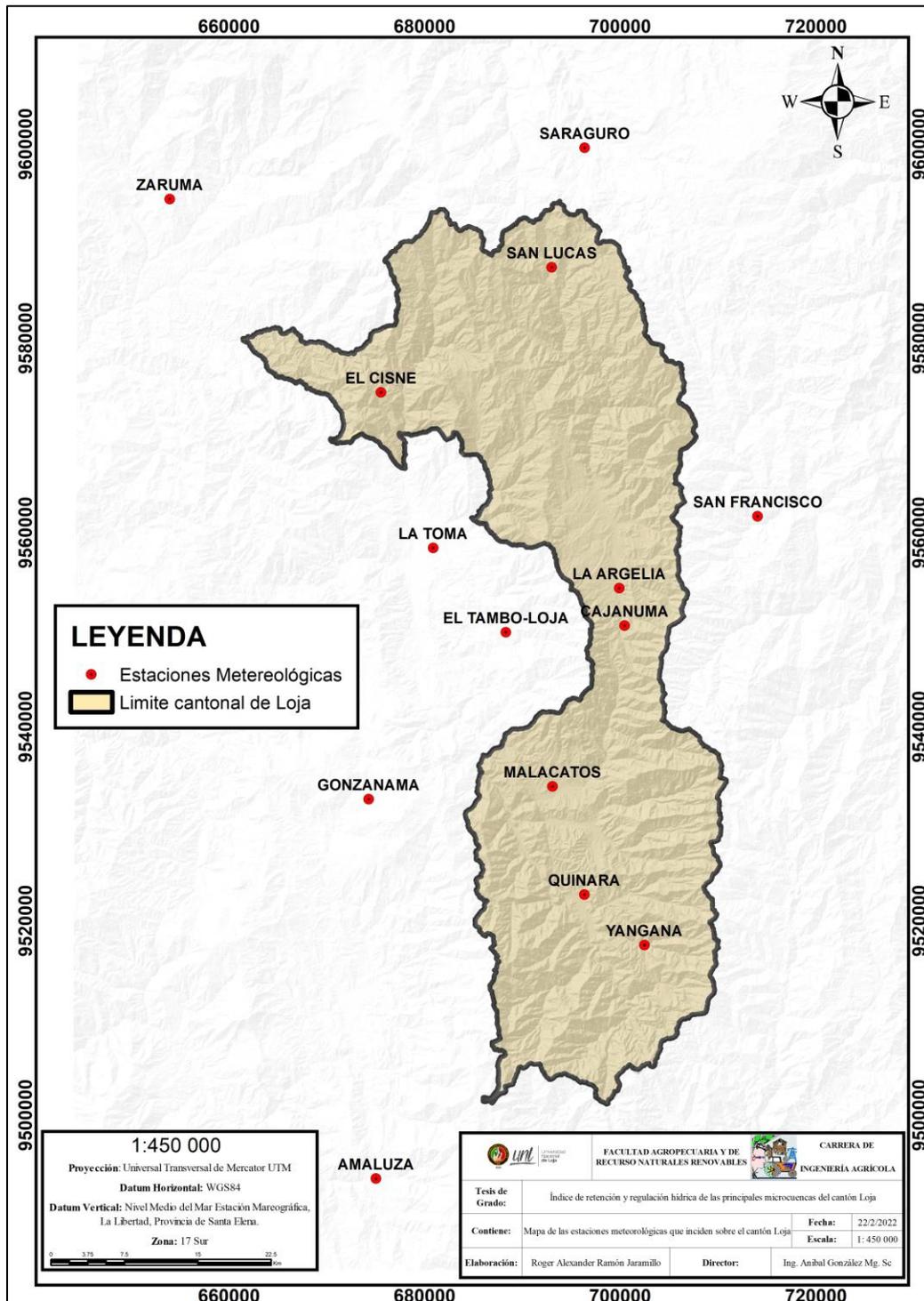
Tabla 17.*Precipitación media mensual de las estaciones consideradas en el estudio para el periodo de 1990 a 2013*

ID	Estaciones	Altura	X	Y	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
M033	La Argelia	2160	699905	9554269	96,7	136,0	143,6	99,3	66,3	62,4	50,8	42,2	39,8	79,0	76,4	126,7
M142	Saraguro	2525	696358	9599619	77,1	104,5	129,9	89,1	58,4	45,0	34,3	30,7	39,0	67,8	72,9	103,4
M432	San Lucas	2525	693002	9587307	82,3	107,2	130,3	96,1	60,5	59,5	45,9	35,7	46,3	63,7	77,3	94,1
M149	Gonzanamá	2040	674289	9532544	19,5	255,1	296,9	271,1	97,4	21,0	18,1	4,1	31,2	68,5	130	122,9
M542	El Cisne	2340	675540	9574430	142,3	199,4	199,5	116,9	59,0	26,1	17,0	13,1	19,6	58,4	85,3	146,9
M060	La Toma	1230	680892	9558407	55,2	98,4	99,0	68,7	34,1	11,5	9,5	7,1	15,9	43,1	45,6	57,6
M503	San Francisco	1620	714033	9561672	129,1	177,7	179,5	237,5	244,7	299,7	256	162,1	156	133	115	141,1
M145	Quinara	1560	696317	9522733	101,1	163,5	175,7	113,7	52,8	28,2	12,3	8,7	23,7	88,0	97,7	108,7
M147	Yangana	1860	702473	9517522	126,5	186,6	187,2	120,6	73,5	67,7	54,9	34,6	35,0	94,7	91,0	129,7
M759	El Tambo-Loja	1580	688306	9549743	88,9	151,8	189,2	148,4	56,0	23,1	15,5	9,5	37,7	74,6	84,1	102,6
M143	Malacatos	1500	693067	9533871	70,4	126,3	122,5	101,5	37,5	9,4	6,4	5,4	18,8	82,9	63,3	74,1
M543	Cajanuma	2267	700452	9550428	115,3	163,7	166,0	122,2	82,6	72,4	54,9	44,8	43,5	84,8	87,6	123,5
M180	Zaruma	2267	653957	9594333	231,5	315,4	319,0	241,8	104,9	25,8	8,7	2,6	13,7	24,7	53,8	146,1
M150	Amaluza	1760	675022.7	9493475	125,4	184,1	214,2	127,8	51,5	13,8	9,0	6,3	14,3	54,7	73,9	86,7

Para realizar el cálculo de la precipitación media mensual de las microcuencas, fue necesario la elaboración de un mapa de las estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio como se visualiza en la Figura 16.

Figura 16.

Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio



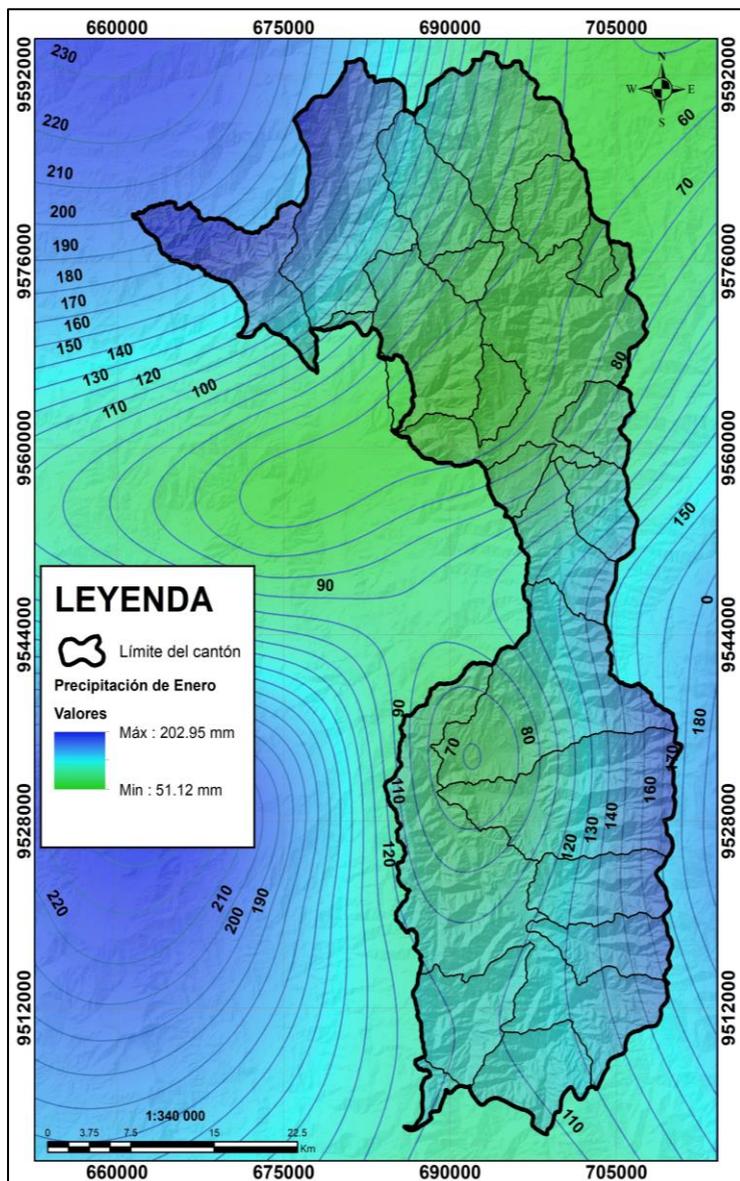
Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor

Las vertientes del Pacífico (cuencas del Río Catamayo) y en las vertientes del Atlántico (cuencas del Río Zamora), inciden en la precipitación media mensual del cantón Loja, como se observa en la Figura 17, por ejemplo, para el mes de enero, para un periodo de observación de 23 años se distribuye de la siguiente manera en donde los valores más altos se dan en las cuencas de Alta del Río Guayabal, Malacatos Sur, Vilcabamba, Masanamaca y Yangana con valores de 202,95 mm. Por su parte los datos más bajos de 51,12 mm se presentan en las cuencas centro sur del cantón Loja. De igual manera se generaron los mapas pluviométricos de los meses restantes (Anexo 9).

Figura 17.

Mapa de precipitación media mensual de enero del cantón Loja



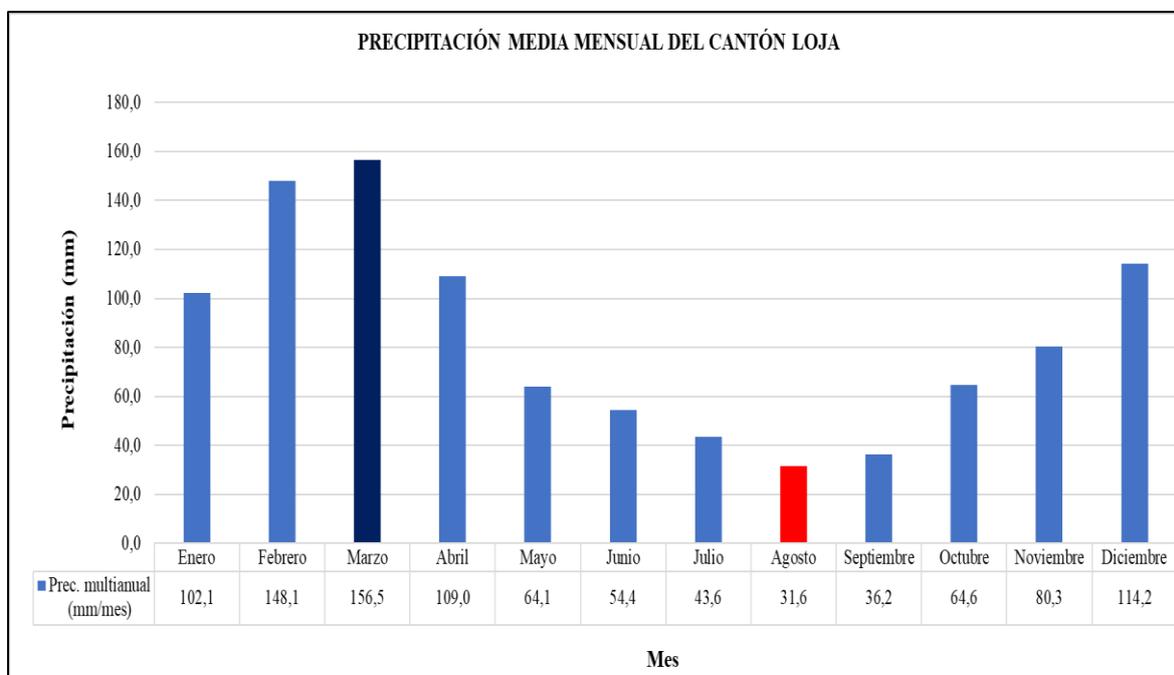
Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor

En la Figura 18 se visualiza el histograma de precipitación media mensual del cantón Loja va de 156, 5 mm y en el mes de marzo hasta 31, 6 en agosto siendo este el mes más crítico del año.

Figura 18.

Histograma de precipitación media mensual del cantón Loja



Elaboración: El Autor

La Tabla 18 muestra la precipitación media mensual de las subcuencas el cantón Loja, que va de 23,2 a 175,3 mm en Malacatos Sur, de 20,2 a 179,2 mm en la cuenca Alta del Río Guayabal, en Vilcabamba de 11,3 a 165,1 mm en San Lucas de 32,5 a 135,8 mm y en Chichaca de 28,3 a 122,0 mm.

Tabla 18.

Precipitación media mensual de las subcuencas del cantón Loja

Meses	Malacatos Sur	Alta del Río Guayabal	Vilcabamba	San Lucas	Chichaca
Enero	108,2	120,9	98,9	86,0	73,0
Febrero	175,3	171,4	158,8	113,6	104,2
Marzo	158,7	179,2	165,1	135,8	122,0
Abril	130,0	117,5	120,1	98,8	72,1
Mayo	84,5	62,4	54,9	65,4	52,6
Junio	42,6	37,8	25,4	59,4	42,6

Julio	31,8	25,9	18,0	46,1	37,2
Agosto	23,2	20,2	11,3	35,2	28,3
Septiembre	32,0	27,4	24,4	49,8	30,5
Octubre	90,1	59,1	85,1	65,8	48,7
Noviembre	77,6	83,1	84,8	77,9	56,8
Diciembre	95,7	134,8	120,6	99,5	80,0
SUMA	1049,8	1039,7	967,5	933,2	748,0

Elaboración: El Autor

Con respecto a las cuencas de la vertiente del Pacífico, como se visualiza en la Tabla 20, destacan La Tuna y Yangana con una precipitación media anual de 1605,48 y de 1453,57 mm respectivamente, la precipitación en época lluviosa que constan desde los meses de diciembre a abril, las microcuencas presentan mayor precipitación en el mes de marzo Aguacolla (193,8 mm), Masanamaca (183,3 mm), La Tuna (234,9 mm) y Yangana (216,9 mm). Por otro lado, en la época seca que comprende los meses de mayo a noviembre, el menor registro se da en el mes de agosto para las microcuencas de Aguacolla (15,7 mm), Masanamaca (20,6 mm) pero en septiembre para La Tuna (57,6 mm) y Yangana (50,9 mm).

Tabla 19.

Precipitación media mensual de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico

Meses	Aguacolla	Masanamaca	La Tuna	Yangana
Enero	118,8	113,2	164,3	147,2
Febrero	177,0	173,9	232,9	213,6
Marzo	193,8	183,3	234,9	216,9
Abril	128,6	107,4	135,2	129,4
Mayo	62,3	65,1	122,6	105,3
Junio	37,2	41,8	121,4	99,5
Julio	25,5	31,4	119,3	94,0
Agosto	15,7	20,6	76,6	60,6
Septiembre	22,3	29,4	57,6	50,9
Octubre	82,0	92,4	111,4	108,9
Noviembre	84,2	89,6	75,8	82,6
Diciembre	112,9	115,3	153,4	144,8
SUMA	1060,3	1063,3	1605,5	1453,6

Elaboración: El Autor

En la Tabla 21 se presentan una mayor precipitación anual en las microcuencas de Shucus con 1442,20 mm, Malacatos Norte con 1386 mm y Jipiro con 1369,23 mm.

El mes de marzo en todas las microcuencas se presenta el valor más alto. Con respecto a la época seca, corresponde a los meses de mayo a noviembre, presentando en Julio un valor de 27,6 mm para Santiago, para el mes de agosto las microcuencas de Malacatos Nudo Cajanuma (38,1 mm), Las Mercedes (56,7 mm), Cenen (44,7 mm) y Shucus (58,1 mm) registra la menor precipitación, en cambio en septiembre se da en las microcuencas de Zamora Huayco (52,4 mm), Jipiro (78,2 mm), Zalapa (19,6 mm) y Las Pavas (48,2 mm).

Tabla 20.*Precipitación media mensual de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico*

Meses	Santiago	Malacatos Norte	Las Mercedes	Zamora Huayco	Jipiro	Zalapa	Las Pavas	Cenen	Shucus
Enero	97,0	143,3	87,5	105,9	103,9	71,0	77,0	105,9	124,5
Febrero	132,4	218,2	118,4	148,6	143,8	104,2	110,2	144,3	178,3
Marzo	148,6	215,4	136,2	154,4	152,0	115,6	127,3	157,1	192,3
Abril	103,9	149,4	113,5	120,4	142,8	127,0	78,2	118,2	129,3
Mayo	57,6	92,2	90,8	89,1	122,2	95,8	37,9	82,4	119,9
Junio	51,1	79,4	93,8	91,1	137,7	97,1	25,7	79,7	120,6
Julio	27,6	60,8	74,1	72,5	115,4	78,5	25,3	63,1	102,6
Agosto	30,9	38,1	56,7	53,7	79,3	23,8	28,3	44,7	58,1
Septiembre	38,6	40,5	62,9	52,4	78,2	19,6	48,2	51,9	64,7
Octubre	63,1	95,7	75,3	85,8	93,6	83,3	49,9	70,3	111,1
Noviembre	80,2	102,9	78,9	83,9	89,4	85,7	65,8	85,0	102,4
Diciembre	105,9	150,6	104,8	110,6	111,0	122,2	120,5	114,0	138,2
SUMA	937,0	1386,5	1092,9	1168,4	1369,2	1023,7	794,5	1116,6	1442,2

Elaboración: El Autor

6.2.2 Análisis de los Caudales Medios Mensuales de las Microcuencas en Estudio

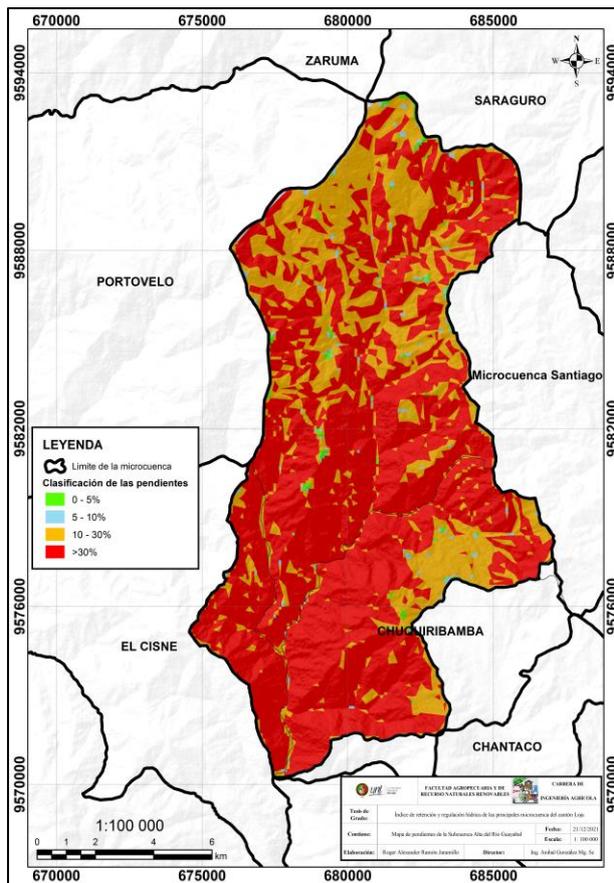
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.2.2.1 Cálculo del coeficiente de Escorrentía. En este apartado se ejemplifico los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo de la subcuenca Alta del Río Guayabal, así mismo, se generaron los mismos mapas del resto de superficies hidrográficas correspondientes al área de estudio Anexo 10 y 11.

Las pendientes para determinar el coeficiente de escorrentía se manifiestan en la figura 19, en donde son mayores a 30 % abarcando un 69,07 % de la superficie de la subcuenca, por su parte las pendientes entre el 10 y 30 % ocupan un 29,04% del territorio.

Figura 19.

Mapa de pendientes de la microcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el Ce



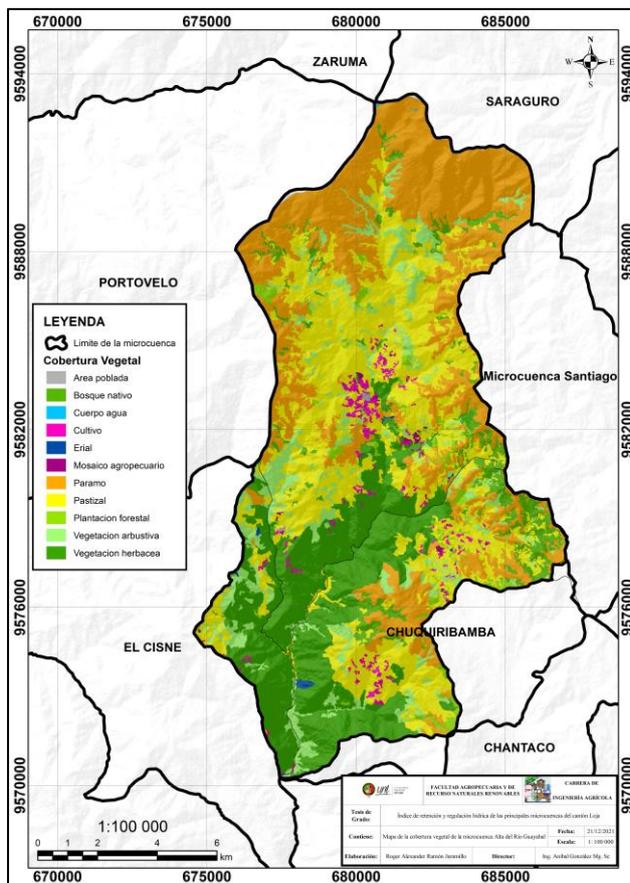
Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor

Con base a la figura 20, en el mapa de cobertura vegetal de la subcuenca Alta del Río Guayabal, predominan las coberturas de páramos, vegetación arbustivas y herbáceas, en tanto que, en esta superficie hidrográfica se ubica demográficamente las parroquias de Gualel, Chuquiribamba y El Cisne las cuales son zonas donde prevalecen los relieves montañosos. Por otra parte, los pastizales abarcan una superficie del 30,57% que son tierras dedicados al pastoreo de ganado.

Figura 20.

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el Ce.



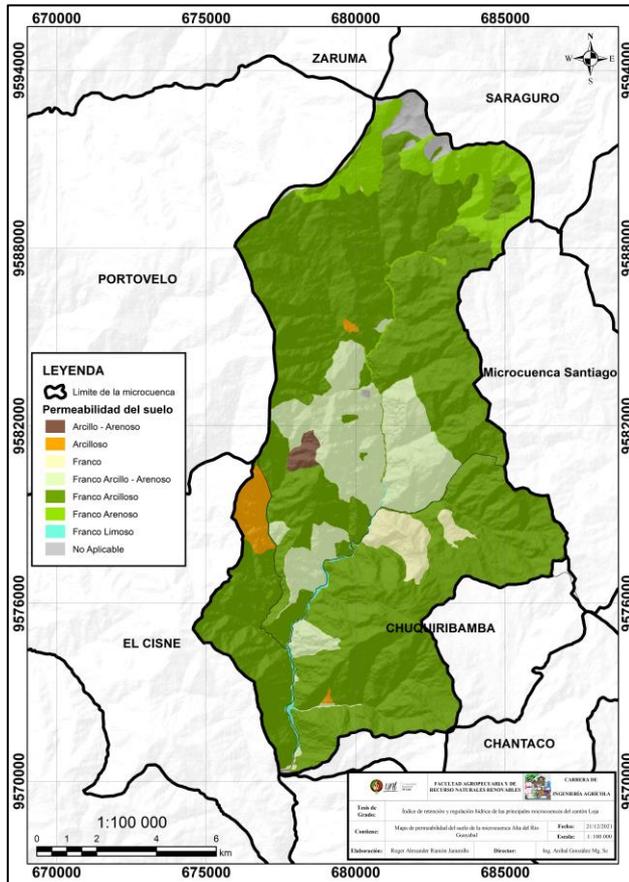
Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor.

