



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Análisis de la disponibilidad hídrica de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

AUTOR:

Erika Elizabeth Moreno Medina

DIRECTOR:

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 10 de marzo de 2023

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: **“Análisis de la disponibilidad hídrica de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos”**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, de la autoría de la estudiante Erika Elizabeth Moreno Medina, con cedula de identidad Nro. 1150309662, 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.



Firmado electrónicamente por:
**ANIBAL EDUARDO
GONZALEZ GONZALEZ**

Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Erika Elizabeth Moreno Medina**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación 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 Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink that reads "Erika Moreno". The signature is written over a yellow rectangular highlight.

Cédula de identidad: 1150309662

Fecha: Loja 19 de julio del 2023

Correo electrónico: erika.moreno@unl.edu.ec

Celular: 0991764919

Carta de Autorización por parte de la autora para la consulta, reproducción parcial y/o total, y publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación

Yo, **Erika Elizabeth Moreno Medina**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: “**Análisis de la disponibilidad hídrica de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos**”, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre 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 con 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 del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecinueve días del mes de julio del dos mil veintitrés



Firma:

Autora: Erika Elizabeth Moreno Medina

Cédula de identidad: 1150309662

Dirección: Loja, Bolívar y José Félix de Valdivieso.

Correo electrónico: erika.moreno@unl.edu.ec

Celular: 0991764919

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Aníbal Eduardo González González, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, por haberme dado la vida y ha sido mi luz, guía y fortaleza en este camino y con amor a estado conmigo hasta el día de hoy.

A mi abuelita Carmen Pesantez quien con su amor incondicional y esfuerzo me ayudo a cumplir hoy un sueño más en mi vida.

A mis padres Richath Moreno y Lucía Medina por brindarme su amor y confianza para seguir adelante cumpliendo más metas y con su ejemplo me han demostrado que siempre se puede salir adelante.

Asimismo, a mi Tía Rocío y a mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional, durante toda mi etapa universitaria por cada palabra de aliento que de una u otra forma me ayudaron a cumplir este sueño tan anhelado.

Y finalmente a Junior por ser el ángel que me cuida desde el cielo.

Erika Elizabeth Moreno Medina

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por ser el quien ha derramado bendiciones en mi familia y a la Santísima Virgen María por cuidarme en todo momento.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja que mediante la carrera de Ingeniería Agrícola me brindó la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida, de igual manera un sincero agradecimiento al personal docente, que llenos de sabiduría y conocimientos impartieron experiencias y forjaron profesionales competitivos y comprometidos para la sociedad.

Al magister Aníbal Eduardo González González, director de este trabajo, un aprecio y agradecimiento de todo corazón por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad científica de años de experiencia.

A mis amigos por apoyarme cuando más los necesite, los cuales en estos cinco años de vida universitaria han hecho mi estadía muy llevadera. Muchas Gracias.

Erika Elizabeth Moreno Medina

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de Autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos:	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 Influencia de la cobertura vegetal presente en la regulación hídrica	6
4.2 La cobertura y uso del suelo presente en los bosques andinos	6
4.2.1 Suelo como regulador de agua en la cuenca	7
4.3 Disponibilidad del recurso hídrico	7
4.3.1 Aprovechamiento del agua con fines de riego.....	8
4.4 Efecto de la actividad humana y antrópica en las cuencas	9
4.5 La Hidrología	9
4.5.1 El ciclo hidrológico.....	10
4.6 Características morfológicas de una cuenca y su relación con la cobertura vegetal	10
4.7 La precipitación como agente principal de entrada de la cuenca	11
4.8 La escorrentía y su relación con la vegetación y el suelo	11
4.8.1 Criterio del coeficiente de escurrimiento.....	12
4.8.2 Curva de duración de caudales como evidencia del comportamiento de la cuenca hidrográfica.....	12
4.9 Estimación de caudales medios en una cuenca	13
5. Metodología	14
5.1 Ubicación de la Cuenca Superior del Río Catamayo	14
5.2 Metodología para el primer objetivo	15
5.2.1 Recopilación de información	15
5.2.2 Características morfométricas de la microcuenca	16
5.2.2.1 Parámetros de forma	16