La Figura 21, expone la textura o permeabilidad del suelo, en donde sobresalen la clase textural franco y franco arcilloso que ocupan una mayor superficie de 71,81% y en menor parte los suelos de textura franco arcillo arenoso y franco arenoso (14,55% y 7,03%) respectivamente.

Figura 21.

Mapa de permeabilidad del suelo de la subcuenca Alta del Río Guayabal para determinar el Ce.



Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor.

Los valores del coeficiente de escorrentía para las vertientes del Pacífico como del Atlántico se observan en la Tabla 21, presentando el valor más alto en la Microcuenca Las Pavas y su menor valor se registra en Las Mercedes con 0,42.

Tabla 21.*Coefficiente de escorrentía de las superficies hidrográficas en estudio*

Cuencas	Coefficiente de escorrentía
Vertiente del Pacífico	
Malacatos Sur	0,46
Alta del Río Guayabal	0,44
Vilcabamba	0,44
Chichaca	0,48
Aguacolla	0,45
Masanamaca	0,44
La Tuna	0,44
Yangana	0,50
Vertiente del Atlántico	
San Lucas	0,52
Santiago	0,53
Malacatos Norte	0,47
Las Mercedes	0,42
Zamora Huayco	0,50
Jipiro	0,45
Zalapa	0,45
Las Pavas	0,58
Cenen	0,47
Shucus	0,45

Elaboración: El Autor

Una vez calculado el coeficiente de escorrentía y con la ayuda de la ecuación (3) se obtuvo el escurrimiento medio mensual de las unidades hidrográficas en estudio. Los caudales medios de las subcuencas que se manifiestan en la Tabla 22 en donde se presentan los valores medios mensuales de 0,31 a 5,33 m³/s para Malacatos Sur, de 0,54 a 4,80 m³/s en la Alta del Río Guayabal, de 0,30 a 4,36 m³/s para Vilcabamba, en San Lucas de 0,80 a 3,08 m³, en Chichaca se registran valores de 0,62 a 2,49 m³/s

Tabla 22.*Caudales medios mensuales de las Subcuencas*

Meses	Malacatos Sur	Alta del Río Guayabal	Vilcabamba	San Lucas	Chichaca
Enero	3,29	3,24	2,61	1,95	1,49
Febrero	5,33	4,59	4,19	2,58	2,13
Marzo	4,82	4,80	4,36	3,08	2,49
Abril	3,95	3,15	3,17	2,24	1,47
Mayo	2,57	1,67	1,45	1,49	1,07
Junio	1,30	1,01	0,67	1,35	0,87

Julio	0,97	0,69	0,47	1,05	0,76
Agosto	0,71	0,54	0,30	0,80	0,58
Septiembre	0,97	0,73	0,65	1,13	0,62
Octubre	2,74	1,58	2,25	1,50	0,99
Noviembre	2,36	2,22	2,24	1,77	1,16
Diciembre	2,91	3,61	3,18	2,26	1,63
SUMA	31,92	27,83	25,55	21,19	15,28

Elaboración: El Autor

En lo que respecta a la vertiente del Pacífico; se generaron los siguientes resultados en donde las microcuencas en donde se obtuvieron valores anuales para las microcuencas de Aguacolla con 12,99 m³/año, Masanamaca 11,60 m³/año, La Tuna 16,37 m³/año y Yangana 13,44 m³/año pero su mejor registro es en marzo (2,37; 2,0; 2,39 y 2,01 m³/s respectivamente), en el mes de agosto se da el menor registro de caudal para las microcuencas de Aguacolla y Masanamaca (0,19 y 0,22 m³/s.), en cambio, en las microcuencas de La Tuna y Yangana esto sucede en el mes de septiembre con valores de 0,59 m³/s y 0,47 m³/s.

Tabla 23.

Caudales medios mensuales de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico

Meses	Aguacolla	Masanamaca	La Tuna	Yangana
Enero	1,46	1,23	1,68	1,36
Febrero	2,17	1,90	2,37	1,97
Marzo	2,37	2,00	2,39	2,01
Abril	1,58	1,17	1,38	1,20
Mayo	0,76	0,71	1,25	0,97
Junio	0,46	0,46	1,24	0,92
Julio	0,31	0,34	1,22	0,87
Agosto	0,19	0,22	0,78	0,56
Septiembre	0,27	0,32	0,59	0,47
Octubre	1,00	1,01	1,14	1,01
Noviembre	1,03	0,98	0,77	0,76
Diciembre	1,38	1,26	1,56	1,34
SUMA	12,99	11,60	16,37	13,44

Elaboración: El Autor

En la Tabla 24, se muestran los resultados de los caudales medios mensuales de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico, en donde los más altos valores se

muestran en las microcuencas: Santiago con 13,11 m³/año y Malacatos Norte con 15,16 m³/año, siendo el mes de marzo el de mayor registro con 2,08 m³/s para Santiago, Las Mercedes (0,96 m³/s), Zamora Huayco (1,17 m³/s), Jipiro (0,88 m³/s), Las Pavas (0,63 m³/s), Cenen (0,57 m³/s) y Shucus (0,54 m³/s), mientras que, en febrero se presentó un valor de 2,39 m³/s para Malacatos Norte. Por otro lado, las de menor caudal anual son Las Pavas con 3.93 m³/año, Cenen con 4.02 m³/año y 4.04 m³/año para Shucus por época seca los caudales más bajos se dan en el mes de julio con 0,39 m³/s para Santiago y en el mes de agosto para Malacatos Norte, Las Mercedes, Zalapa, Cenen y Shucus (0,42; 0,40; 0,10; 0,16 y 0,16 m³/s) respectivamente, mientras que en septiembre se da para las microcuencas de Zamora Huayco (0,40 m³/s) y Jipiro (0,45 m³/s).

Tabla 24.*Caudales medios mensuales de las microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico*

Meses	Santiago	Malacatos Norte	Las Mercedes	Zamora Huayco	Jipiro	Zalapa	Las Pavas	Cenen	Shucus
Enero	1,36	1,57	0,61	0,80	0,60	0,31	0,38	0,38	0,35
Febrero	1,85	2,39	0,83	1,13	0,83	0,45	0,55	0,52	0,50
Marzo	2,08	2,35	0,96	1,17	0,88	0,50	0,63	0,57	0,54
Abril	1,45	1,63	0,80	0,91	0,83	0,55	0,39	0,43	0,36
Mayo	0,81	1,01	0,64	0,68	0,71	0,41	0,19	0,30	0,34
Junio	0,72	0,87	0,66	0,69	0,80	0,42	0,13	0,29	0,34
Julio	0,39	0,67	0,52	0,55	0,67	0,34	0,13	0,23	0,29
Agosto	0,43	0,42	0,40	0,41	0,46	0,10	0,14	0,16	0,16
Septiembre	0,54	0,44	0,44	0,40	0,45	0,80	0,24	0,19	0,18
Octubre	0,88	1,05	0,53	0,65	0,54	0,36	0,25	0,25	0,31
Noviembre	1,12	1,12	0,55	0,64	0,52	0,37	0,33	0,31	0,29
Diciembre	1,48	1,65	0,74	0,84	0,64	0,53	0,60	0,41	0,39
SUMA	13,11	15,16	7,67	8,87	7,92	4,43	3,93	4,02	4,04

Elaboración: El Autor

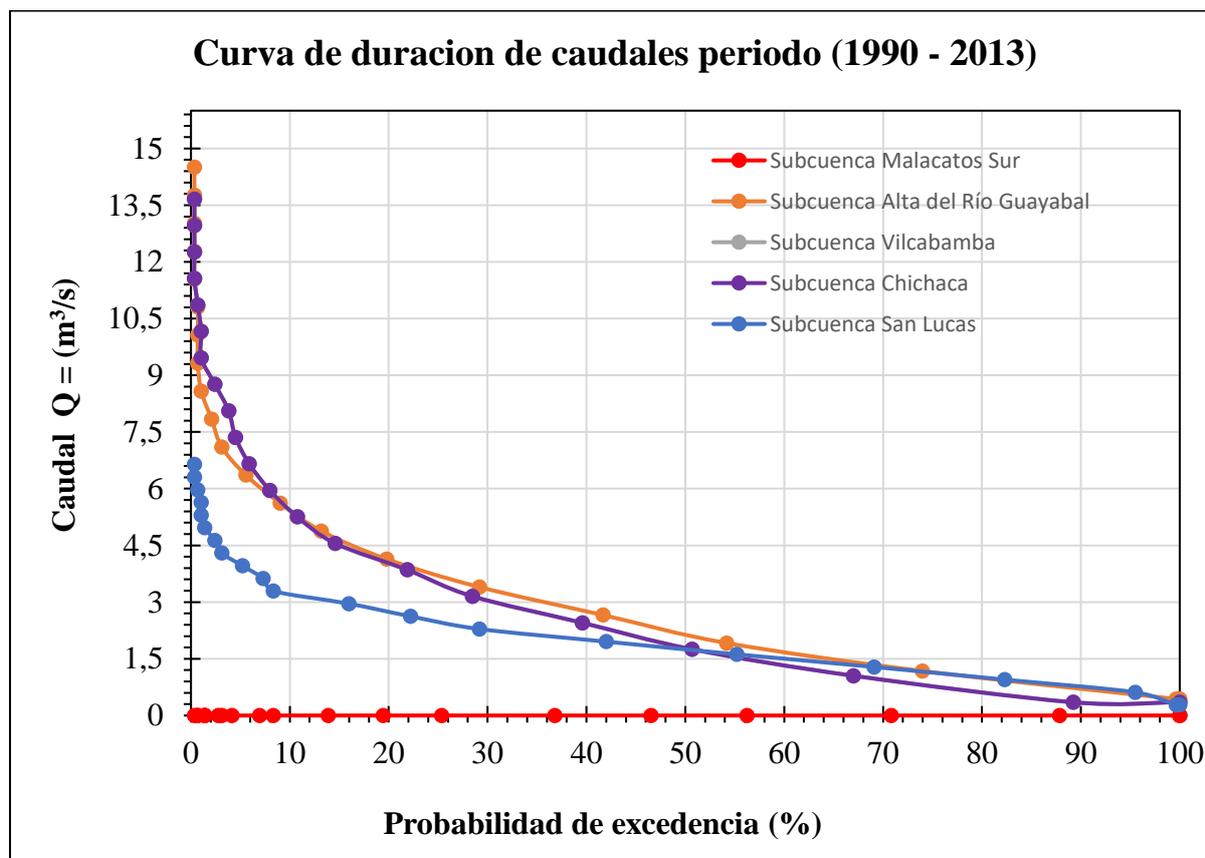
6.2.3 Curva de duración general

Partiendo de la definición de (Gómez, 1999), en donde manifiesta que la parte inicial de la curva de duración de caudales se puede apreciar el tipo de escurrimiento de la cuenca, mientras que la parte final muestra sus características del almacenamiento. Las curvas representadas en la Figura 22, muestran fuertes pendientes a baja probabilidad de excedencia, es decir que, a alta variabilidad de lluvias existe variaciones altas de caudal en dichas cuencas hidrográficas, pero conforme avanza la curva los caudales se estabilizan, lo que da a entender que la duración en este sector es más permanente; por otro lado, en dicha representación se observa que la subcuenca de San Lucas presentan una curva con pendientes bajas lo que revela la presencia de un almacenamiento superficial que tiende a igualar el flujo de agua.

El clima, la forma y la cobertura vegetal de la cuenca, exceptuando aquellas cuencas que son muy permeables, influyen en la distribución de los flujos altos de la curva de duración de caudales, los flujos bajos en una cuenca se deben por la geología, mientras que, los factores que afectan directamente al escurrimiento son variaciones en la permeabilidad de la formación, la profundidad hidráulica del río y la formación subyacente (Gómez, 1999). En las Figura 22 se aprecia que presentan forma delgada lo que indica que existe baja regulación hídrica, caso contrario a esta forma se deduce que tiene alta regulación hídrica, lo que representa una cuenca bien conservada ver en el Anexo 12 y 13, resulta de vital importancia que la curva de duración general conste con una alta duración de caudales, en las microcuencas de estudio, presentan pendientes pronunciadas, lo que permiten conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o incluso inferiores, es decir la variabilidad de estos

Figura 22.

Curva de duración general de caudales de las subcuencas



Elaboración: El Autor

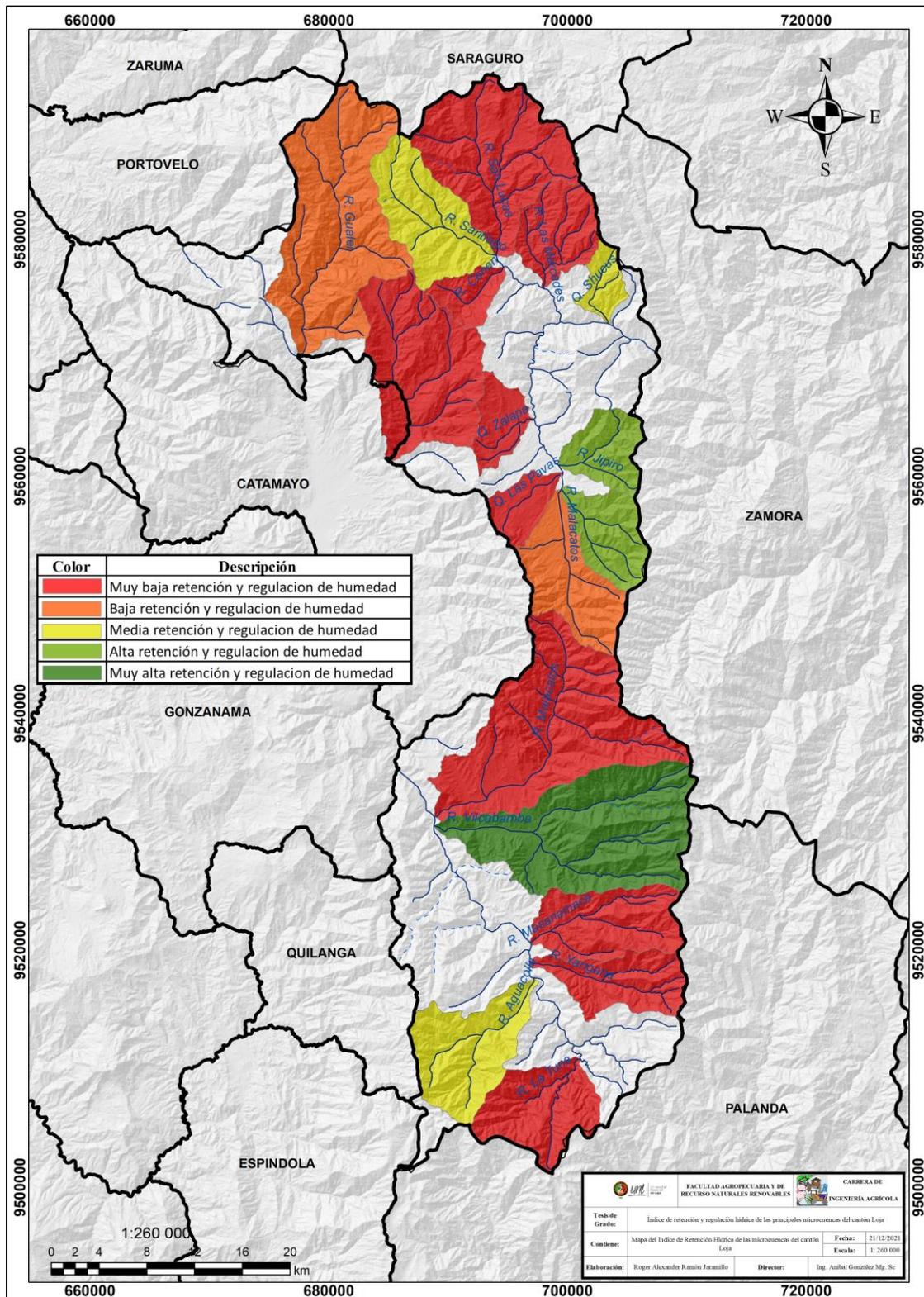
6.2.4 Índice de retención y regulación hídrica

Su estimación resulta de la interacción entre el volumen representado por el sector que está por debajo de la línea del caudal medio y el que corresponde al área total bajo la curva de duración de caudales medios mensuales; como se visualiza en el Anexo 14, en la cual se estimó un índice de 0,54 para la Subcuenca Malacatos Sur, lo que según el IDEAM (2010) indica una moderada retención y regulación de humedad, esto guarda estrecha relación con las condiciones de cobertura vegetal, pendientes y tipo de suelos, permitiendo que no exista una infiltración total.

En la Figura 23, se visualiza muy alta retención de humedad en la Subcuenca de Vilcabamba, al contrario de San Lucas, Cenén, Las Mercedes, Chichaca, Las Pavas, Malacatos Sur, Masanamaca, Yangana y La Tuna que tienen muy baja retención hídrica.

Figura 23.

Mapa del índice de retención y regulación hídrica de las microcuencas del cantón Loja



Fuente: (CIT, 2020).

Elaboración: El Autor

La subcuenca de Vilcabamba en la Tabla 26, presenta un alto índice de retención hídrica (0,90), lo que significa que tiene muy alta regulación de humedad al tener una cobertura de 41,36 % de bosque nativo, los caudales se mantienen en equilibrio durante todo el año. Por otro lado, el valor más bajo se muestra en Chichaca y Masanamaca (0,38 y 0,28 respectivamente), esto guarda estrecha relación con la cobertura vegetal, donde predominan los pastizales (43,73 y 17,14 %) y pendientes escarpadas con valores de 41,57% y 54,26% provocando un déficit hídrico en las cuencas. En lo que respecta a la vertiente del Atlántico donde San Lucas, Las Mercedes, Zalapa y Cenen tienen índices menores a 0,50 que se interpretan como muy bajos en comparación a Zamora Huayco y Jipiro con 0,78 y 0,76 que tienen alto índice de retención hídrica y permiten que la cuenca se encuentre en equilibrio, por otro lado, las microcuencas de Santiago y Shucus (0,66 y 0,73) presentan un índice de retención moderado que por condiciones de suelo, cobertura vegetal y pendiente no permite que exista una infiltración total.

Tabla 25.

Índice de retención hídrica de las microcuencas de la vertiente del Pacífico y del Atlántico.

Cuencas	IRH	Descripción
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	0,54	Baja retención y regulación de humedad
Alta del Río Guayabal	0,57	Baja retención y regulación de humedad
Vilcabamba	0,90	Muy Alta retención y regulación de humedad
Chichaca	0,38	Muy baja retención y regulación de humedad
Aguacolla	0,70	Media retención y regulación de humedad
Masanamaca	0,28	Muy baja retención y regulación de humedad
La Tuna	0,46	Muy baja retención y regulación de humedad
Yangana	0,46	Muy baja retención y regulación de humedad
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	0,34	Muy baja retención y regulación de humedad
Santiago	0,66	Media retención y regulación de humedad
Malacatos Norte	0,53	Baja retención y regulación de humedad
Las Mercedes	0,10	Muy baja retención y regulación de humedad
Zamora Huayco	0,78	Alta retención y regulación de humedad
Jipiro	0,76	Alta retención y regulación de humedad
Zalapa	0,32	Muy baja retención y regulación de humedad
Las Pavas	0,53	Baja retención y regulación de humedad
Cenen	0,33	Muy baja retención y regulación de humedad
Shucus	0,73	Media retención y regulación de humedad

Elaboración: El Autor

6.3 Cuencas seleccionadas para la intervención

En la Tabla 27 se obtienen valores de 0,50 a 0,65 en las sub y microcuencas Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Malacatos Norte y Las Pavas que poseen baja retención y regulación hídrica. Por otro lado, las cuencas de Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Las Mercedes, Zalapa y Cenen contienen muy baja retención y regulación hídrica por presentar valores menores a 0,50 debido a las condiciones de suelos, cobertura vegetal y pendientes.

Tabla 26.

Cuencas seleccionadas para la intervención.

Cuencas	IRH	Descripción
Vertiente del Pacífico		
Malacatos Sur	0,54	Baja retención y regulación de humedad
Alta del Río Guayabal	0,57	Baja retención y regulación de humedad
Chichaca	0,38	Muy baja retención y regulación de humedad
Masanamaca	0,28	Muy baja retención y regulación de humedad
La Tuna	0,46	Muy baja retención y regulación de humedad
Yangana	0,46	Muy baja retención y regulación de humedad
Vertiente del Atlántico		
San Lucas	0,34	Muy baja retención y regulación de humedad
Malacatos Norte	0,53	Baja retención y regulación de humedad
Las Mercedes	0,10	Muy baja retención y regulación de humedad
Zalapa	0,32	Muy baja retención y regulación de humedad
Las Pavas	0,53	Baja retención y regulación de humedad
Cenen	0,33	Muy baja retención y regulación de humedad

Elaboración: El Autor

6.3.1 Factores que influyen en la regulación hídrica

Las microcuencas indicadas en la Tabla 27 fueron seleccionadas para ser intervenidas puesto que sus condiciones climáticas, topográficas y de vegetación resultan de gran importancia además de constituir variables en el origen de la regulación hídrica. Para estas características existe una disponibilidad importante de base de datos, por lo cual para la presente investigación se han seleccionado factores como la precipitación, cobertura vegetal, pendientes y tipo de suelo.

La precipitación según el Centro de Investigaciones Territoriales CIT (2020), manifiesta que en el cantón Loja, existen dos temporadas bien marcadas, la época lluviosa se da desde de diciembre a abril, siendo mayo el pico ma alto con 193,41 mm; mientras que, la época seca empieza en los meses de mayo y se extiende hasta noviembre, en donde agosto es

el mes más crítico del año, donde presenta una precipitación de 33,8 mm. Un factor influyente en la regulación hídrica es la cobertura vegetal, las cuencas a intervenir en la mayor parte de su territorio presentan predominio de pastizales para ganadería que conjuntamente con las características y formas del relieve, es decir las fuertes y escarpadas pendientes propias de la zona dificultan la infiltración total del agua en el suelo, adicional a estos factores se debe tener en cuenta la geopedología identificándose la clase textural de cada unidad hidrográfica, en donde prevalecen los suelos de textura arcillosa, franco arcilloso y franco arcillo-arenoso, los que a su vez retienen gran cantidad de agua por la microporosidad que poseen, presentan baja permeabilidad dificultando el paso del agua a través del perfil del suelo, lo que complica el abastecimiento de aguas en las cuencas y la recarga de sus caudales.

6.3.2 Propuesta de conservación de cuencas hidrográficas

A continuación, se proponen roles y funciones estratégicas que se pueden y deben desempeñar para enfocarlas a resolver la problemática relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales de las microcuencas del cantón Loja, en base a la Tabla 27 en donde se presentan las unidades hidrográficas con respecto al índice de retención y regulación hídrica.

Lineamientos estratégicos para la recuperación de cuencas con índices de regulación hídrica bajos.

Este proyecto busca influir en la revegetalización de las cuencas hidrográficas de acuerdo con las características de cobertura vegetal que poseen, mismas que presentan riesgos por inundación y erosión en las partes bajas de las cuencas, esto se justifica por medio de la desertificación, la cual tiene sus orígenes en la pérdida de cobertura vegetal en todas sus formas, la regulación de la escorrentía y el control de la erosión de los suelos tiene una relación directa con la vegetación dentro de una cuenca.

Las cuencas de Malacatos Sur (22,70 %), Alta del Río Guayabal (30,57 %), Chichaca (43,73 %), San Lucas, (55,11 %), Zalapa (62,56 %), Las Pavas (33,46 %), Cenen (63,60 %) presenta grandes problemas de revegetalización, debido al alta cantidad de pastizal que poseen, provoca sobre explotación y uso irracional de la vegetación, cuyas consecuencias se ven reflejadas en una erosión acelerada del suelo y pérdida de volúmenes regulares de las cuencas, estos daños se incrementan en época lluviosa donde se evidencian máximas crecidas que inducen a desastres naturales en las partes bajas de las cuencas (Gaspari et al. 2013).

Las unidades hidrográficas de Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Malacatos Norte, Las Mercedes, Cenen se

encuentren expuestas a una serie de riesgos por tener pendientes colinadas y escarpadas, así mismo las condiciones físicas, clase textural del suelo (suelos impermeables) y alto nivel de escurrimiento del agua forman parte de las causas de un rápido agotamiento de los recursos y escasa regulación de humedad. Para mantener la integridad de la superficie del suelo, se debe emplear técnicas de mejoramiento y conservación (Raudes & Sgastume, 2009).

Las pendientes de los cauces en Alta del Rio Guayabal, Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Malacatos Norte, Zalapa y Cenen son fuertes, lo que ocasiona, arrastre de material grueso, como cantos rodados, erosión de las márgenes en relieves montañosos, además, se presenta degradación de los cauces, modificando eventualmente la corriente del agua (Mogollón & Sánchez, 2018).

Localización

Esta propuesta se ubica en las superficies hidrográficas de Malacatos Sur, Alta del Rio Guayabal, Chichaca, San Lucas, Zalapa, Las Pavas, Cenen.

Objetivo General

- Mejorar el estado de las microcuencas del cantón Loja, con bajo índice de retención hídrica para la gestión apropiada de sus recursos mediante planes y manejos de recuperación y conservación de suelos.

Objetivos Específicos

- Restablecer la cobertura vegetal para disminuir la erosión e inundación en las partes bajas de las cuencas.
- Realizar un plan de manejo y conservación de suelos, para enmendar los posibles efectos e impactos ambientales negativos causados en las unidades hidrográficas.
- Controlar el potencial destructivo, producto de la energía del flujo proveniente principalmente de la elevada pendiente de los cauces y de la presencia de materiales sólidos.
- Proponer estrategias de difusión y concientización a la ciudadanía como medio para fomentar la prevención de deslizamientos.

Técnicas

a.) Revegetalización de las cuencas hidrográficas

La revegetación es una actividad orientada a devolver y restaurar la cobertura vegetal de una determinada área que, por producto de acción antrópica, se ha ido deteriorando en su

formación, alterando de esta manera el comportamiento de los suelos, especialmente en las laderas o pendientes. El objetivo de esta actividad es mejorar la calidad del suelo protegiéndolo contra la erosión, generando ecosistemas acordes y a su vez mantener el equilibrio ecológico de las especies vegetales, es importante revisar toda la información histórica, realizar un inventario detallado del área a revegetar, considerando los factores bióticos y abióticos presentes en la zona, así como, describir los recursos ambientales, principalmente relacionados al clima, los suelos y la vegetación. (Vásquez et al., 2016).

La serie de pequeñas cuencas experimentales y los modelos para las cuencas más amplias recalcan la importancia de la situación hídrica de inicio de los suelos y ponen a flote la evidencia de un efecto umbral, el resultado amortiguador de la vegetación es muy importante mientras mayor sean las condiciones de degradación, mayor será el aporte al control de la erosión y por consiguiente la disminución de los desastres naturales, ya que disminuirá el caudal de las máximas crecidas.

Se recomienda por consiguiente reforestación con plantas perennes nativas o endémicas de cada zona, de crecimiento denso y de buen enraizamiento a los alrededores de las cuencas hidrográficas en contra de la pendiente del terreno y siguiendo las curvas de nivel. Se debe tomar en cuenta que esta práctica es recomendada en zonas donde ocurre erosión, pero sobre todo en áreas con precipitación abundante e intensa (González & Guillén, 2010).

Para hacerle frente a la pérdida constante de la cobertura vegetal y por medio de la combinación adecuada de las especies vegetales, Vásquez et al. (2016) y Valarezo (2012) recomiendan la revegetación de las unidades hidrográficas con:

- **Sistemas silvopastoriles:** Es un sistema asociado por cuatro elementos ganado, pastos, árboles y el suelo los cuales interactúan entre sí, esta tecnología representa una alternativa de producción y conservación
- **Sistemas agroforestales:** Se refiere a la asociación de plantaciones forestales y cultivos agrícolas.
- **Sistemas agrosilvopastoriles:** Es propio de pequeños productores, el cual consiste en el usos apropiado y asociado de los suelos para la producción agrícola, pastos y forestales, dependen de las condiciones técnicas. Económicas y sociales de sus propietarios.

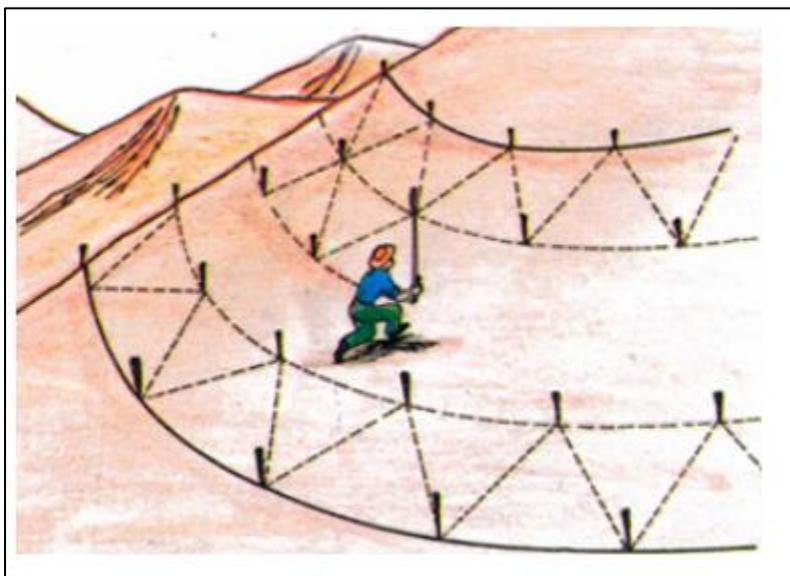
b.) Manejo y conservación de suelos

Para mantener y mejorar la buena salud de los suelos se necesita de mucha atención en las practicas, mismas que, permiten que los suelos se mantengan fértiles y sanos (Raudes & Sgastume, 2009).

Se propone de manera natural realizar cultivos por medio de las barreras vivas que son hileras densas provenientes de diversas especies vegetales sembradas siguiendo las curvas de nivel, la distancia entre las curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo. Estas servirán para reducir la velocidad de escorrentía del agua, por cortar las pendientes de la ladera en pendientes más cortas y reducir la velocidad del viento. Adicional a ello, la barrera sirve como filtro para retener los sedimentos que van en el agua de escurrimiento (IICA et al., 2020).

Figura 24.

Barreras vivas siguiendo las curvas de nivel.



Fuente: SENA (1990).

Como otra opción se propone el empleo de obras biomecánicas, las cuales al implementarse involucran materiales vivos e inertes, con el fin de que estas estructuras sean económicas y de fácil construcción, con las mismas se pretende controlar la degradación, erosión, deslizamientos y lograr conservar la calidad de los suelos (De la Rosa et al., 1994). Se consideran la construcción de trinchos (estructuras de guadua, madera o piedra dispuestas en forma de muro) y terrazas (plataformas o escalones a través de la pendiente y separados por paredes verticales protegidas por vegetación), las cuales consisten en la siembra directa de especies vegetales que se adhieran al suelo, de esta manera se recupera la capa vegetal deteriorada o el suelo expuesto al agua y al viento que causa procesos de erosión. También se

utilizan para evitar los deslizamientos de las capas superficiales del suelo, ayudando a la mineralización de la materia orgánica (FAO, 2018)

Figura 25.

Construcción de obras biomecánicas



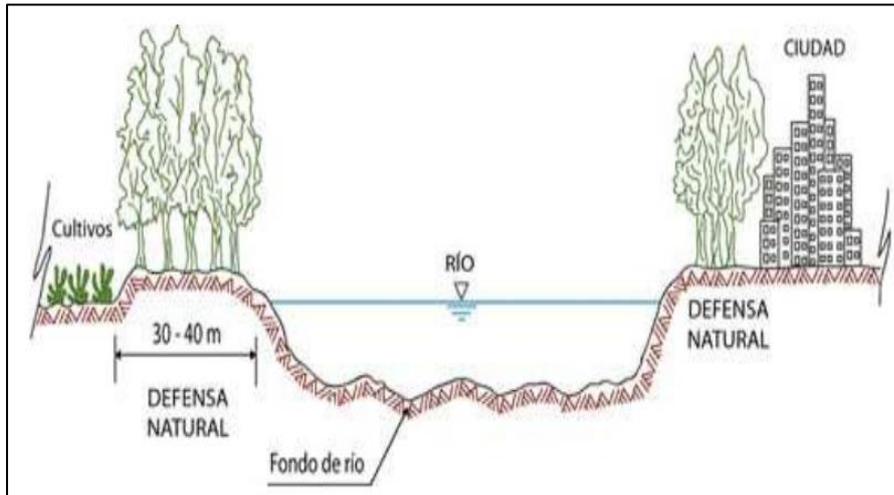
Fuente: FAO (2018)

c.) Control de torrentes.

Cuando azotan con fuerza y velocidad las grandes precipitaciones los caudales crecen aumentando así el arrastre de sedimentos y la erosión en la lateral de los cauces, por ende, los riesgos de inundación principalmente en las zonas bajas de las microcuencas. El control de torrentes se construye muy fácilmente a partir de troncos, piedras o gaviones y deben ser cuidadosamente instalados para evitar ser erosionados y arrastrados por las crecidas (González & Guillén, 2010). Para reducir gastos económicos se sugiere el empleo de defensas vivas naturales, ver Figura 26 las mismas están constituidas por diversas cantidades de árboles y arbustos de buena densidad colocados en ambas márgenes del cauce entre una distancia de 30-40 m. También se puede utilizar las defensas vivas forestales que se basan en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas, ubicadas en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensa artificial por lo general son de 10 a 30 m) (Vásquez et al. 2018).

Figura 26.

Defensas vivas naturales

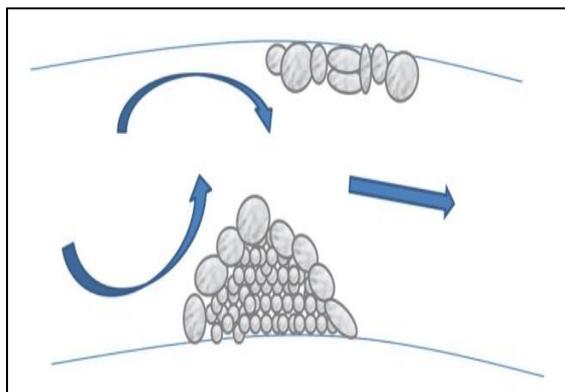


Fuente: Vásquez et al. (2018).

Es importante tener en cuenta a lo largo de los drenes ver los sitios con mayor riesgo a sobresalir su cauce, curvas con exabruptos que deterioren o erosionen, como se visualiza en la Figura 27, para ello habría que elegir tramos donde se coloquen las estructuras de control de corrientes, con la finalidad de conseguir la reducción de la erosión causada por el agua y teniendo en cuenta respetar la estabilidad geomorfológica del cauce (González & García, 1995).

Figura 27.

Esquema de un deflector de corriente.



Fuente: González & Guillén (2010).

También se puede emplear el uso de gaviones, piedras o troncos que son considerados como deflectores de corrientes que son muy útiles para disipar el exceso de energía, estos instrumentos deben ser correctamente instalados para evitar que sean erosionados o arrastrados

por las crecidas del cauce, estos deben diseñarse de forma triangular con uno de sus lados bien anclado a las orillas de la cuenca (González & García, 1995).

Se sugiere la construcción de diques marginales, como se muestra en la Figura 28 los cuales se construyen dentro de los cauces, cuyo objetivo es dirigir y encauzar convenientemente el flujo de agua para proteger sus márgenes, sobre todo en las curvas, son muy irregulares y de utilizar espigones estos requerirán más volumen de obra. O el uso de diques transversales los cuales sirven para estabilizar las laderas, retener los acarreo y disminuir la velocidad del agua lo que permite reducir la cantidad de elementos solidos (Rojas, 2014).

Figura 28.

Dique marginal encausamiento de un río



Fuente: Marín (2019).

d.) Ordenación de las actividades de las cuencas

La ocupación racional del territorio y la perseveración del ambiente son técnicas consustanciales con un enfoque de desarrollo, que pone en su centro de atención la relación que se necesita de armonía en una relación sociedad-naturaleza. Los planes de ordenación constituyen instrumentos adecuados de la gestión y acción de los procesos y políticas de las actividades en función del desarrollo integral y sostenible (Ovalles et al. 2008).

El Ordenamiento Territorial (OT) es un proceso técnico, administrativo y político que se utiliza para llevar a cabo una adecuada planificación, ocupación, aprovechamiento y utilización ordenada del territorio y uso sostenible de sus recursos naturales, mismos que se

presentan en una microcuenca, subcuenca, cuenca, región o un país, en donde participan los actores sociales, políticos, institucionales, culturales, económicos y técnicos. El OT, debe llevarse a cabo tomando como base la zonificación económica y ecológica (ZEE) que se haya efectuado a la cuenca, la ZEE, toma en consideración criterios ambientales, económicos, sociales, culturales, institucionales y geopolíticos; cuyo objetivo es el desarrollo sostenible y la calidad de vida de las personas (Vásquez et al. 2018).

Los principales instrumentos técnicos para la elaboración del ordenamiento territorial recomendados por el Ministerio del Ambiente (2015) y (Vásquez et al. 2018) son:

- **Zonificación ecológica y económica (ZEE):** Es un proceso dinámico y flexible para la caracterización de diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado, basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales
- **Estudios especializados (EE):** Son instrumentos técnicos de carácter estratégico que resaltan del estudio de las dinámicas, relaciones y funcionalidad que se presentan en un determinado territorio y su articulación con otros territorios
- **Diagnóstico integrado del territorio (DIT):** Se encarga de integrar y analizar la información generada en la ZEE y los EE, a su vez permite completar el conocimiento de las condiciones y características ambientales y sociales, así como la dinámica y tendencias de crecimiento económico de un ámbito geográfico, y de sus implicancias en los ecosistemas. Aporta información sobre las variables clave o aspectos más importantes que determinan la ocupación del territorio.
- **Plan de ordenamiento territorial (POT):** Se define como la orientación, planificación y gestión del territorio, articulados a los planes ambientales, de desarrollo económico, social, cultural y otras políticas de desarrollo vigentes en el país. Promueve la ocupación ordenada del territorio, cuyo fin de lograr un desarrollo sostenible de los RRNN y la protección del medio ambiente. El ordenamiento territorial se concreta una vez que se implementan y ejecutan los POT, se construye sobre la base del DIT. Se ejecuta a nivel regional, provincial y local.

Figura 29.

Manejo adecuado de una cuenca hidrográfica



Fuente: Palacios (2016).

e.) Estrategias de capacitación y educación ambiental.

La falta de conocimientos y de conciencia ambiental de los ciudadanos con respecto al manejo y conservación de cuencas hidrográficas, ocasionan múltiples problemas en especial el agotamiento de recursos naturales y por ende un bajo rendimiento de estos. La difusión de los resultados del presente estudio se publicará mediante vía Internet, con el propósito de obtener mayor facilidad en la transmisión de la información. La investigación se (formato PDF) así como los mapas elaborados por el autor en el presente estudio se realizará mediante el uso de plataformas digitales y trípticos para tener una mayor cobertura a nivel de la ciudadanía (González & Guillén, 2010).

Para la capacitación de la ciudadanía resulta importante involucrar a las instituciones públicas y privadas para que en base a la entrega de copias del artículo científico de este proyecto se pueda realizar propuestas con el fin de manejo y conservación de cuencas hidrográficas.

7. Discusión

7.1 Análisis de los parámetros físicos y morfométricos de las principales unidades hidrográficas del cantón Loja.

Jiménez & Materón (1986) sugieren que las cuencas hidrográficas según su superficie se clasifican en microcuencas (20 a 100 km²), subcuencas (100 a 200 km²) y cuencas (> 300 km²), esto lo confirma CIDIAT (1978), quien clasifica como subcuencas a las unidades hidrográficas: Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Vilcabamba, San Lucas y Chichaca Tabla 12. Por otra parte, Aguirre (2007) e INEFAN (1995) cataloga microcuencas; Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, Santiago, Malacatos Norte, Las Mercedes, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa, Las Pavas, Cenen y Shucus por tener superficies que no superan los 100 km². Resultados que difieren con Campos (1992) y Villón (2002) quienes consideran microcuencas a superficies hasta de 250 km².

En la Tabla 13, las unidades hidrográficas son de forma oval redonda a oval oblonga ($C_g = 1,26$ a $1,50$) resultados similares a los obtenidos por Muñoz (2013) y Juela (2011) en las microcuencas de Santa Urcu y en la Cuenca Alta del Río Catamayo con valores de $1,29$ a $1,36$ respectivamente. Por su parte, las microcuencas Zamora Huayco y Las Mercedes ($C_g = 1,20$ y $1,25$) presentan alta tendencia a las crecidas, escurrimientos rápidos y problemas de inundación debido a su forma casi redonda a oval redonda, similares rangos obtuvo en sus estudios Muñoz (2013) en las microcuencas de Malacatos, La Amanda y Mónica ($C_g = 1,20$; $1,14$ y $1,11$) es decir son superficies propensas a crecidas violentas o rápidas y de gran magnitud, pero a su vez, difieren con la investigación de Maldonado (2017), en donde calculó un valor de $1,52$ que según González (2001) se clasifica como una cuenca con tendencia oval oblonga a rectangular donde la distribución de la lluvia es de manera uniforme sobre toda la microcuenca, por lo tanto existe poca tendencia a las crecidas.

En lo que se refiere a los parámetros de relieve, en estudios de Mafla et al. (2015) las microcuencas de Aguacolla, La Tuna y Yangana poseen pendientes escarpadas (50,0 - 70,0 %) estos valores se asemejan a los de Cañar (2016) en el sistema de riego Campana - Malacatos donde obtuvo un valor de 57,3 % para la pendiente media de la cuenca. Por otra parte, las microcuencas que tienen pendientes moderadamente onduladas son Zalapa con 22,55 % y Las Pavas con 22,22 %, es decir generan velocidades de infiltraciones altas, y escurrimientos bajos debido a la pendiente que poseen, esto difiere con los resultados de Muñoz (2013) que en su estudio hidrológico clasifica: Río Malacatos, Amanda, Mónica y Santa Urcu como

microcuencas de alta pendiente (49,92 %; 63,34 %; 62,73 %; 57,51 %), esto se debe a que estas superficies hidrográficas se encuentran ubicadas a una mayor altitud y en partes montañosas del cantón Loja.

En la Figura 14 y Anexos (1 y 2) se determinó mediante el método de la curva hipsométrica categoría de tipo B en las microcuencas pertenecientes al cantón Loja, las mismas que se encuentran en etapa de equilibrio por lo tanto son cuencas geológicamente maduras según González (2001). Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Maldonado (2017), para la microcuenca de Las Ramas; Muñoz (2013) en las microcuencas de Malacatos, Amanda, Monica y Santa Urcu y Cañar (2016) en el sistema de riego Campana – Malacatos en donde determinaron curvas hipsométricas de tipo B, esto se debe a que presentan características de relieve y topografía mismas que son similares a la zona de estudio.

La Altitud media de las microcuencas de Santiago, La Tuna y Subcuenca San Lucas presentan valores mayores (2889,34; 2874,22 y 2829,42 m.s.n.m.), estos resultados guardan estrecha relación con los obtenidos por Muñoz (2013) en la microcuenca Santa Urcu 2880 m.s.n.m. ya que se encuentran en las mismas condiciones geográficas, pero a su vez difieren de Malacatos (2680 m.s.n.m.), Amanda (2985 m.s.n.m.), (Monica 2920 m.s.n.m.), mientras que, las Subcuencas de Malacatos Sur (2196,65 m.s.n.m.), Vilcabamba (2349,90 m.s.n.m.) y la microcuenca de Las Pavas (2304,77 m.s.n.m.) constan con menor elevación, valores de altitud media logrados mediante la curva hipsométrica se asemejan a los de Luna (2017) en la microcuenca San Agustín con 2336,00 m.s.n.m. esto se debe a que presentan las mismas características de relieve y topografía.

Los parámetros relativos a la red de drenaje, se visualizan en la Tabla 15, en el rango medio de 2,0 a 4,0 se ubican las microcuencas de Yangana, Santiago y Malacatos Norte, Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa y Shucus, mientras que, en orden 5 destacan Vilcabamba, Aguacolla San Lucas y Las Mercedes que poseen clasificación alta, lo que demuestra que el cauce principal cuenta con bastante número de tributarios, es decir que entre más corrientes tributarias tenga más rápida es su respuesta a la precipitación, también se puede interpretar que a mayor orden de corrientes en las cuencas más desprotegidas estas se encuentran González (2001). Estos resultados difieren con los de Vanegas (2016) en donde se determinó un orden de corrientes de tipo 3 en las microcuencas de el Carmen y Mónica que según (Conesa, 1990; Senciales, 1998; Ibañez et al., 2011) este parámetro alude al grado de desarrollo de ramificación o bifurcación de los cauces.

Las microcuencas de Malacatos Sur, Alta de Río Guayabal, Vilcabamba, Chichaca, Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Santiago, Malacatos Norte, Zamora Huayco, Jipiro, Zalapa, Las Pavas y Cenen cuya densidad de drenaje va de 0,1 a 1,8 km/km² según Fuentes (2004) son consideradas como bajas, es decir se interpreta como cuencas con drenaje pobre, como menciona Ibañez et al.(2011) que a mayor densidad de drenaje, existe mayor potencial a la erosión debido a la estructuración de la red fluvial, estos resultados son similares a los de (Vanegas, 2016) en donde calculo un valor de 1,63 km/ km² y de 1,36 km/ km² para Mónica esto se debe a que se encuentran en regiones de alta resistencia a la erosión o suelos muy permeables con vegetación densa (Aguirre, 2007; Guerrero, 2002; Villegas, 2013).

Por otra parte, las microcuencas de Las Mercedes y Shucus presentan valores de (2,10 y 2,30 km/km²) son categorizadas como densidad moderada por Fuentes (2004) y González (2001)), es decir microcuencas con pendientes y suelos de impermeabilidad moderada, estos resultados tienen similitud con los de Beltrán & Jaramillo (2007) que determino un valor de 1,98 km/ km² para la microcuenca Shucus debido a que tiene buena presencia de cubierta vegetal tanto en la parte alta como media de la cuenca, lo que permite que el agua sea almacenada y a su vez descargada hacia los flujos de manera lenta y permanente, también se asemejan a los obtenidos por Nero (2020) en las microcuencas San Ignacio y La Vega, las cuales poseen una densidad de drenaje 1,92 y 1,85 km/km² que representa una moderada densidad.

Referente a la longitud del cauce principal, la subcuenca de Vilcabamba posee la mayor longitud (21,20 km), mientras que Zalapa la menor (5,02 km). En la Tabla 17 se visualiza las pendientes del cauce principal, la microcuenca La Tuna presenta la mayor (28,85%) categorizada como fuerte según Fuentes (2004), y con menor pendiente se encuentra Zamora Huayco (7,39%) que se clasifica en moderada. Navarrete (2004) expresa que a mayor pendiente, menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en el cauce principal. Por su parte Llano (1998) atribuye que a mayor pendiente, se presentan procesos de erosión y formación de descargas altas, estos resultados difieren a los obtenidos por Juera (2011) en donde obtuvo una pendiente del cauce de 10,73 % en la cuenca Alta del Río Catamayo, lo que muestra que es un cauce accidentado, así mismo tienen discrepancias con los cálculos de Vanegas (2016) en donde obtuvo para las Microcuencas del Carmen y Mónica una pendiente media del cauce de 35,7 % y 48,2 % lo que según Heras (citado por Vanegas, 2016), indican que la pendiente es muy fuerte, típica en cuencas de alta montaña. Un cauce que presenta

pendientes pronunciadas posee siempre aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, producto de la turbulencia, capacidad de erosión y transporte (Londoño, 2001).