5.2.2.2	Parámetros de relieve.....	17
5.2.2.3	Parámetros de drenaje.....	18
5.2.3	Análisis de la disponibilidad hídrica.....	20
5.2.3.1	Estimación de la precipitación media.....	21
5.2.3.2	Análisis de la confiabilidad de los datos.....	21
5.2.4	Precipitación media mensual en la cuenca de captación.....	22
5.2.4.1	Métodos indirectos Precipitación – Esguerramiento.....	23
5.2.4.2	Método racional.....	23
7.5.5.	Curva de duración general.....	25
5.3	Metodología para el segundo objetivo.....	26
5.3.1	Conservación de suelos:.....	26
5.3.2	Cultivos trazados las curvas a nivel.....	27
5.3.3	Barreras vivas.....	27
6.	Resultados.....	28
6.1	Análisis de los parámetros físicos y morfométricos para de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos.....	28
6.1.1	Parámetros morfométricos de las microcuencas de estudio.....	28
6.1.2	Precipitación media mensual de la microcuenca La Palmira.....	30
6.1.3	Análisis de Caudales medios mensuales La Palmira.....	34
6.1.3.1	Cálculos del coeficiente de escurrentía La Palmira.....	34
6.1.3.2	Curva de duración general La Palmira.....	35
6.1.4	Precipitación media mensual de la microcuenca Campana – Malacatos.....	35
6.1.5	Análisis de Caudales medios mensuales Campana – Malacatos.....	38
6.1.5.1	Cálculo del coeficiente de escurrentía Campana - Malacatos.....	38
6.1.5.1	Curva de duración general Campana - Malacatos.....	39
6.1.6	Precipitación media mensual de la microcuenca Quinara.....	39
6.1.7	Análisis de Caudales medios mensuales Quinara.....	41
6.1.7.1	Cálculo del coeficiente de escurrentía Quinara.....	41
6.1.7.2	Curva de duración general Quinara.....	42
6.1.8	Precipitación media mensual de la microcuenca Vilcabamba.....	43
6.1.9	Análisis de Caudales medios mensuales Vilcabamba.....	45
6.1.9.1	Cálculo del coeficiente de escurrentía Vilcabamba.....	45
6.1.9.2	Curva de duración general Vilcabamba.....	46
6.1.10	Precipitación media mensual de la microcuenca La Era.....	47
6.1.11	Análisis de Caudales medios mensuales La Era.....	49
6.1.11.1	Cálculo del coeficiente de escurrentía La Era.....	49
6.1.11.2	Curva de duración general La Era.....	50
6.2	Formular una propuesta de manejo y conservación basado principalmente en la revegetalización de las microcuencas de estudio, que contribuyan a la regulación hídrica.....	51
6.2.1	Objetivo General.....	51
6.2.2	Objetivo Específico.....	52
6.2.3	Localización del área.....	52
6.2.4	Propuesta de manejo y conservación basado en la revegetalización de las microcuencas de estudio.....	53
6.2.4.1	Impactos esperados para las microcuencas.....	62

7.	Discusiones	63
7.1	Análisis de los parámetros morfométricos de las microcuencas de estudio	63
7.2	Cálculo de la precipitación y coeficiente de escorrentía.....	64
8.	Conclusiones.....	66
9.	Recomendaciones.....	67
10.	Bibliografía.....	68
11.	Anexos.....	78

Índice de tablas

Tabla 1.	Características de la cuenca de acuerdo al coeficiente de Gravelius	16
Tabla 2.	Índice de forma de una cuenca hidrográfica	17
Tabla 3.	Clasificación de las pendientes medias.....	18
Tabla 4.	Clasificación de la pendiente media del cauce principal	19
Tabla 5.	Densidad de drenaje.....	19
Tabla 6.	Estaciones meteorológicas.....	21
Tabla 7.	Códigos asignados a las variables del método racional.....	24
Tabla 8.	Valores de C para el cálculo del escurrimiento.	24
Tabla 9.	Parámetros morfométricos de las microcuencas: unidades hidrográficas de estudio.....	28
Tabla 10.	Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio	28
Tabla 11.	Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio	29
Tabla 12.	Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas de estudio	30
Tabla 13.	Microcuencas de estudio.....	52
Tabla 14.	Impactos esperados en las zonas de estudio en pase a la propuesta de revegetalización.	62

Índice de figuras

Figura 1.	Mapa base de ubicación de las microcuencas de estudio	15
Figura 2.	Curva Hipsométrica	18
Figura 3.	Orden de las corrientes	20
Figura 4.	Diagrama de flujo para la obtención del coeficiente de escorrentía	25
Figura 5.	Curva hipsométrica de las microcuencas de estudio	29
Figura 6.	Precipitación media anual especializada de la microcuenca La Palmira.....	31
Figura 7.	Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca La Palmira, periodo 1995-2015	33
Figura 8.	Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca La Palmira.....	33
Figura 9.	Mapas de la cobertura vegetal de la microcuenca La Palmira, para determinar el Ce, para los años 2010-2022	34
Figura 10.	Gráfica curva de duración general La Palmira, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.	35
Figura 11.	Precipitación media anual especializada de la microcuenca Campana - Malacatos	36
Figura 12.	Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Campana – Malacatos, periodo 1995-2015.....	37
Figura 13.	Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Campana-Malacatos	37
Figura 14.	Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Campana-Malacatos, para determinar el Ce, para los años 2010-2022	38
Figura 15.	Gráfica curva de duración general Campana -Malacatos, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.	39
Figura 16.	Precipitación media especializada de la microcuenca Quinara	40
Figura 17.	Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Quinara, periodo 1995-2015	40
Figura 18.	Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Quinara	41
Figura 19.	Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Quinara, para determinar el Ce, para los años 2010-2022.....	42
Figura 20.	Gráfica curva de duración general Quinara, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.	43
Figura 21.	Precipitación media especializada de la microcuenca Vilcabamba.....	44
Figura 22.	Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Vilcabamba, periodo 1995-2015	44
Figura 23.	Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Vilcabamba	45