El tiempo que tarda en llegar al punto de interés una gota de lluvia caída en el extremo más alejado de la cuenca hacia su punto de interés Vélez & Botero (2010). El mayor dato registrado en cuanto al tiempo de concentración lo tiene la cuenca de Vilcabamba con 70 minutos, que según Fuentes (2004) se clasifica en moderado en tanto que, Shucus con 29 minutos se interpreta como clase rápida. Por otro lado, los datos que mayor se aproximan a los resultados obtenidos son los propuestos por Muñoz (2013), en su estudio en donde determino valores de tiempos de concentración para las microcuencas de Malacatos, Amanda, Mónica y Santa Ucu (59,4; 13,8; 17,4 y 18,0 minutos) con estos datos se puede evidenciar que a mayor pendiente menor tiempo de concentración y viceversa.

7.2 Calculo del índice de retención y regulación hídrica a partir de la curva de duración general

La vertiente del Pacífico y del Atlántico inciden en la precipitación media mensual del cantón Loja (Figura 17), con valores más altos en las cuencas de Alta del Río Guayabal, Malacatos Sur, Vilcabamba, Masanamaca y Yangana (202,95 mm). Estos resultados son similares con los Juera (2011), que obtuvo para los primeros meses del año (diciembre a marzo) son los que presentan mayores precipitaciones, con un déficit total de agua casi en todo el año siendo el mes de septiembre el más crítico.

Las cuencas de la vertiente del Pacífico, en la Tabla 20, presentan mayor precipitación en época lluviosa (diciembre a abril) con el pico más alto en el mes de marzo: Aguacolla (193,8 mm), Masanamaca (183,3 mm), La Tuna (234,9 mm) y Yangana (216,9 mm). En la época seca, (mayo a noviembre), el mes que presenta menor precipitación es agosto para las microcuencas de Aguacolla (15,7 mm), y Masanamaca (20,6 mm), datos similares presenta Luna (2017), tanto para época lluviosa como seca con un valor de 137,7 mm para marzo y 28,9 mm en mes de agosto. Por su parte Nero (2020) menciona que en Sacapalca los meses de mayor precipitación van de diciembre a abril mientras que, la época seca es de mayo a noviembre.

La precipitación media anual es mayor en las microcuencas: Shucus (1442,20 mm) Malacatos Norte (1386 mm) y Jipiro (1369,23 mm), la máxima precipitación se produce en el mes de marzo, en tanto que, la precipitación mínima sucede en septiembre en las microcuencas de Zamora Huayco, Jipiro Zalapa y Las Pavas (48,2; 52,4; 78,2; 19,6 mm). Los resultados son semejantes a Muñoz (2013) en las microcuencas de Malacatos, Amanda, Mónica y Santa Ucu

en donde los valores más altos se dieron en el mes de marzo con 241,9; 309,7; 315,4 y 306,3; en cambio los más bajos se muestran en septiembre (65,9; 91,4; 91,2 y 86,5 mm).

En la Tabla 23 los caudales medios mensuales se estimaron a través del método racional para: Malacatos Sur (0,31 a 5,33 m³/s), Alta del Río Guayabal (0,54 a 4,80 m³/s), Vilcabamba (0,30 a 4,36 m³/s), en San Lucas de (0,80 a 3,08 m³/s), y en Chichaca (0,62 a 2,49 m³/s) de forma distinta Cañar (2016) en el sistema Campana - Malacatos obtuvo de 0,64 m³/s a 1,42 m³/s, debido al registro de los datos y a la superficie de la cuenca (Conesa et al., 2012).

Las microcuencas de Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana presentan su mayor registro en marzo (2,37; 2,0; 2,39 y 2,01 m³/s) en cambio el menor registro de caudal se dio en agosto para Aguacolla y Masanamaca (0,19 y 0,22 m³/s) y en septiembre para la Tuna y Yangana (0,59 m³/s y 0,47 m³/s), Luna (2017) presenta registros similares en la microcuenca San Agustín, el menor valor fue en agosto (0,18 m³/s) y su mayor caudal en marzo (0,83 m³/s), esto tiene estrecha relación con la variabilidad de las precipitaciones y las condiciones meteorológicas de las cuencas (Nero, 2020).

En el mes de marzo en las microcuencas de la vertiente del Atlántico del cantón Loja se registró el mayor valor de caudales medios mensuales para: Santiago (2,08 m³/s), Las Mercedes (0,96 m³/s), Zamora Huayco (1,17 m³/s), Jipiro (0,88 m³/s), Las Pavas (0,63 m³/s), Cenen (0,57 m³/s) y Shucus (0,54 m³/s), mientras que en el mes de agosto, las de menor caudal son :Malacatos Norte, Las Mercedes, Zalapa, Las Pavas, Cenen y Shucus (0,42; 0,40; 0,10; 0,14; 0,16 y 0,16 m³/s) en consecuencia, los datos de Beltrán & Jaramillo (2007) corroboran que en la Microcuenca Shucus los caudales bajos se dan en época de estiaje (julio a noviembre). Los valores representados por el método racional son una referencia aproximada, debido a las condiciones de cobertura vegetal, textura del suelo y pendiente que se encuentran en la zona de estudio (Beltrán & Jaramillo, 2007).

La cobertura vegetal influye en la cantidad de agua que se retiene en una cuenca, donde predominan los pastizales se tendrá un bajo índice de retención, por ejemplo: Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Malacatos Norte, Las Pavas. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Luna (2017) en la microcuenca San Agustín que tiene un valor de 0,56 y se interpreta como bajo por el tipo de vegetación, Maldonado (2017) difiere al determinar un índice de 0,71 para la microcuenca Las Ramas y Popayan et al. (2019) que muestra un IRH de 0,7018 en la microcuenca Ortiz categorizada como moderado. Según el IDEAM (2013)

manifiesta que el comportamiento se debe a cambios moderados debido a la variación de las condiciones climáticas.

Existe variabilidad en cuanto a los valores del IRH en las microcuencas del cantón Loja estos se clasifican en muy bajos, bajos, moderados, altos y muy altos, similares a los alcanzados por Sánchez et al. (2010) e IDEAM (2010) en las diferentes áreas y subzonas hidrográficas de Colombia. En los sectores del Pacífico, Amazonía y Bajo Cauca, se presenta alta capacidad para retener humedad y mantener condiciones de regulación debido a la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendientes propias de la zona. Esto se debe a que se presentan similares características en lo que respecta a cobertura, topografía y relieve.

En el rango de 0,50 a 0,65 del IRH se encuentran las subcuencas (Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal) y microcuencas (Malacatos Norte y Las Pavas). Por otro lado, las cuencas de Chichaca, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Las Mercedes, Zalapa y Cenen contienen muy baja retención y regulación hídrica por presentar valores menores a 0,50 debido a las condiciones de suelos, cobertura vegetal y pendientes. Esto se asemeja a lo de Otalora & Hernández (2018) en la Subcuenca Arroyo Grande. García et al., (2010) menciona que los factores que influyen en gran medida en la retención adecuada son: escasa vegetación, tipo de suelo, condiciones climáticas, características físicas de la cuenca, y la dominancia de la pendiente altas.

8. Conclusiones

- Las cuencas que por su forma (Índice de Gravelius), pueden ser más susceptibles a lluvias de media a alta intensidad y corta duración son las microcuencas de Vilcabamba, Chichaca, Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, San Lucas, Santiago, Jipiro, Salapa, Cenen, Zamora Huayco y Las Mercedes, esto se debe a su forma que va de redonda a casi redonda.
- Las microcuencas de Alta del Río Guayabal, Vilcabamba, Chichaca, Aguacolla, Masanamaca, La Tuna, Yangana, San Lucas, Santiago, Las Mercedes, Zalapa, Cenen y Shucus poseen pendientes pronunciadas en sus cauces cuyos valores rondan del 12,0 al 17,0 %, por lo que en el caso que se dé una precipitación intensa en estas pueden generar impactos negativos y fuertes en algunos sectores del cantón.
- Se determinó que, de las 18 cuencas analizadas, 12 de ellas (microcuencas de Malacatos Sur, Alta del Río Guayabal, Chichaca, Masanamaca, La Tuna y Yangana pertenecientes a la vertiente del Pacífico y las de San Lucas, Malacatos Norte, Las Mercedes, Zalapa, Las Pavas y Cenen, que constan en la vertiente del Atlántico), presentan un coeficiente menor al 0,65.
- Las cuencas al haber sufrido fuertes procesos de erosión tienen suelos muy superficiales; por lo tanto, una baja capacidad de almacenamiento de agua, lo que incide en la época de ausencia de lluvias, donde se ve muy reducido su caudal.
- En las curvas de duración general, se evidencia que las mismas presentan caudales muy altos pero que tienen una baja probabilidad de ocurrencia, mientras que en una gran parte existen caudales muy bajos, pero con una gran probabilidad de ocurrencia.
- Para las cuencas con índice de regulación hídrica bajo se ha propuesto una serie de lineamientos estratégicos que consisten en revegetalización de la cuenca, manejo y conservación de suelos, control de torrentes, ordenación de las actividades de la cuenca y estrategias de capacitación y educación ambiental, mismos que permiten mejorar las condiciones hídricas de las cuencas, provocando con ello una mayor infiltración del agua lo cual se ve reflejado en los índices de crecidas que deben ser más bajos mejorando así los niveles de estiaje.
- Con la aplicación de estas propuestas se pretende disminuir el efecto negativo de las cuencas hidrográficas en épocas de lluvias, que afectan a la población, sus propiedades y sobre los cultivos, de esta manera se pretende asegurar un caudal de estiaje adecuado

que permita aprovechar el agua con fines de riego ya que el cantón Loja, dispone de algunos sistemas de riego que se encuentran en completo funcionamiento.

9. Recomendaciones

- En lo que se refiere a parámetros de forma, con el propósito de obtener datos más cercanos a la realidad se recomienda trabajar de manera conjunta con diferentes SIG, para poder verificar las variaciones y quedarse con las que mejor se ajusten.
- Con el objetivo de obtener información real para futuras investigaciones, se recomienda la implementación de estaciones meteorológicas e hidrométricas y que estén en completo funcionamiento, las mismas que deben estar en sitios de fácil acceso para que no se dificulte la toma de datos.
- Incentivar a los estudiantes de nuestra carrera a que se vean inmersos en los diferentes proyectos que tengan relación en el cuidado y manejo de cuencas hidrográficas.
- Realizar cursos, charlas instructivo-técnicas sobre el cuidado y mantenimiento de las cuencas por parte de los departamentos públicos encargados que motiven a la comunidad y tener una continuidad en el tiempo.

10. Bibliografía

- Acadity. (2021). *Tipos de escorrentía*.
<https://www.facebook.com/acadity/posts/294884925570750>
- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Álvarez, A., Yustres, L., & Ivanova, Y. (2021). Estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra (Caso de estudio: Cuenca alta del río Chinchiná, Caldas, Colombia). *Revista EIA*, 18(35), 1 -11.
<https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v18n35/2463-0950-eia-18-35-43.pdf>
- Álvarez, A., Yustres, L., & Ivanova, Y. (2021). Estimación del cambio de la capacidad de regulación hídrica como respuesta a los cambios de coberturas de la tierra (Caso de estudio: Cuenca alta del río Chinchiná, Caldas, Colombia). *EIA*, 18(35), 1 - 11.
<https://doi.org/http://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1465>
- Andrade, L., & Ríos, C. (2014). Variabilidad Climática y Caudales Mínimos en los Andes Ecuatorianos. *Escuela Politécnica Nacional*, 1 - 9.
- Bateman, A. (2007). *HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA* . Cataluña: GITS.
- Beltrán, E., & Jaramillo, J. (2007). *VALORACION ECONOMICA AMBIENTAL DEL RECURSO HIDRICO Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA PAGO POR SERVICIO HIDRICO EN LA MICROCUENCA "SHUCOS" DEL CANTON LOJA*".
Universidad Nacional de Loja.
- Bennett, A. (1999). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Suiza: UICN.
- Borrero, J., Ramírez, G., & Forero, G. (2020). Propuesta de almacenamiento de agua lluvia para suministrarla al municipio de Albán utilizando HEC-GeoHMS. *vances*:

- Investigación En Ingeniería, 1, 17(1), 1 - 25.* <https://doi.org/DOI 10.18041/1794-4953/avances.1.6031>
- Botero, A., & Vélez, J. (2010). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL UBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA, 78(165), 58 - 71.* <https://doi.org/https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/26095>
- Buttafuoco, G., Caloiero, T., & Coscarelli, R. (2011). Spatial patterns of variability for rain fields at different timescales: an application in southern Italy. *European Water, 36, 3 - 13.* https://doi.org/https://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2011_36_01.pdf
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la Hidrología Superficial.* Universidad Autónoma Metropolitana. https://doi.org/https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Calzolari, C., Ungaro, F., Filippi, N., Guermandi, M., Malucelli, F., Marchi, N., & Tarocco, P. (2016). *Geoderma A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale.*
- Cañar, A. (2016). *Análisis de la disponibilidad y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Campana - Malacatos, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG).* Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Carrera, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *IDESIA, 34(3), 79 - 88.* <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>
- Chávez, W. (2015). EL SERVICIO DE REGULACIÓN HÍDRICA Y LA COSECHA DE AGUA REGULACIÓN HÍDRICA EN EL VALLE SAGRADO DE LOS INCAS,

- DEPARTAMENTO DE CUSCO. *ESTUDIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO DE* (págs. 4 - 7). Cusco: Gobierno Regional del Cusco e Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: Mc Graw-Hill .
- Chow, V., Maidment, D., Mays, L., Saldarriaga, J., & Santos, G. (1994). *Hidrología Aplicada*. M. E Suárez R. https://doi.org/https://mega.nz/file/LF5AVS6R#-DsZ9AJYjLMZhEMOBRJIAKsA_QSZ9hUBIjv94OnU2s4
- CIT. (2020). *La laneación del medio físico, como base para el ordenamiento territorial de la Provincia de Loja*. Loja : Universidad Nacional de Loja.
- CIT, C. (2020). *LA PLANEACIÓN DEL MEDIO FÍSICO, COMO BASE PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE LOJA*. Universidad Nacional de Loja.
- CNULD, C. d. (2010). BENEFICIOS DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA TIERRA. págs. 5 - 6.
- Colegio de Postgraduados. (1991). *Manual de conservación del agua y del suelo*. . México: Chapingo.
- CONAGUA, C. (2015). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- Conesa, C. (1990). *EL campo de Cartagena: Clima e hidrología de un medio semiarido*. EDITUM. <https://doi.org/https://books.google.com.ec/books?id=6AogaAhqNW0C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Conesa, C., Pérez, P., García, R., & Martínez, A. (2012). Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre. *Nimbus*(29 - 30), 159 -

176.

<https://doi.org/https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:a3pGf73cg04>

[J:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4375581.pdf&cd=1&hl=es-](https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4375581.pdf&cd=1&hl=es-)

[419&ct=clnk&gl=ec](https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4375581.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)

Cothler , H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83(5), 5-71.

<https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>

Cuenca, A. (2015). *Analisis de la disponibilidad hídrica de la cuenca del Río Catamayo, hasta la Estación en Pte. Vicin, confines de aprovechamiento y conservación*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. *Ecological Economics*.

De la Rosa, A., Moosbrugger, W., Otero, W., Quintero, C., & Solanilla, R. (1994). *Cuidemos nuestra tierra. Una vida mejor mediante el aprovechamiento de los recursos en el campo*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

Díaz, C., Esteller, M., & López, F. (2005). *Recursos Hídricos, Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Toluca: CIRA - UAEM.

Dominati, E., Patterson, M., & Mackay , A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69, 1858 - 1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>Get rights and content

Eddyhrbs. (2010). *Curva de Duración de Caudales* . Ingeniería Civil: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/curva-deduracion-de-caudales.html>

- FAO, O. d. (2018). *GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS EN ÁREAS RURALES*. FAO y MADS.
<https://doi.org/https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>
- Fattorelli, S., & Fernandez, P. (2011). *DISEÑO HIDROLOGICO*. WASA-GN.
<https://doi.org/https://www.academia.edu>
- Fuentes, J. (2002). AGUAS SUBTERRANEAS. *Hojas Divulgadoras*, págs. 2 - 5.
- Fuentes, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque. 1 - 47.
- García, M. (2016). *Árbol Multiuso de interes forestal para el sur de la península Ibérica*.
Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- García, M., Vargas, O., Sánchez, F., González, C., & Jaramillo, O. (2010). *ESTADO Y DINÁMICA DEL AGUA EN ÁREAS HIDROGRÁFICAS DE COLOMBIA*. Colombia: IDEAM.
- García, Y. (2016). ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO CON FINES DE RIEGO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO NARANJO, CUBA. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 315 - 330.
<https://doi.org/https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.13>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Besterio, S., & Delgado, M. (2012). Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143 - 185.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senistierra, G., Delgado, M., & Besterio, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- Giler, A., Zambrano, X., Chila, J., Arcentales, D., Guaddamund, J., Félix, J., Caicedo, M., & Alarcón, J. (2019). Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador. *Terra*.

<https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/721/72164777003/html/>

- Gómez, J. (1999). *Regionalización de curvas de duración*. Universidad de Costa Rica.
- Gómez, J. (1999). *Regionalización de curvas de duración*. Universidad de Costa Rica.
- Gonzaga, A. (2019). *La formación de gestores ambientales comunitarios: una experiencia de intervención comunitaria en la Microcuenca de Jipiro (Loja, Ecuador)*. Universidad Nacional de Loja. <https://doi.org/https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/LA%20FORMACIO%CC%81N%20DE%20GESTORES%20AMBIENTALES%20COMUNITARIOS.pdf>
- González, A., Alvarez, P., González, M., & Aguirre, Z. (2016). Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo, Ecuador. *CEDEMAZ*, 50 - 51.
- González, C., & Guillén, M. (2010). *ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD Y PELIGROSIDAD POR DESLIZAMIENTOS EN LA ZONA ORIENTAL DE LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO ZAMORA, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)*". Loja: Universidad Nacional de Loja.
- González, R. (2001). *Hidrología en Cuencas*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Gravelius, H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde*. Compendium of Hydrology.
- Guerrero, O. (2002). *Geomorfología de Cuencas*. . Capítulo 4 Geomorfología de Cuencas: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Quito: Abya- Ayala y Universidad Politécnica Salesiana.
- Guzmán, A. (2017). *Respuesta hidrológica de una cuenca de bosque húmedo de montaña, centro de Veracruz, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Heras, R. (1976). *Hidrología y Recursos Hidráulicos*. Centro de Estudios Hidrológicos.

- Herencia , B., & Carrera, C. (2019). Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *UNMSN (Universidad Nacional Mayor de San Marcos)*, 1 - 10.
- Herencia, B., & Carrera, C. (2019). Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Revistas de investigación: Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 22(44), 15 - 24.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17282>
- Ibañez, A., Moreno, R., & Gisbert, B. (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas.
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/10251/10782>
- IDEAM. (2010). *Estudio nacional del agua*. . Colombia.
- IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Ideam.
- IDEAM, I. (2013). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad. En IDEAM, *Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial* (pág. 12). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Amiantales.
- IICA, I. I., COSUDE, A., & Red SICTA, P. (2020). *Obras de conservación de suelos y agua en laderas*. IICA. <https://doi.org/https://repositorio.iica.int/handle/11324/11847>
- INAB, I. (2005). *Programa de Investigación de Hidrología Forestal*. . Guatemala: INAB.
- Ingeominas. (2004). *Insituto Colombiano de Geología y minería*. Programa de exploración de aguas subterráneas.
- Jímenez, F. (2005). *El bosque como regulador del ciclo hidrológico*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Jiménez, H., & Materón, H. (1986). *Hidrología Básica*. Univalle.
- Juela, O. (2011). *Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca Alta del Río Catamayo hasta la Estación El Arenal en el sitio El Boquerón, Provincia de Loja*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

- Kavian, A., Azmoodeh, A., & Solaimani, K. (2014). Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 1941 - 1950. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0853-1>
- Knox, J. (2001). Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River. *Catena*, 42(2), 193 - 224. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00138-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00138-7)Get rights and content
- Londoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases Conceptuales, Caracterización*,. Universidad de Tolima. https://doi.org/https://www.academia.edu/29394172/CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_BASES_CONCEPTUALES_CARACTERIZACI%C3%93N_PLANIFICACI%C3%93N_ADMINISTRACI%C3%93N
- Luna, A. (2017). *Planeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema la Era, utilizando los sistemas de información geográfica SIG*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Mafla, T., Ayala, J., & Vallejos, S. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT, de la Parroquia Rural de Apuela*. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Apuela. <https://doi.org/https://www.imbabura.gob.ec/index.php/componente-territorial/instrumentos-de-planificacion/pdot-parroquial/file/510-pdot-apuela>
- Maldonado, P. (2017). *Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en el sistema de riego Paquisha*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Marín , S. (2019). *APORTES EN EL DISEÑO DE OBRAS DE CONTROL DE INUNDACIONES Y ALUDES TORRENCIALES*. http://acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/Foro_Vargas_20_anos_despues/12-Foro_Vargas_20_anos_Disenio_Obras_de_Control.pdf

Marínez, P., Martínez, P., & Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. Mundi-Prensa.

https://doi.org/https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=wWcJAQAAQB-AJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=libros+estudio+hidrol%C3%B3gico&ots=1SJs7Exj0u&sig=tRksqtAXqGzhJn17ZxEdWvNtsJw#v=onepage&q=libros%20estudio%20hidrol%C3%B3gico&f=false

Martín, Ó. (2020). Agua y medio ambiente. *El Economist.es*.

Martínez, M., López, J., Almagro, M., Boix, V., & Albaladejo, J. (2008). Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of south-east Spain. *Soil and Tillage*, 99, 119 - 129.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.009>Get rights and content

Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. Costa Rica: CATIE.

Matus, Ó., Faustino, J., & Jiménez, F. (2010). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. *CATIE*, 79 - 83.

Ministerio del Ambiente. (2015). Guía metodológica para la elaboración de los instrumentos técnicos sustentatorios. *Ministerio del Ambiente. Dirección General de*, 2(4), 1 - 24.
<https://doi.org/https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/129/2017/02/Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica.pdf>

Mintegui, J., Robredo, J., & Rojo, I. (2012). Un método para la estimación de caudales continuos en pequeñas cuencas de montaña. *Ecología*(24), 27 - 42.
https://doi.org/http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/viewFile/16338/16181.

Mogollón, D., & Sánchez, E. (2018). Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico. *Universidad de los Andes*, 223 - 230.

- Moreno, J. (2018). *ACTUALIZACIÓN DEL COMPONENTE DE RIESGOS HÍDRICOS DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (ERA) DE LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RÍO BOGOTÁ*. Universidad El Bosque.
- Muñoz, D. (2018). *DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO PAPALLACTA Y SU INFLUENCIA EN LA FUNCIONALIDAD DE LA CUENCA*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Muñoz, J. (2013). *Estudio hidrológico correspondiente a las microcuencas del Río Malacatos y a las Quebradas Amanda, Mónica y Santa Urcu para abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Muñoz, J., & Bustos, R. (2021). Gestión integrada de recursos hídricos y gobernanza: Subcuenca del río Vinces, provincia Los Ríos-Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(3), 471-497.
<https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/280/28068276036/html/>
- Muñoz-Villers, L., Holweerd, F., Alvarado-Varrientos, M., Geissert, D., Marín-Castro, B., Gómez-Tagle, A., McDonnell, J., Asbjornsen, H., Dawson, T., & Bruijnzeel, L. (2015). Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz. *SciELO*, 36(3), 395 - 407. <https://doi.org/https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300007>
- Musy, A. (2001). *Curso de hidrología general*. Lausanne: Escuela Politécnica Federal de Lausanne.
- Navarrete, M. (2004). *Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero, El Peral, Comuna de Carahue, IX Región*. Universidad Católica de Temuco.

- Neary, D., Ice, G., & Jackson, R. (2009). Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258(10), 2269 - 2281.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.027>Get rights and content
- Nero, L. (2020). *Estimación de disponibilidad y demanda hídrica de la parroquia Zacapalca para su aprovechamiento en el suministro de agua para riego*. Loja: Universidad Nacional de Loja .
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios. (2020). Hoja metodológica del indicador Índice de. *Hoja metodológica del Índice*. Colombia: IDEAM.
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.04+HM+%2Bndice+de+Retenci%C3%B3n+y+Regulaci%C3%B3n+H%C3%ADdrica.pdf/f0d464f9-9877-4163-b5f1-14f1a6700dd4>
- Ordóñez, J. (2011). *¿Qué Es Cuenca Hidrológica ?* Perú: Sociedad Geográfica de Lima & Z. Novoa, Eds.
- Ordoñez, J. (2011). *BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
https://doi.org/https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Ordoñez, J. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Lima: Senamhi.
https://doi.org/https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf
- Otalora, M., & Hernandez, J. (2018). *ESTIMACIÓN DE LOS ÍNDICE HÍDRICOS (IUA, IRH, IVH) Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS PARALA MITIGACIÓN DEL DESABASTECIMIENTO EN LA SUBCUENCA ARROYO GRANDE COROZAL (2502-01-07) DE LA CUENCA RÍO BAJO SAN JORGE*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

- Ovalles, Y., Méndez, E., & Ramírez, G. (2008). Ordenación de cuencas hidrográficas. Un reto al conocimiento, la acción y la gestión. *Revista Forestal Venezolana*, 1 - 12.
- Palacios, E. (2016). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <https://doi.org/http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Cartilla---Gestion-Integral-de-Cuencas-Hidrograficas.pdf>
- PDOT de Loja. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Loja, Loja, Ecuador: Municipio de Loja.
- Perdomo, E., & Pérez, D. (2018). *Evaluación del Impacto en la Calidad de las Aguas Superficiales y Subterráneas del vertedero del Distrito Municipal Boyá, ubicado en la provincia Monte Plata, República Dominicana, 2018*. Santo Domingo: Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.
- Popayan, E., León, J., & Madroñero, S. (2019). Evaluación de la regulación hídrica: oferta y calidad de la quebrada Telléz, microcuenca Ortiz. *Boletín Informativo CEI*, 6(2), 92 - 95. <https://doi.org/https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2013>
- Ramírez, A. (2018). *Hidrología esencial*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey. <https://doi.org/https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=idVjDwAAQBAJ&oi=fnd&>
- Raudes, M., & Sgastume, N. (2009). *Manual de Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria*. Honduras: El Zamorano.
- Reyes , A., Ulises , F., & Carvajal, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Universidad del Valle.

<https://doi.org/https://books.google.com.pe/books?id=LLNJDwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

- Riveira, I. (2017). Territorios a examen III. Análisis comparado de la gestión territorial. En C. Sellers, E. Corbelle, S. Buján, & D. Miranda, *Morfología interpretativa de alta resolución usando datos lidar en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador* (págs. 11 - 44). UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA.
- Robleto, J. (2014). Primer plan de Gestion Integrada de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. En *Hidrología y disponibilidad Hídrica* (págs. 12 - 13).
- Rodríguez, C., & Ramón, J. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Scielo*, 8(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>
- Rodríguez, J., Sepúlved, I., Camargo, J., & Galvis, J. (2009). Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. *SciELO*, 58(3), 160 - 167.
[https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122009000300007#:~:text=Las%20mayores%20p%C3%A9rdidas%20ocurrieron%20en,diferencias%20\(P%20%3C%200.05%25\)](https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122009000300007#:~:text=Las%20mayores%20p%C3%A9rdidas%20ocurrieron%20en,diferencias%20(P%20%3C%200.05%25)).
- Rojas , F. (2014). *BASES DE DISEÑO HIDRÁULICO PARA LOS ENCAUZAMIENTOS OCANALIZACIONES DE RÍOS*. Universidad Central de Ecuador.
- Rojas, H. (2018). *La Moringa como alimentode rumiantes*. Bucaramanga .
- Saénez, M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez, F., García, M., Jaramillo, O., & Verdugo, N. (2010). *Agua Superficial, caracterización y análisis de la oferta*. Colombia: Estudio Nacional del Agua.

- Scott, D., & Lesch, W. (1997). *Streamflow responses to afforestation with Eucalyptus grandis and Pinus patula and to felling in the Mokobulaan experimental catchments*. SudAfrica: Journal of Hydrology,.
- SENA. (1990). Reforestación de microcuencas. *SENA*, 6, 1 - 23. https://doi.org/https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/1498/reforestacion_vol6.pdf;jsessionid=3DE8AC50BD3856CA9D9AD1FFCA4BAFC6?sequence=1
- Senciales, J. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio. *Norba Revista de Geografía*(10), 155 - 183. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10662/755>
- Thornthwaite, C. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55 - 94. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/210739>
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua. Programa Regional Ecobona-Intercooperation, Condesan*. Quito.
- Valarezo, J. (2012). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción sostenible de bovinos en la amazonía sur ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 23 - 29. <https://doi.org/https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:T1FC-KDnwe0J:https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/download/104/101&cd=3&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Vanegas, R. (2016). *Disponibilidad de materia orgánica bentónica y su potencial relación con la estructura física de cauces, en microcuencas prioritarias del cantón Loja*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2018). *MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Lima: Universidad Agraria La Molina.

- Vásquez. (2000). *Hidrología aplicada*. Madrid España.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://doi.org/https://www.academia.edu/45664011/MANEJO_Y_GESTI%C3%93N_DE_CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_Universidad_Nacional_Agraria_La_Molina
- Vega, C., López, L., Flores, J., Fleites, G., & Cruz, A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla. *Terra Latinoamericana*, 35(3), 229 - 235.
- Vélez, J., & Botero, A. (2010). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA*, 78(165), 58 - 71. <https://doi.org/https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>
- Vigiak, O., Ribolzi, A., Pierret, A., Valentin, A., Sengtaheuanghoung, O., & Noble, A. (2007). *Filtrado de los agentes contaminantes del agua por la vegetación ribereña: comparación del bambú con las pasturas nativas y el arroz en una cuenca en la República Democrática Popular Lao*.
- Villegas, P. (15 de 10 de 2013). *Agua y SIG*. Análisis Morfométrico de una cuenca: <https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/>
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Villon, M. (2011). *Hidrología*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vladimirov, A. (1990). *Cálculos hidrológicos*. Gidrometeoizdat.
- Wei, W., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., Wu, D., & Gui, L. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China.

Journal of Hydrology, 335, 247 - 258.

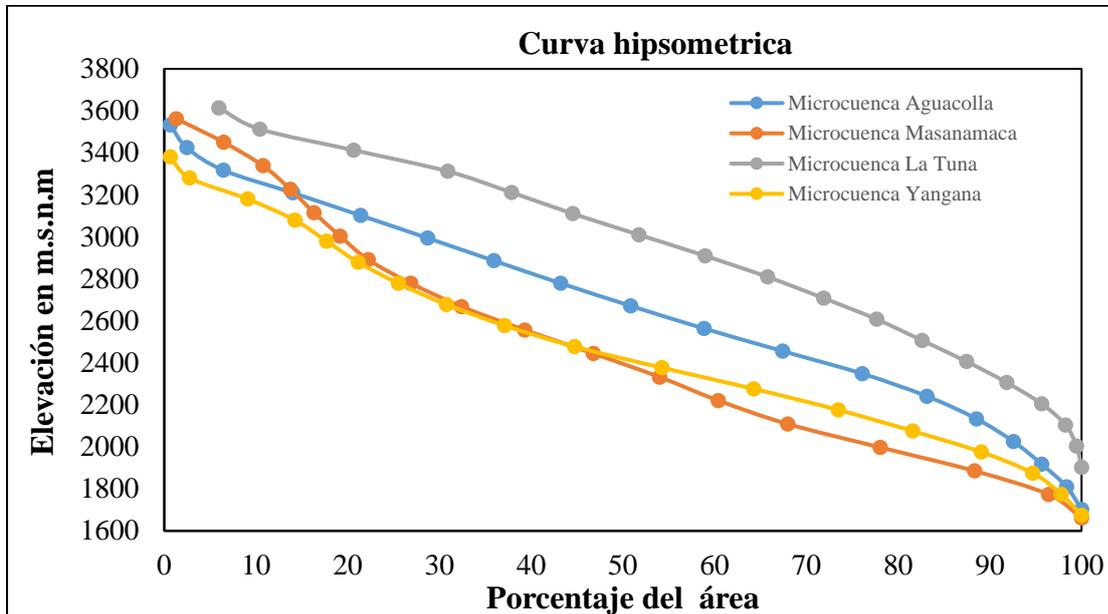
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.11.016>Get rights and content

Wenger, S. (1999). *A review of the scientific literature on riparian buffer width, extend and vegetation.* . Institute of Ecology. University of Georgia.

11. Anexos

Anexo 1.

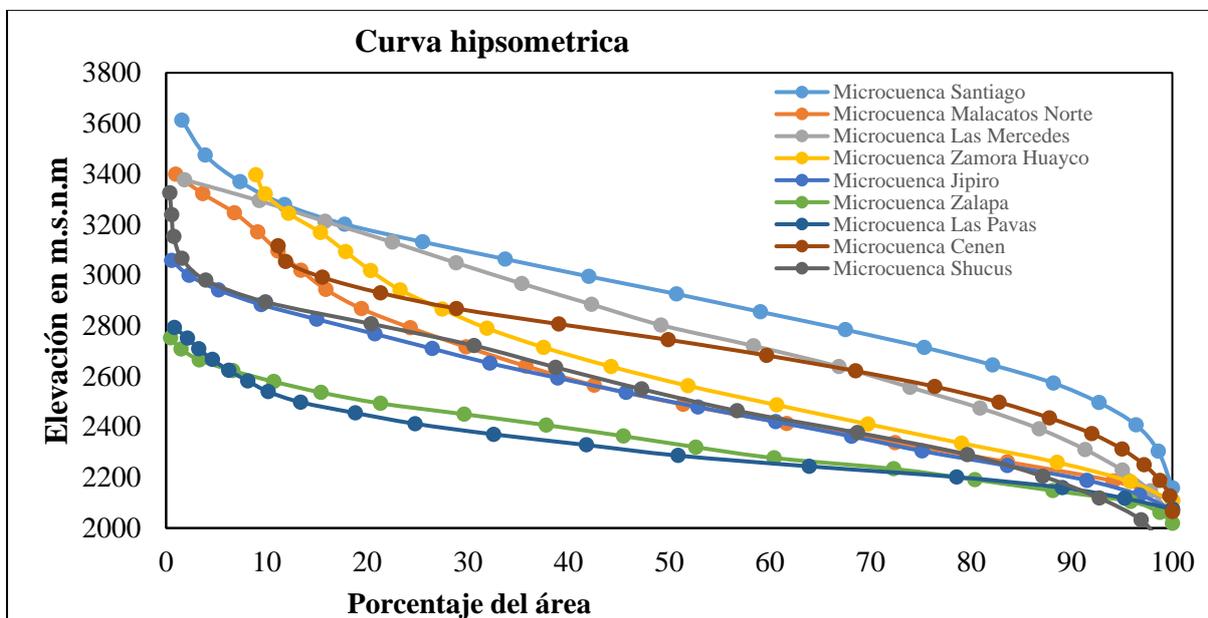
Curvas hipsométricas microcuencas pertenecientes a la vertiente del Pacífico



Elaboración: El Autor

Anexo 2.

Curvas hipsométricas microcuencas pertenecientes a la vertiente del Atlántico



Elaboración: El Autor

Anexo 3.

Perfiles del cauce principal de las sub y microcuencas de la vertiente del Pacífico

Figura 30.

Perfil del cauce principal de la subcuenca Malacatos Sur

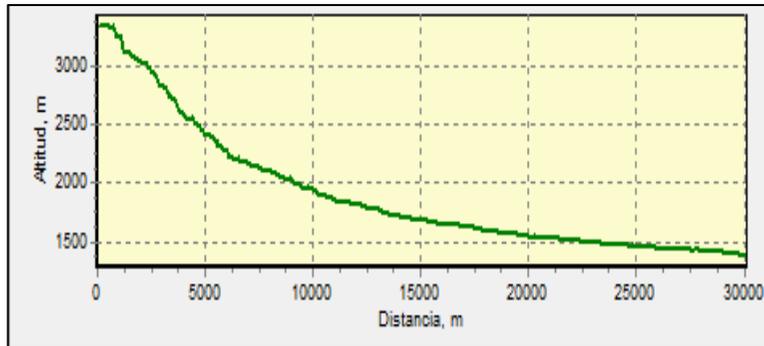


Figura 31.

Perfil del cauce principal de la subcuenca Vilcabamba

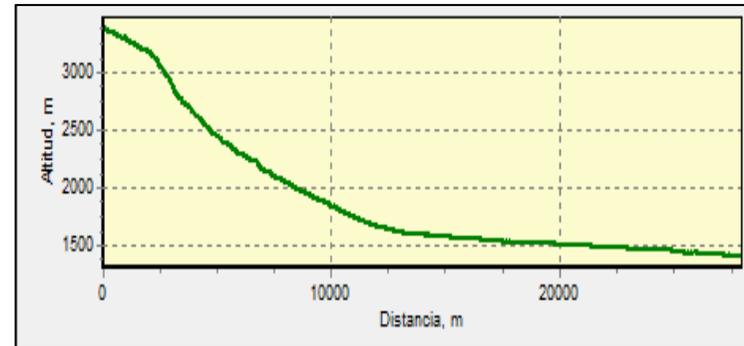


Figura 32.

Perfil del cauce principal de la subcuenca Chichaca

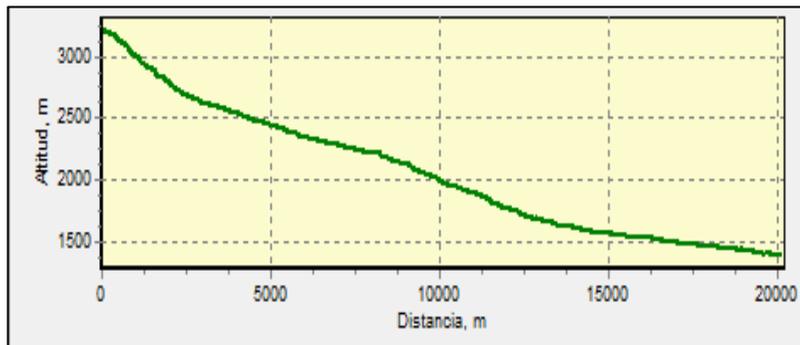


Figura 33.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Aguacolla

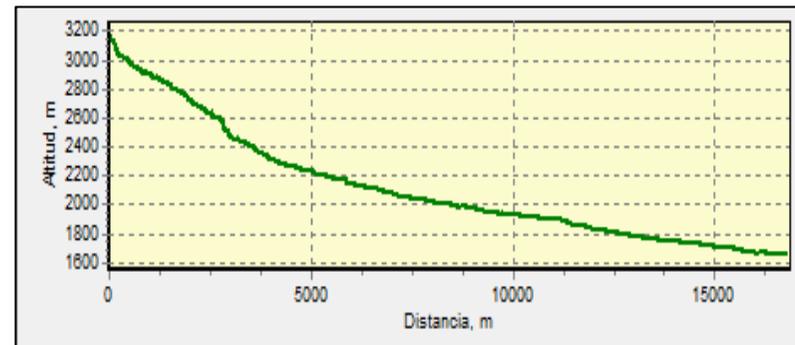


Figura 34.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Yangana

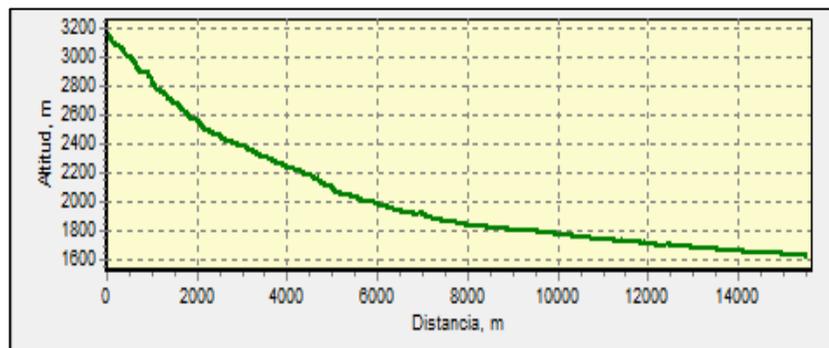
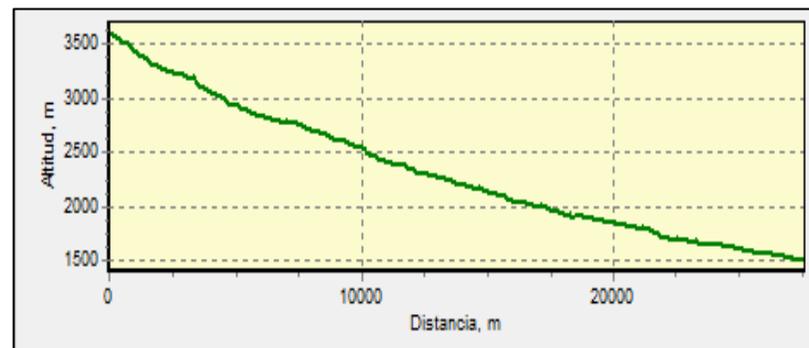


Figura 35.

Perfil del cauce principal de la subcuenca Alta del Guayabal



Anexo 4.

Perfiles del cauce principal de las sub y microcuencas de la vertiente del Atlántico

Figura 36.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Malacatos Norte

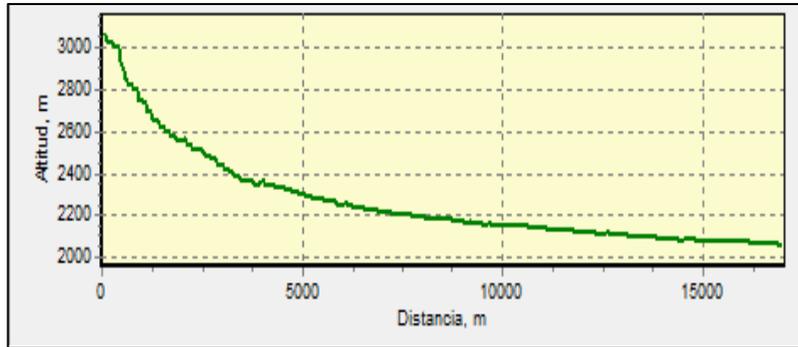


Figura 37.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Las Mercedes

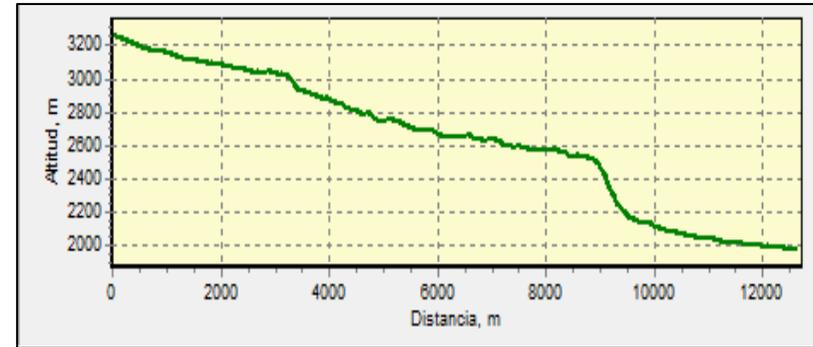


Figura 38.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Zamora Huayco

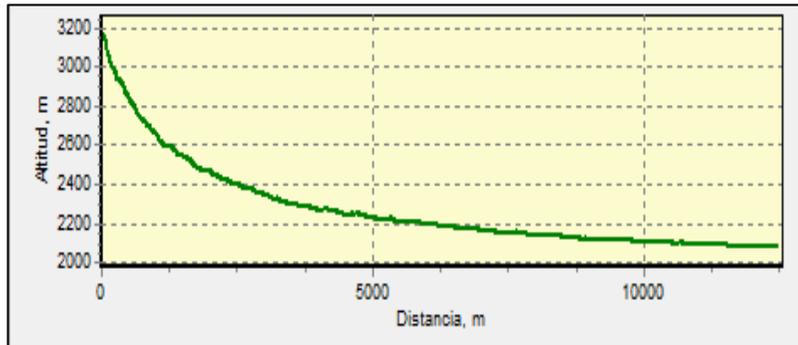


Figura 39.

Perfil del cauce principal de la microcuenca Jipiro

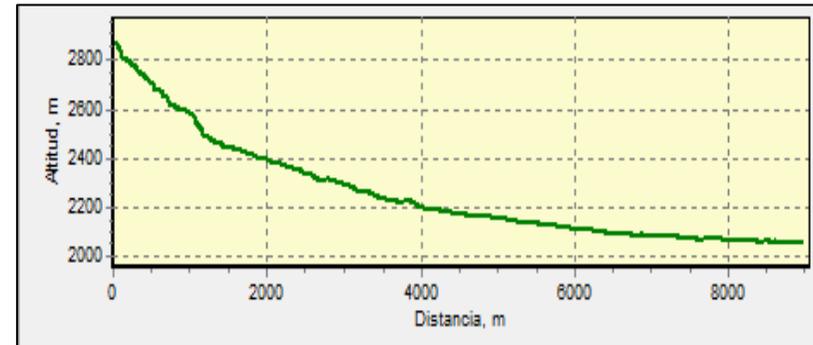


Figura 40.

Perfil del cauce principal de la Microcuenca Salapa

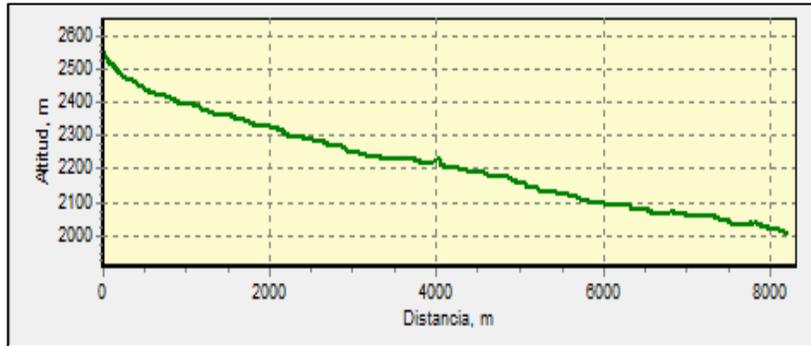


Figura 41.

Perfil del cauce principal de la Microcuenca Las Pavas

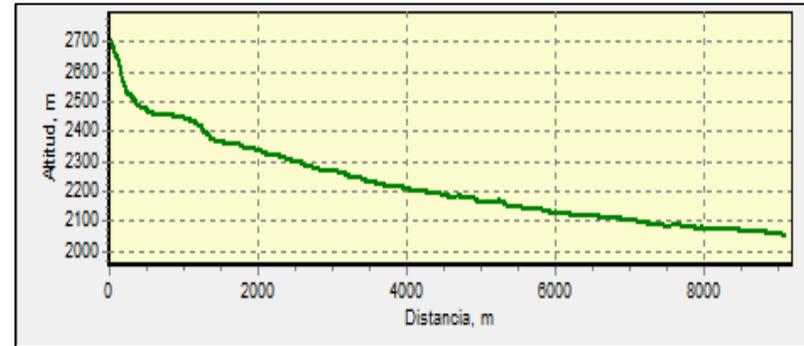


Figura 42.

Perfil del cauce principal de la Microcuenca Santiago

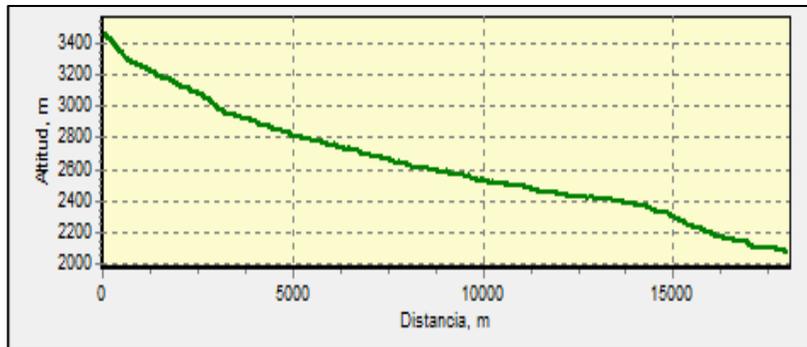


Figura 43.

Perfil del cauce principal de la Subcuenca San Lucas

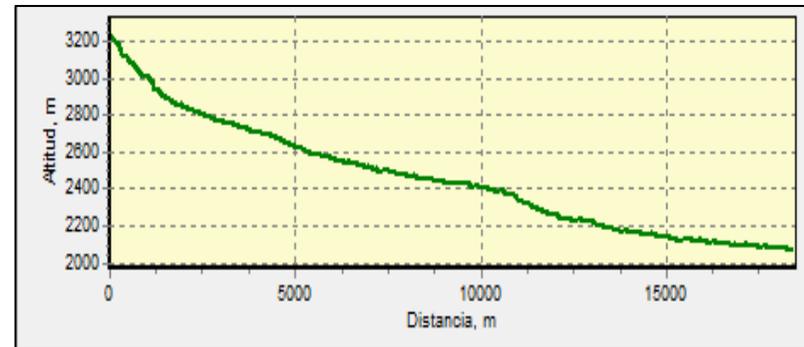
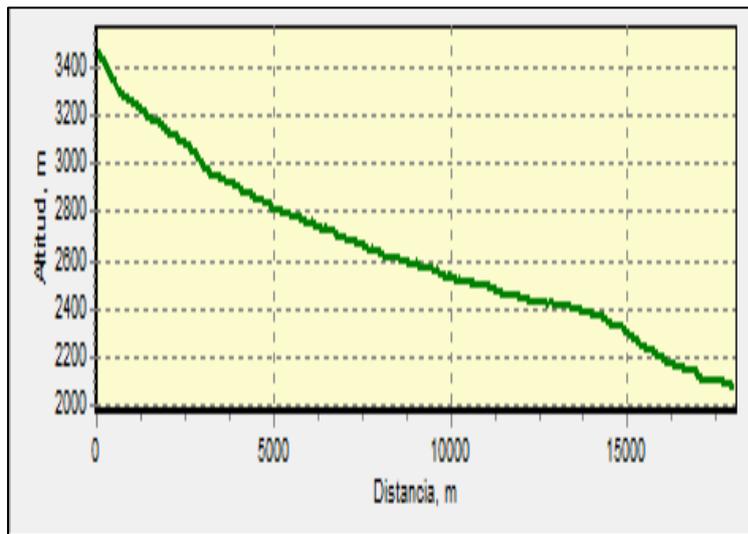


Figura 44.

Perfil del cauce principal de la Microcuenca Santiago



Anexo 5.

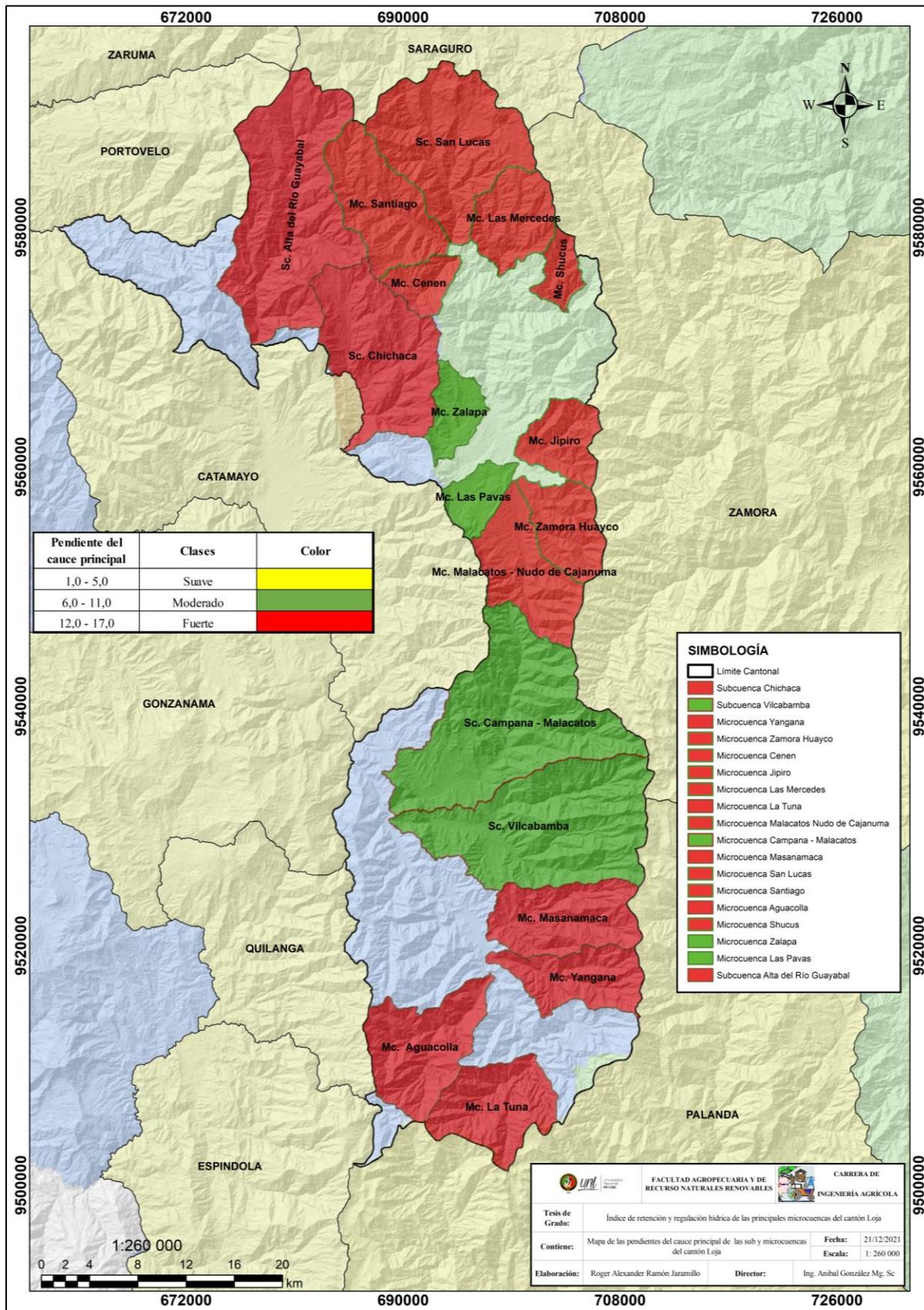
Longitud del cauce principal

Longitud del cauce principal (km)	Clases
6,9 - 10,9	Corto
11,0 - 15,0	Medio
15,1 - 19,0	Largo

Fuente: (Fuentes, 2004)

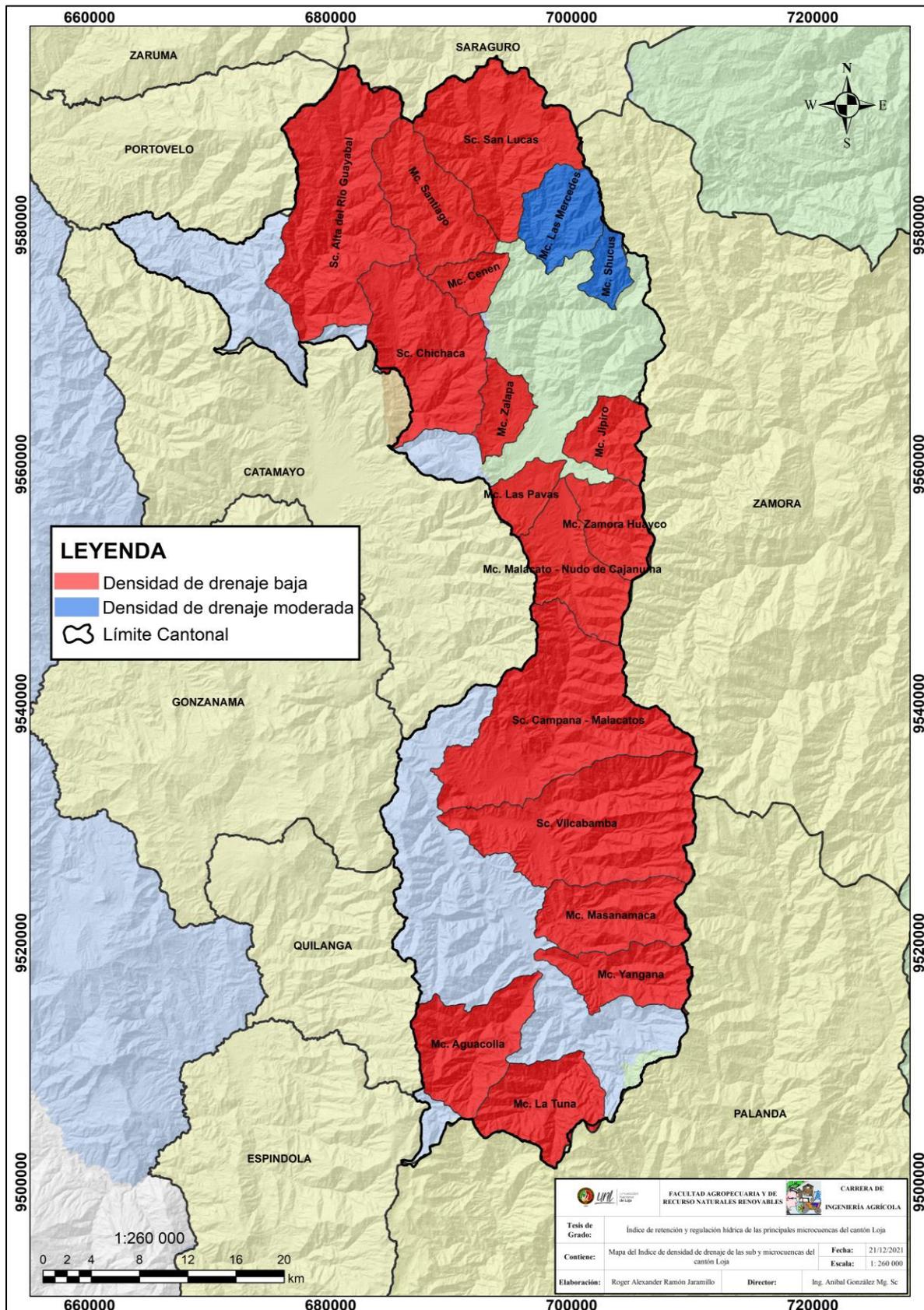
Anexo 6.

Mapa de pendientes del cauce principal de las sub y microcuencas del cantón Loja



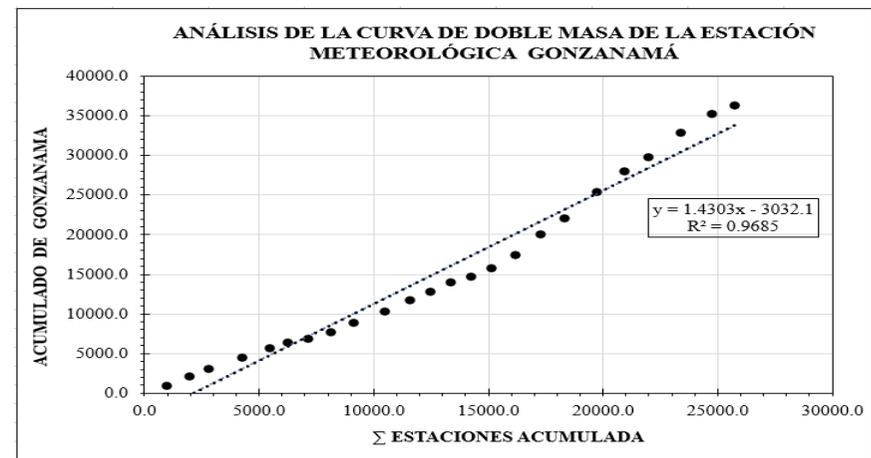
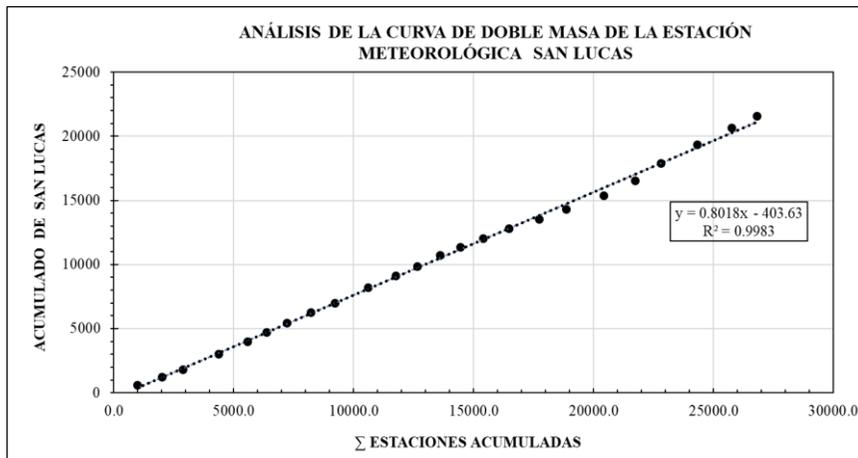
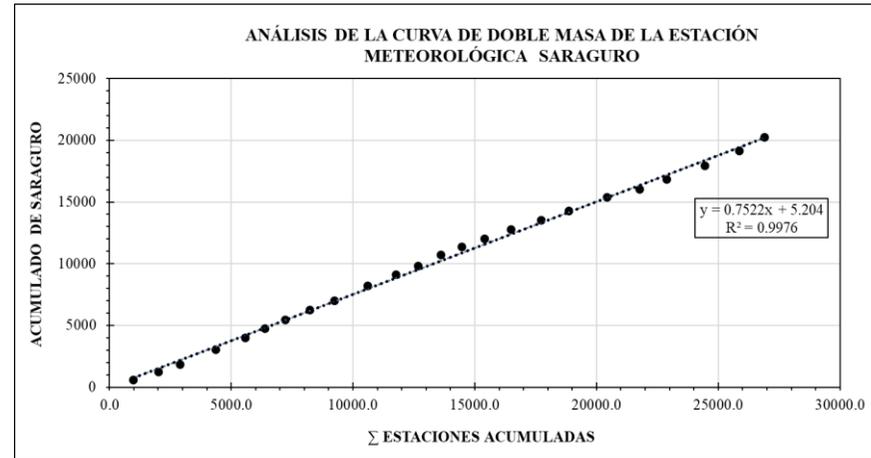
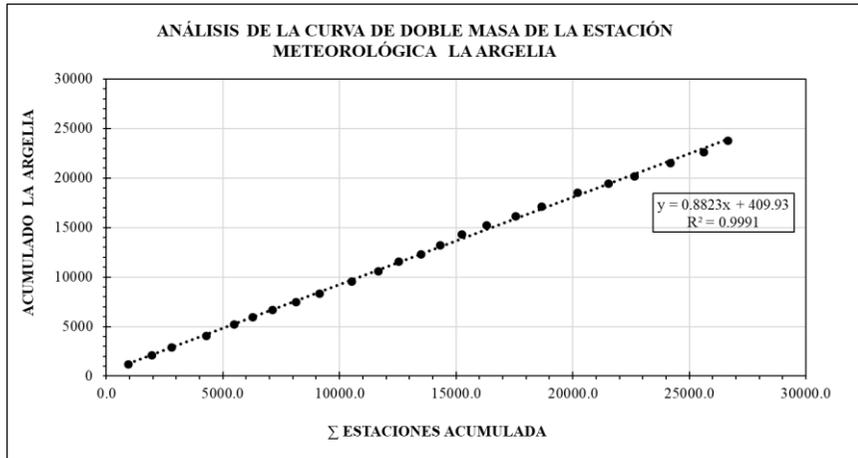
Anexo 7.

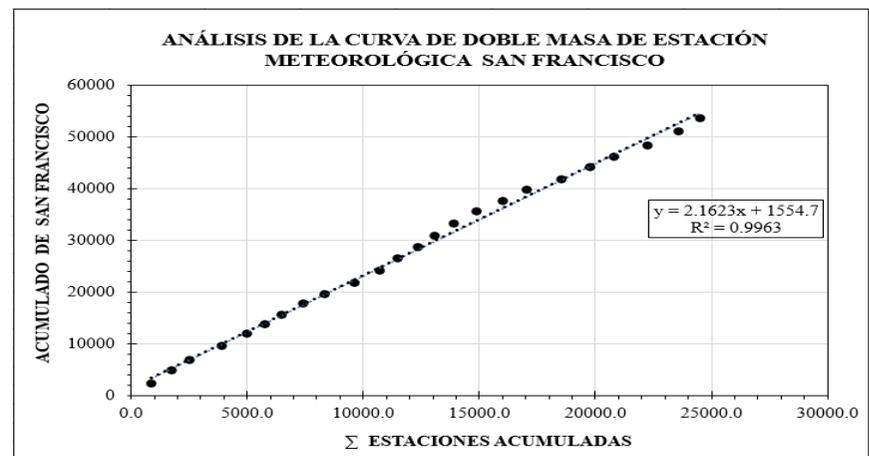
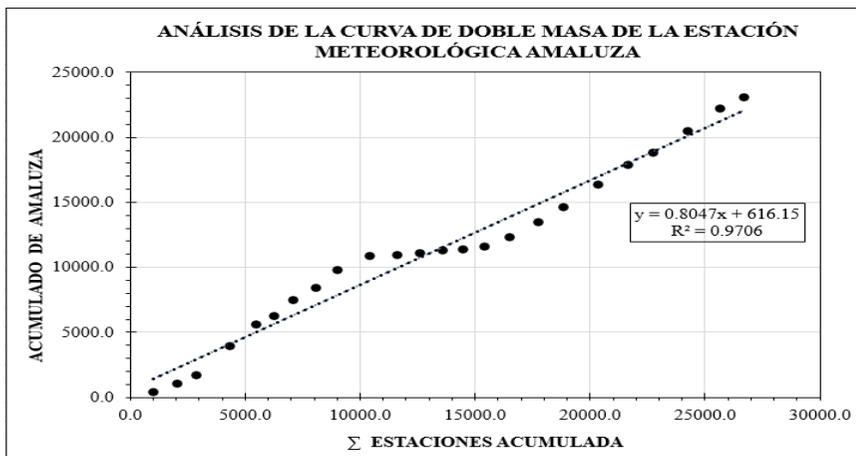
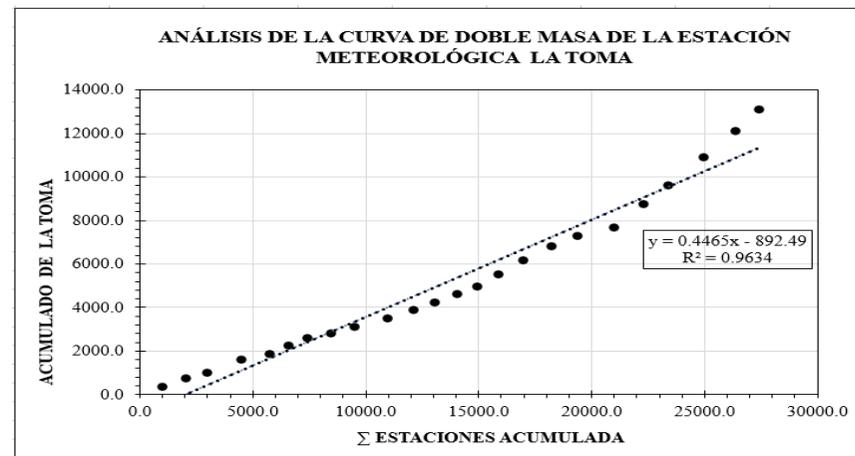
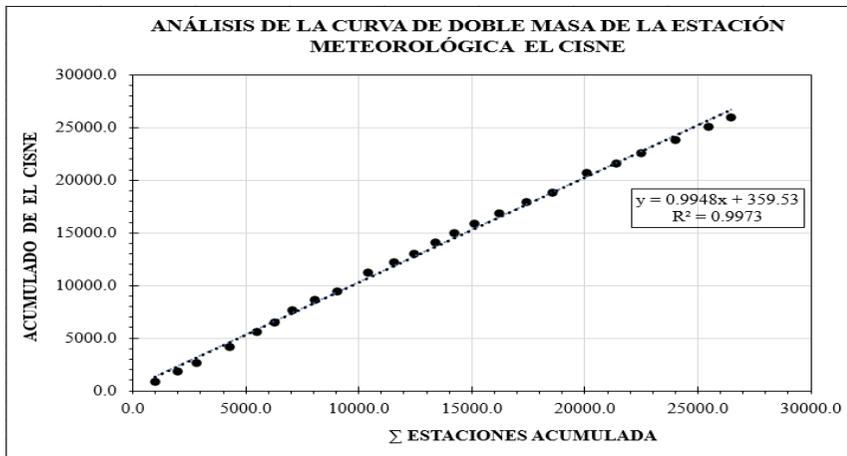
Mapa de densidad de drenaje de las sub y microcuencas del cantón Loja

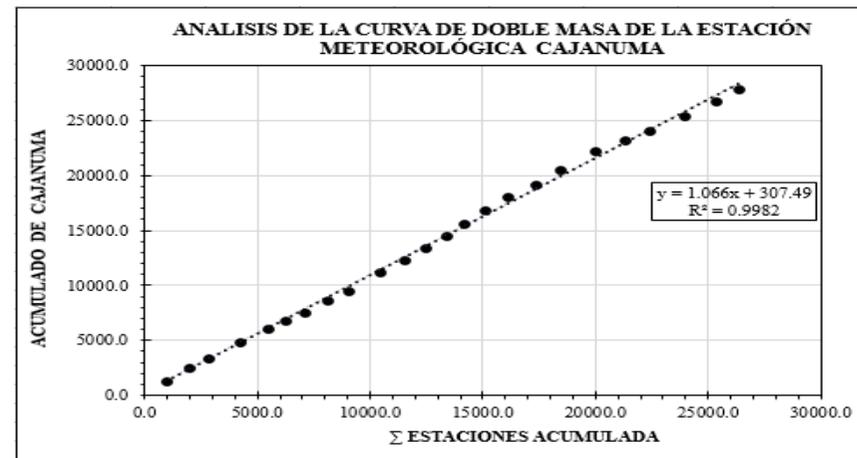
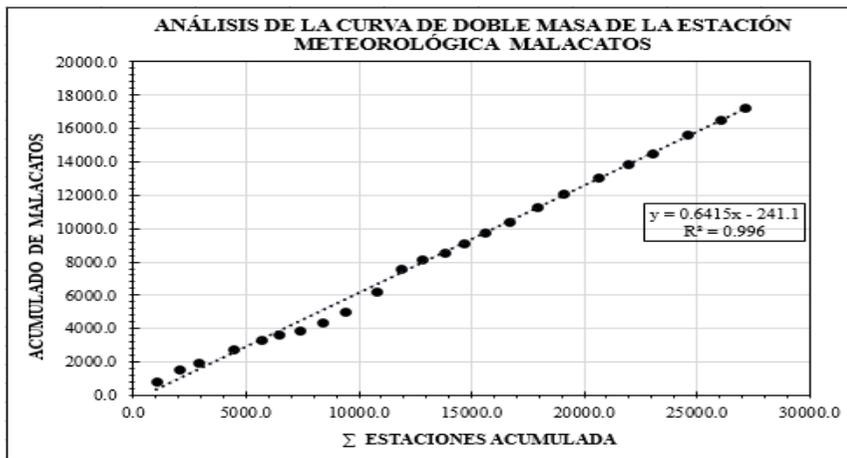
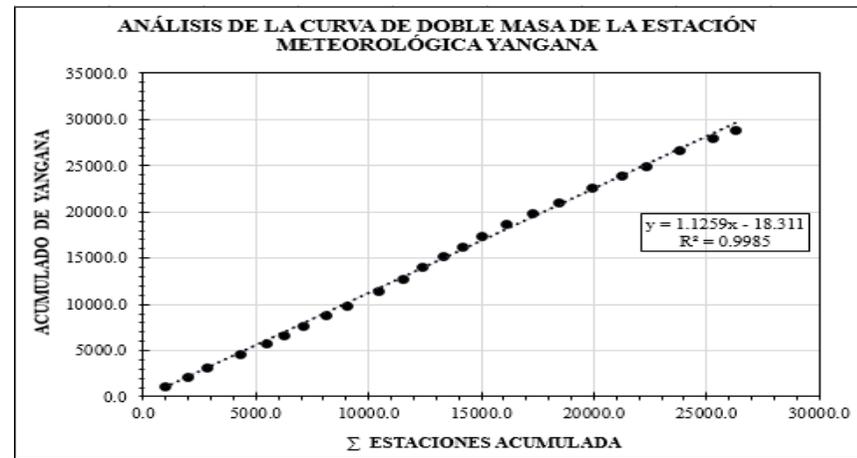
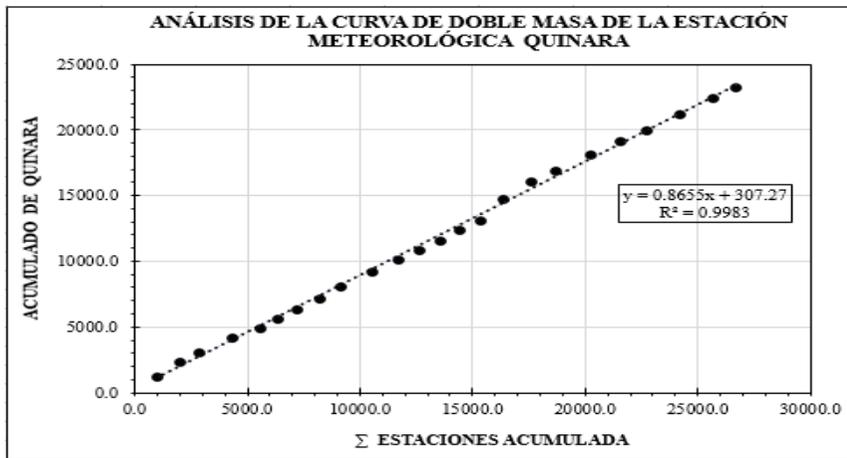


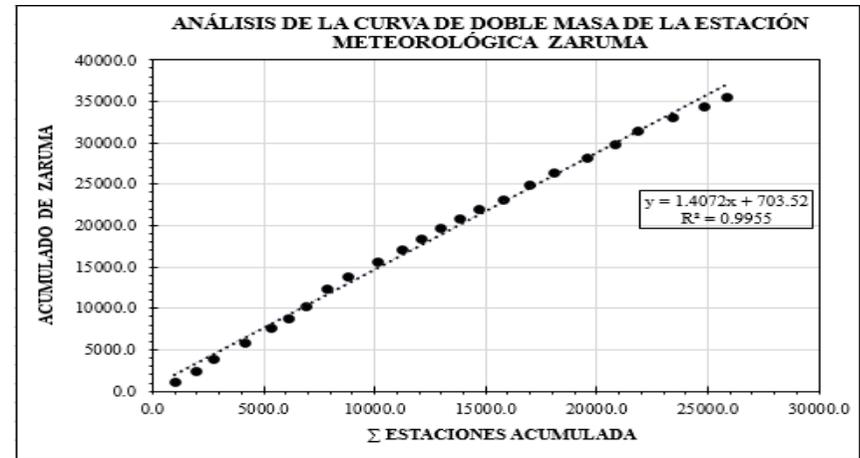
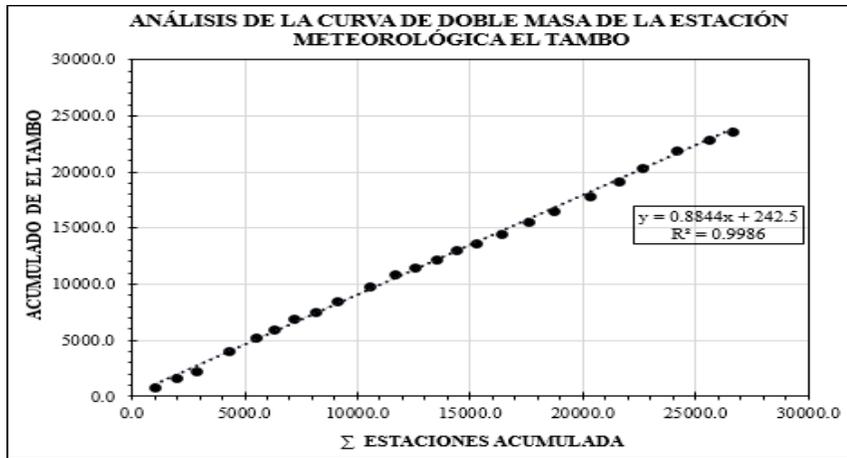
Anexo 8.

Análisis de consistencia de datos



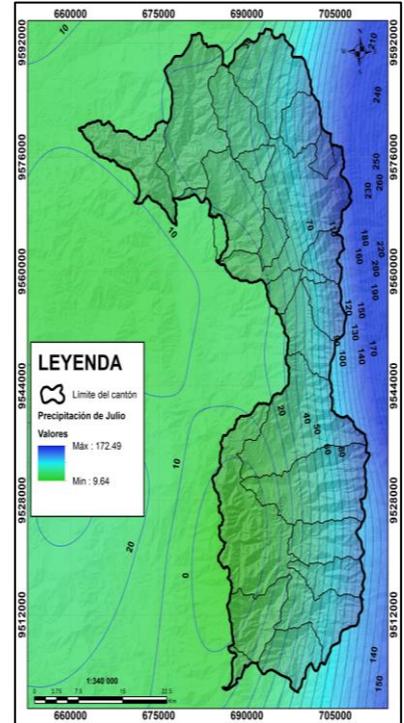
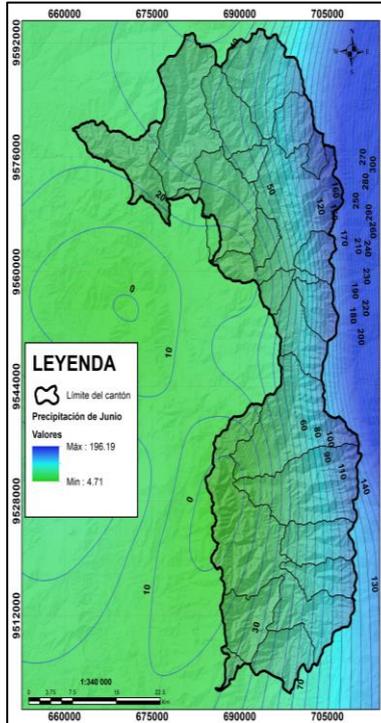
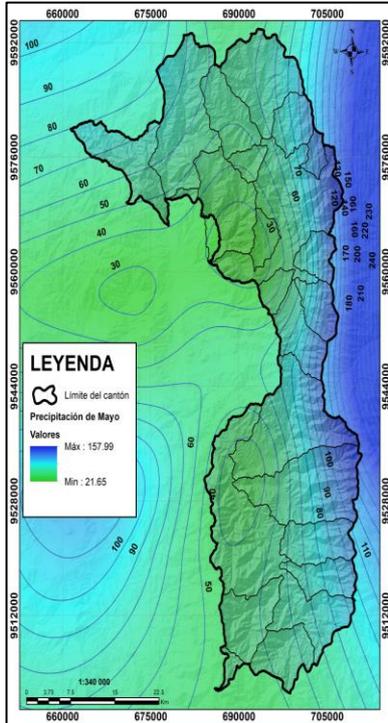
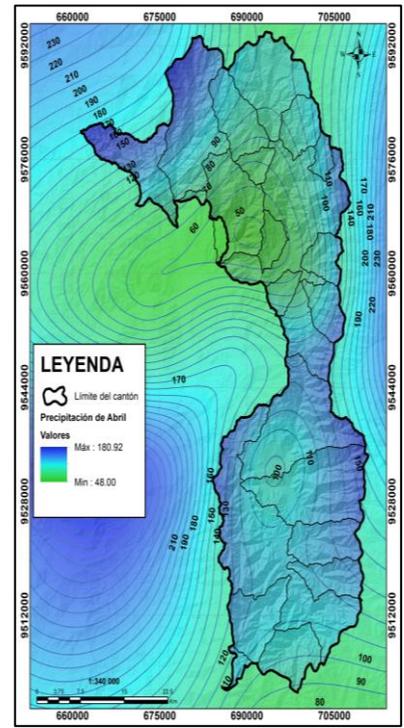
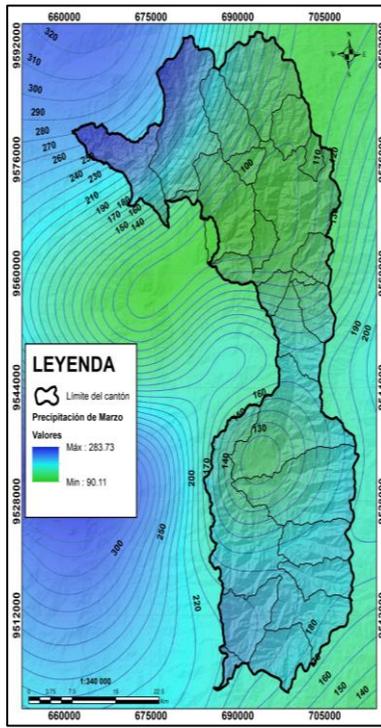
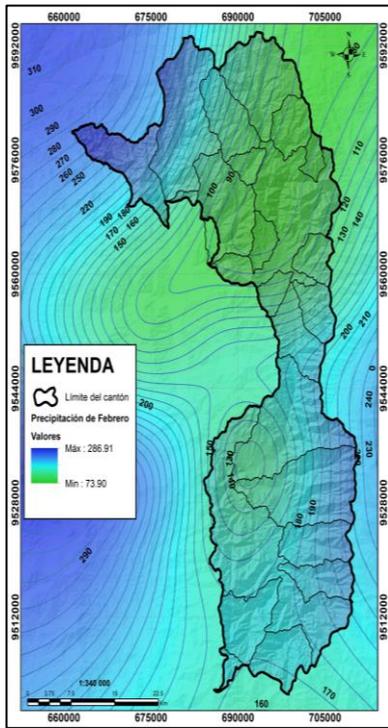






Anexo 9.

Mapa de precipitación media mensual del cantón Loja



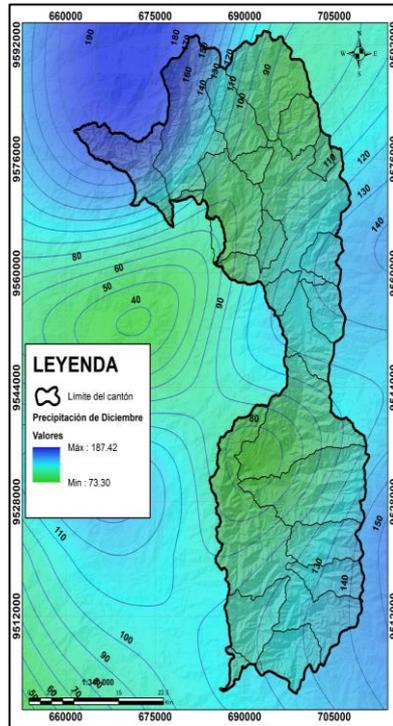
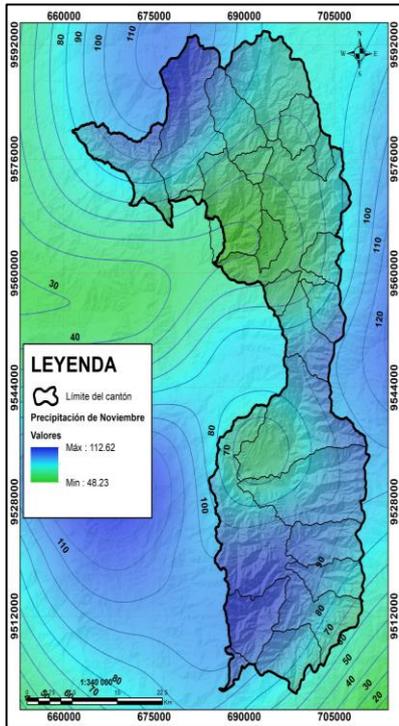
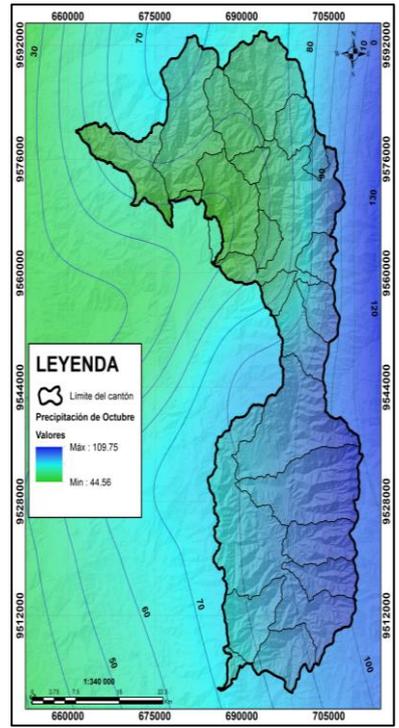
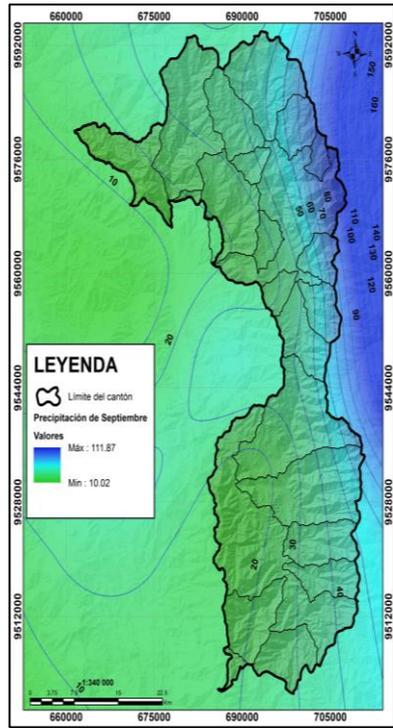
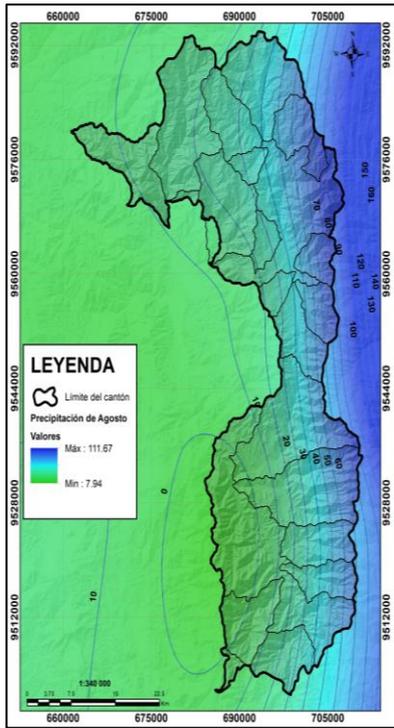


Figura 49.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Masanamaca

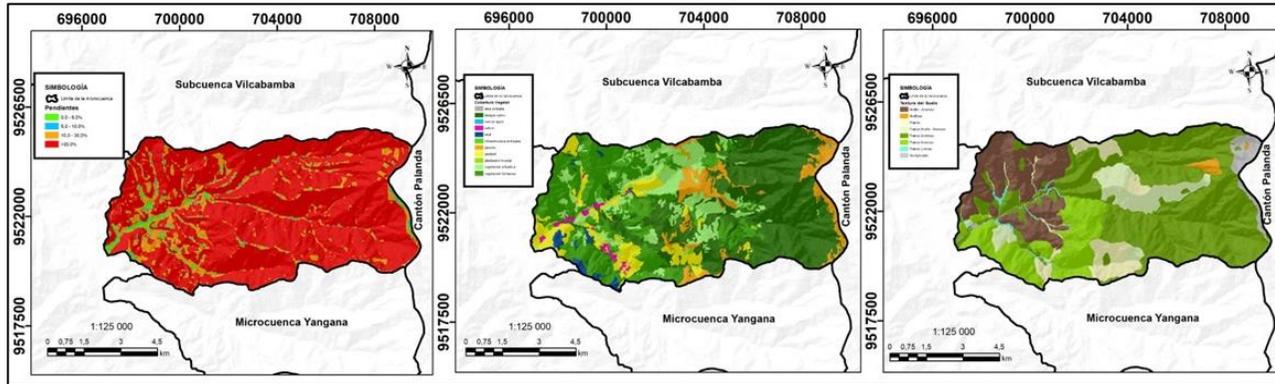


Figura 50.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca La Tuna

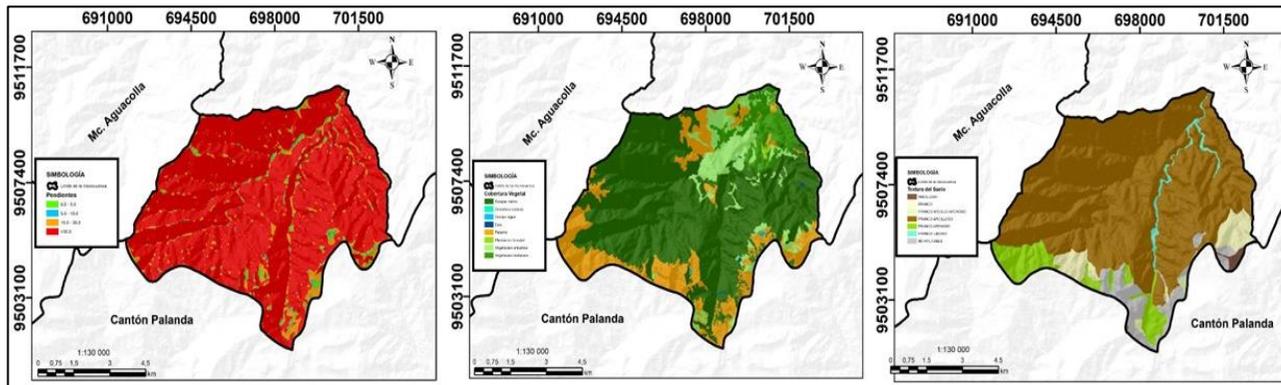
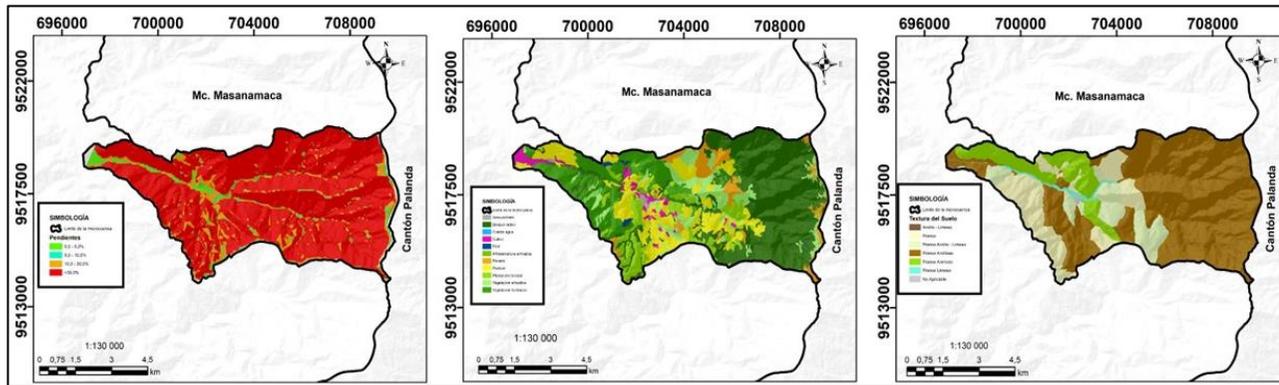


Figura 51.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Yangana



Anexo 11.

Mapas para la obtención del Ce en las unidades hidrográficas de la Vertiente del Atlántico

Figura 52.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Subcuenca San Lucas

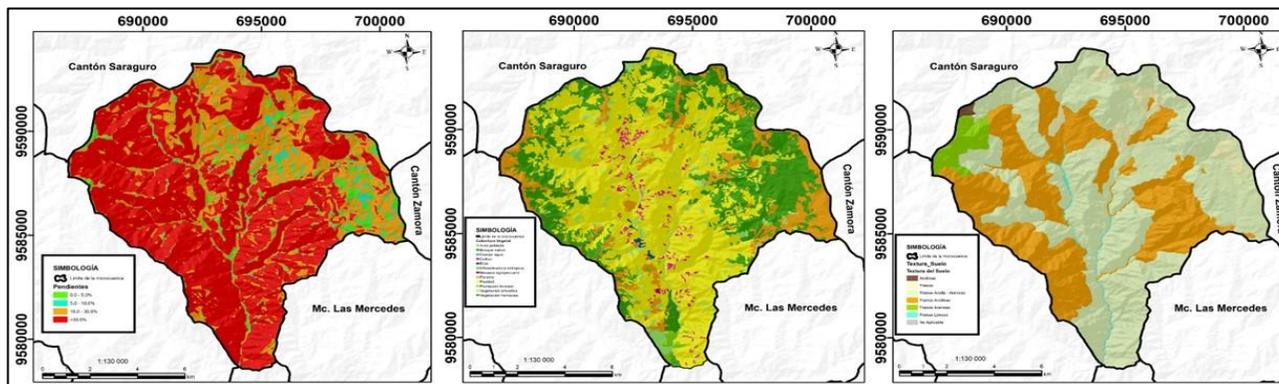


Figura 53.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Santiago

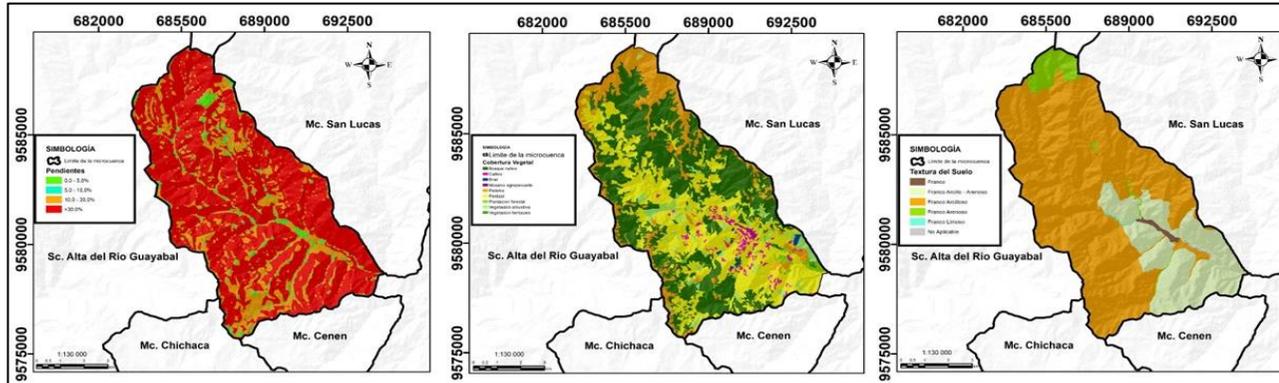


Figura 54.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Malacatos Norte

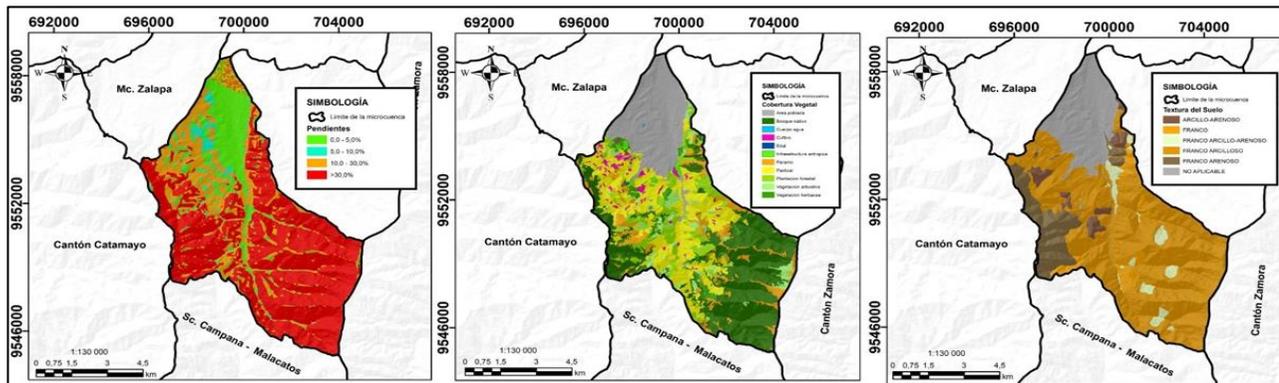


Figura 55.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Las Mercedes

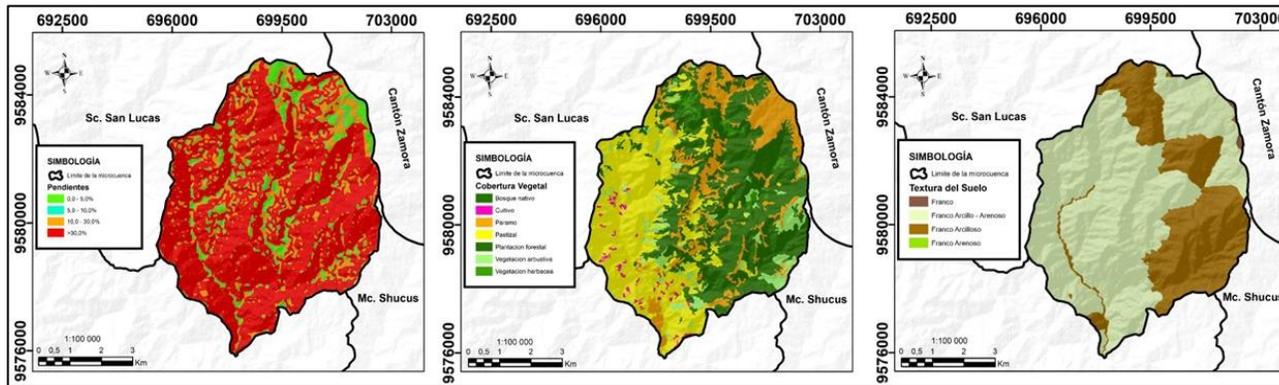


Figura 56.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Zamora Huayco

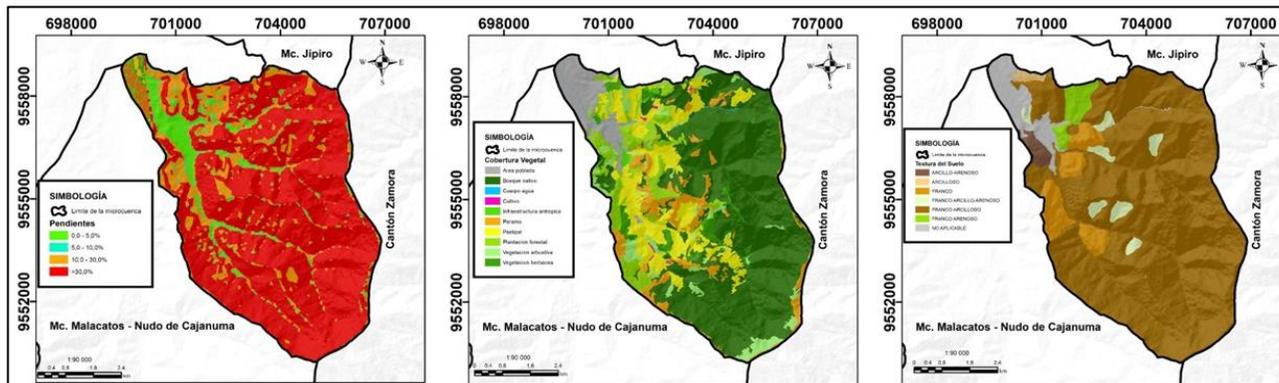


Figura 57.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Jipiro

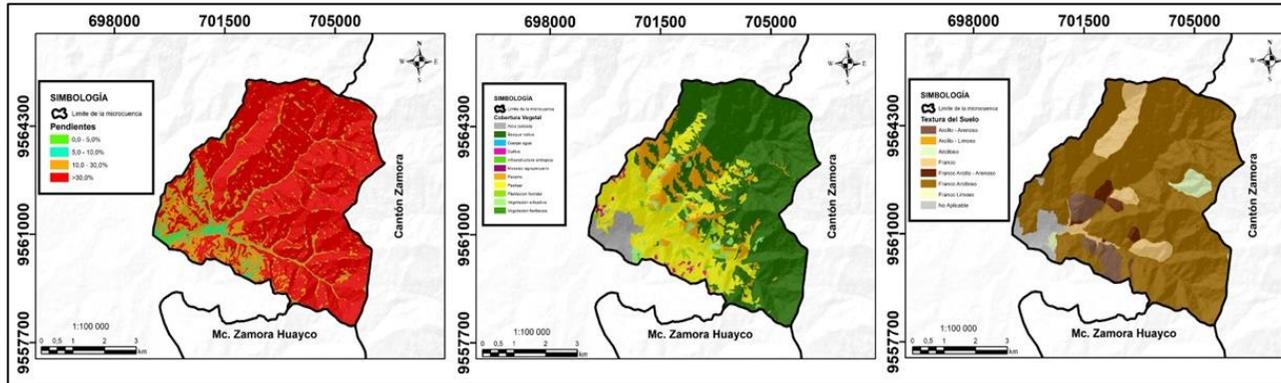


Figura 58.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Zalapa

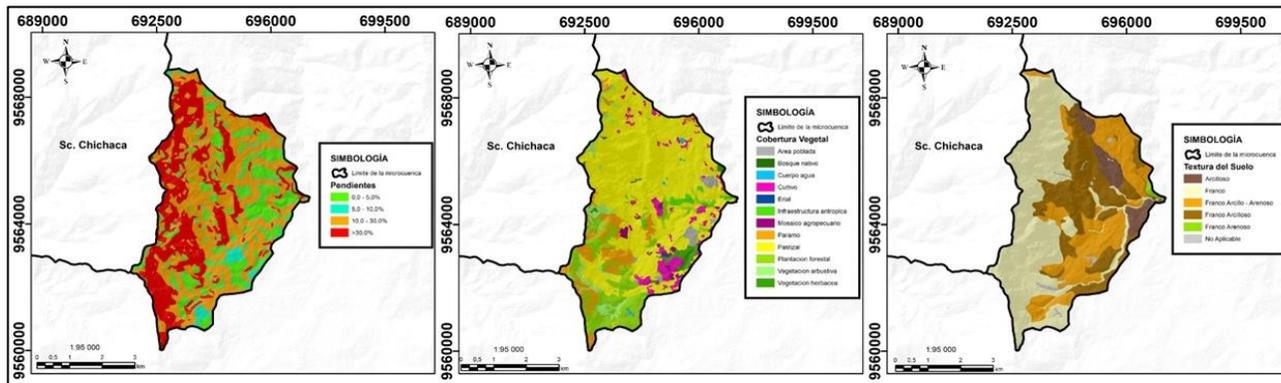


Figura 59.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Las Pavas

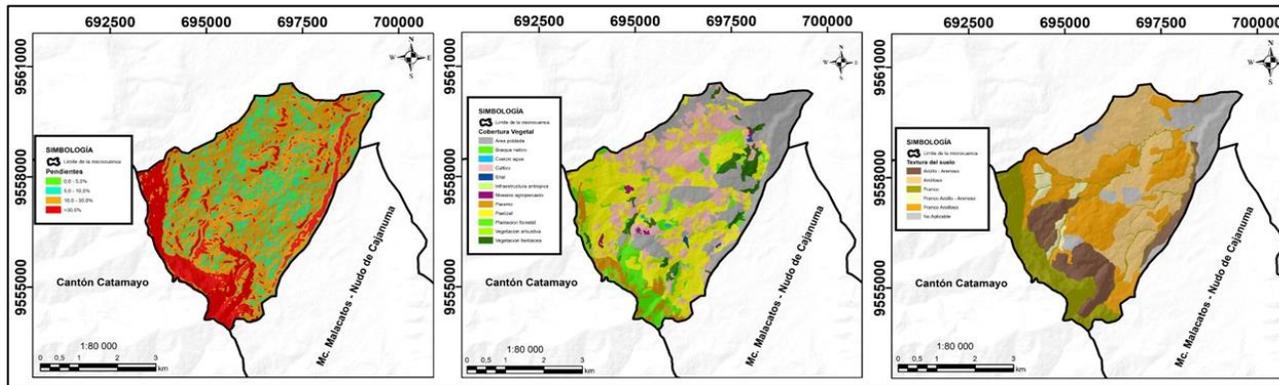


Figura 60.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Cenén

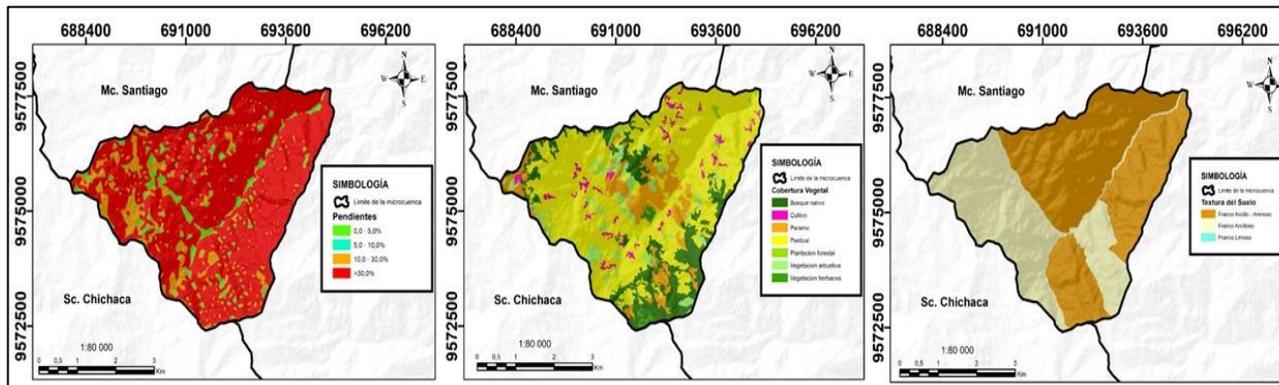
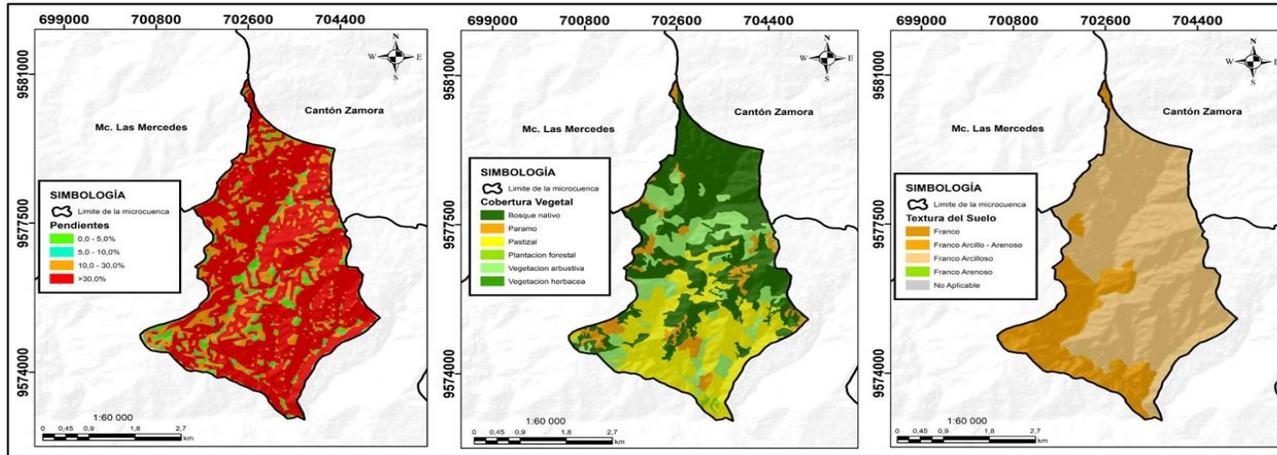


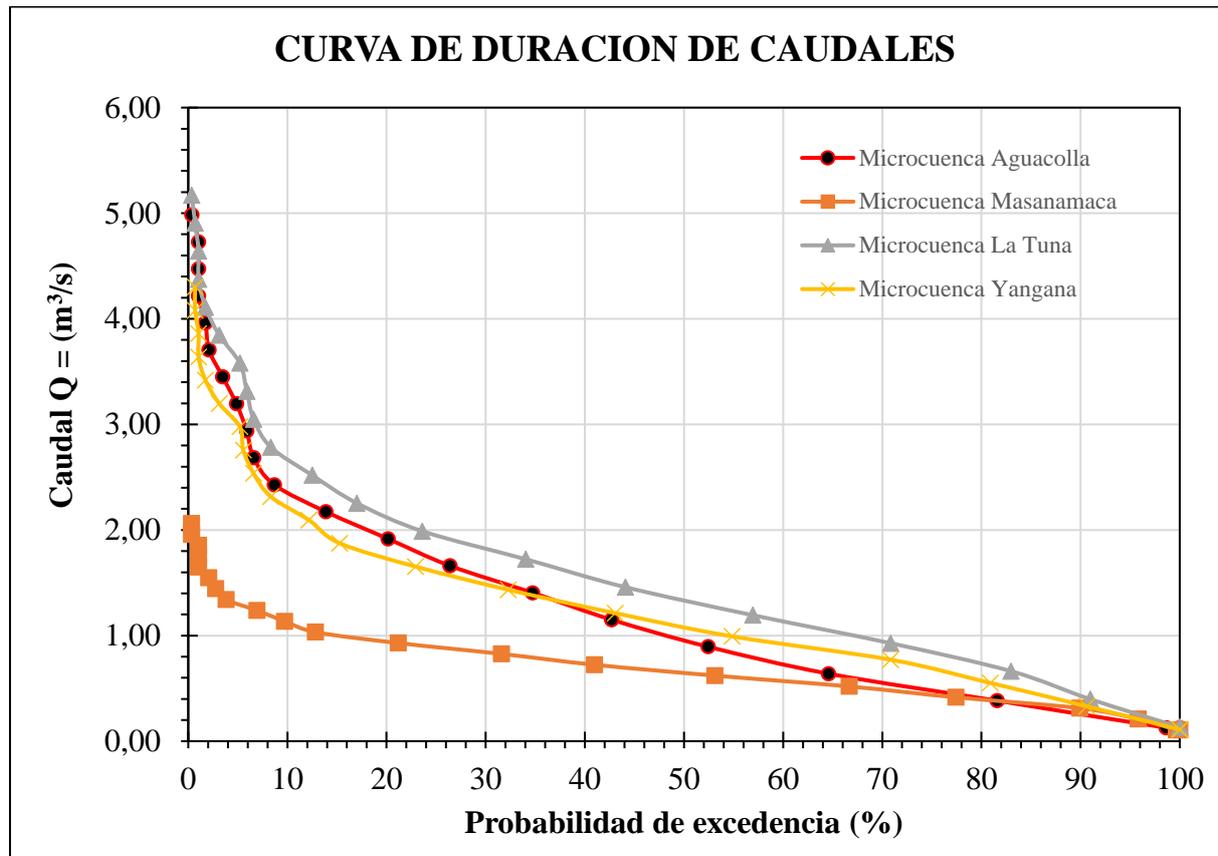
Figura 61.

Mapas de Pendientes, Cobertura Vegetal y Textura del Suelo de la Microcuenca Shucus



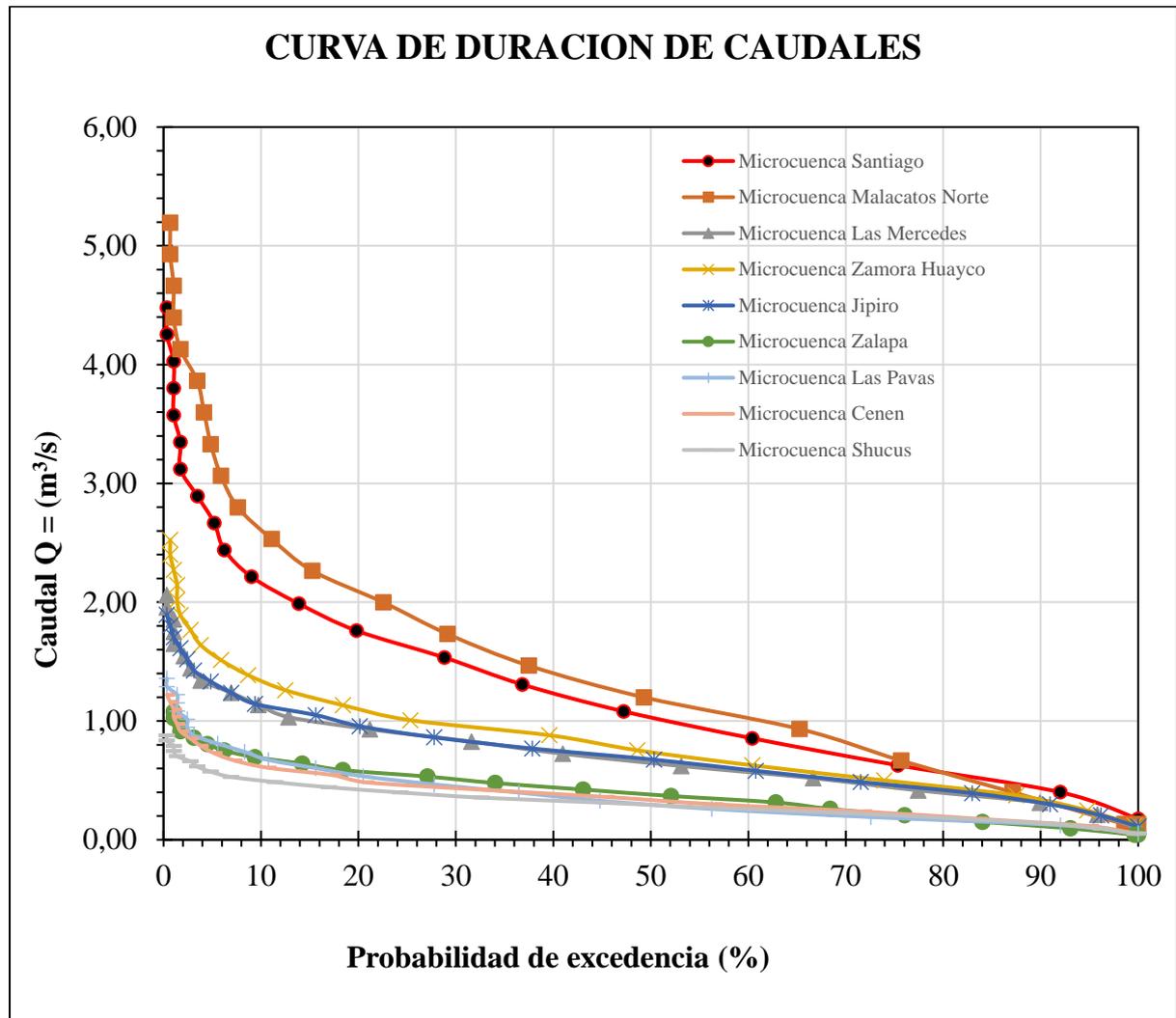
Anexo 12.

Curvas de duración de caudales de las microcuencas de la vertiente del Pacífico



Anexo 13.

Curvas de duración de caudales de las microcuencas de la vertiente del Atlántico

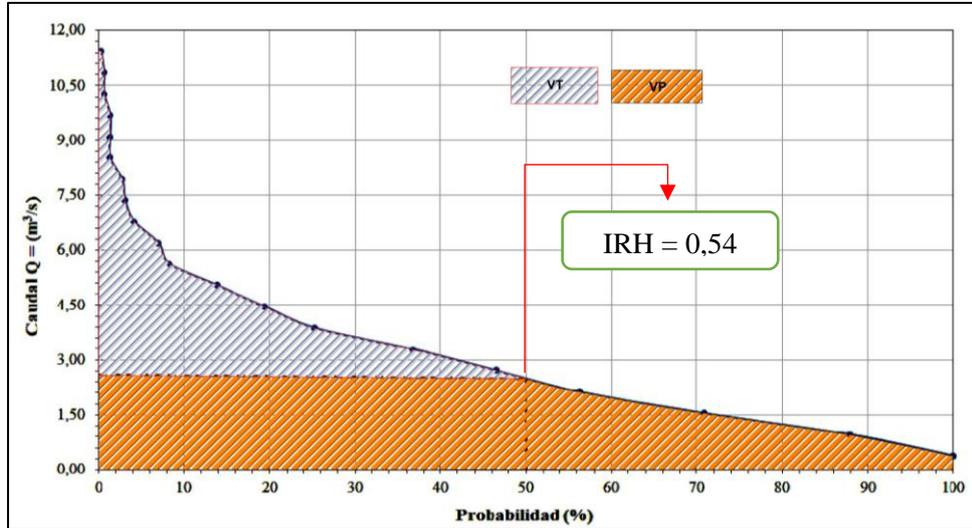


Anexo 14.

Calculo sistemático del índice de retención y regulación hídrica

Figura 62.

Ejemplo del cálculo del IRH de la Subcuenca de Malacatos Sur



Anexo 15.

Visita de campo a las microcuencas de la Vertiente del Pacífico

Figura 63.

Visita de campo a la estación Moyococha



Figura 64.

Visita a la Microcuenca Yangana



Figura 65.

Cascada Escondida en Vilcabamba

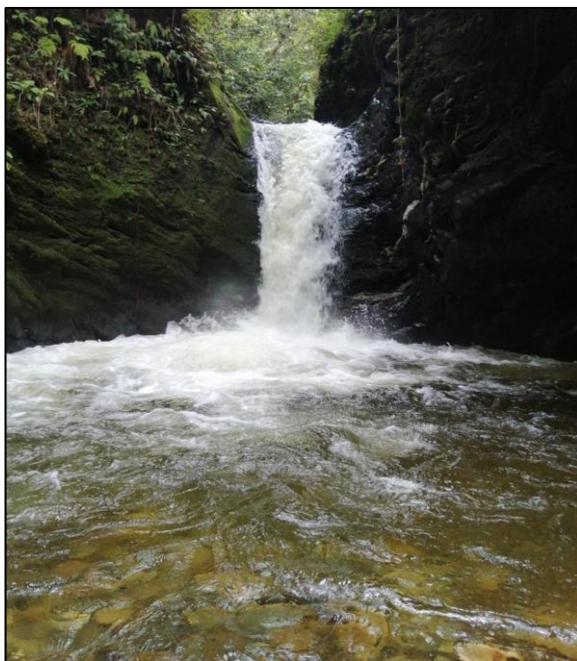


Figura 66.

Cultivos de la Subcuenca Vilcabamba



Figura 67.

Visita a la Subcuenca Chichaca



Figura 68.

Observación de la cobertura vegetal



Figura 69.

Cobertura vegetal de las microcuencas



Anexo 16.

Visita de campo a las microcuencas de la Vertiente del Atlántico

Figura 70.

Visita a la Microcuenca Malacatos Norte



Figura 71.

Visita a la Microcuenca el Carmen



Figura 72.

Observación de la cubierta vegetal



Figura 73.

Cubierta vegetal de la Microcuenca Shucus



Figura 74.

Visita a la Microcuenca Zamora Huayco



Figura 75.

Visita a la Cascada Jipiro



Figura 76.

Visita a Santiago



Figura 77.

Red hídrica de Santiago



Figura 78.

Cobertura vegetal de San Lucas



Figura 79.

Área poblada de la Parroquia Jimbilla



Anexo 17.

Certificado de traducción del abstract

Loja, 23 de febrero de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Nadine Alejandra Narvárez Tapia, con número de cédula 1150753067 y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-2019-2144786

CERTIFICO:

Qué he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado “**Índice de retención hídrica de las principales microcuencas del cantón Loja**” de autoría de **Roger Alexander Ramón Jaramillo**, portador de la cédula de identidad, número **1105992513**, egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



Firmado electrónicamente por:
NADINE
ALEJANDRA
NARVAEZ TAPIA

Lic. Nadine Alejandra Narvárez Tapia

C.I: 1150753067

Registro del SENESCYT: 1008-2019-2144786