Figura 24. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Vilcabamba, para determinar el Ce, para los años 2010-2022.....	46
Figura 25. Gráfica curva de duración general Vilcabamba, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.	47
Figura 26. Precipitación media especializada de la microcuenca La Era	48
Figura 27. Histograma de distribución plurianual de la microcuenca La Era.....	48
Figura 28. Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca La Era.....	49
Figura 29. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca La Era, para determinar el Ce, para los años 2010-2022	50
Figura 30. Gráfica curva de duración general La Era, año 2010 – 2022, con el 75% de probabilidad.	51
Figura 31. Mapa base de ubicación de las microcuencas de estudio	52
Figura 32. Porcentaje de páramo en las microcuencas de estudio	53
Figura 33. Terrazas individuales, para prevenir la erosión	54
Figura 34. Desechos o residuos agrícolas	55
Figura 35. Trazado de zanjas para prevenir la erosión.....	56
Figura 36. Trazado de zanjas para prevenir la erosión.....	56
Figura 37. Barreras muertas	57
Figura 38. Barreras vivas	58
Figura 39. Labranza mínima en surcos	59
Figura 40. Labranza mínima en surcos	60
Figura 41. Revegetalización de taludes.....	60
Figura 42. Diques de contención.....	61

Índice de anexos

Anexo 1. Análisis de consistencia de datos de las Estaciones Meteorológicas.....	78
Anexo 2. Mapas de precipitación media de la microcuenca La Palmira.....	79
Anexo 3. Mapas de precipitación media de la microcuenca Campana-Malacatos	79
Anexo 4. Mapas de precipitación media de la microcuenca Vilcabamba	80
Anexo 5. Mapas de precipitación media de la microcuenca Quinara	81
Anexo 6. Mapas de precipitación media de la microcuenca La Era	82
Anexo 7. Mapas de pendiente de las microcuencas de estudio.....	83
Anexo 8. Mapas de textura de las microcuencas de estudio	83
Anexo 9. Certificación de traducción Abstract	84

1. Título

Análisis de la disponibilidad hídrica de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos.

2. Resumen

La disponibilidad hídrica en las microcuencas, está influenciada por las características geológicas, uso del suelo, cobertura vegetal y actividades antropogénicas como es la agricultura y ganadería. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la disponibilidad hídrica en las microcuencas generadoras de agua para los sistemas de riego ubicados en la cuenca superior de río Catamayo; y, relacionarla con los cambios de uso del suelo ocurridos en la zona. La disponibilidad del recurso hídrico en las cinco microcuencas de captación, se determinó con base a la información recopilada de un trabajo de investigación previo. Los resultados obtenidos reflejan para el periodo 2010-2022 un coeficiente de escorrentía de: La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba variaron 0.42 - 0.44; mientras que La Era varió entre 0.53 – 0.56. Por lo tanto, la cobertura vegetal influye significativamente en el coeficiente de escorrentía. La curva de duración general no presentó variación, en condiciones del 75% de probabilidad se obtuvo un caudal de 50, 40, 250, 300 y 250 l/s para las microcuencas ya mencionadas respectivamente. Adicionalmente se realizó una propuesta de manejo y conservación de suelos basado principalmente en la revegetalización y otras estrategias como: terrazas individuales, manejo de residuo de cultivos, zanjas de infiltración, abonos verdes y cobertura permanente del suelo, barreras vivas, barreras muertas, labranza mínima, surcos en contorno, revegetalización de taludes y diques de contención. Todo ellos para evitar la erosión hídrica y eólica del suelo, para un futuro sostenible en las diferentes microcuencas.

Palabras clave: Microcuenca, coeficiente de escorrentía, hidrología, revegetalización.

2.1 Abstract

The water availability in the micro-watersheds is influenced by geological characteristics, land use, vegetation cover and anthropogenic activities such as agriculture and livestock. The objective of this investigation was to analyze the water availability in the micro-basins that generate water for the irrigation systems located in the upper basin of the Catamayo River; and, relate it to the changes in land use that have occurred in the area. The availability of the water resource in the five catchment micro-basins was determined based on the information collected from a previous research work. The results obtained reflect for the period 2010-2022 a runoff coefficient of: La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba varied 0.42 - 0.44; while The Era varied between 0.53 – 0.56. Therefore, the vegetation cover significantly influences the runoff coefficient. The general duration curve did not present variation, under conditions of 75% probability a flow of 50, 40, 250, 300 and 250 l/s was obtained for the aforementioned micro-basins respectively. Additionally, a proposal for soil management and conservation was made based mainly on revegetation and other strategies such as: individual terraces, crop residue management, infiltration ditches, green manures and partial soil cover, live barriers, dead barriers, minimum tillage, contour furrows, revegetation of slopes and containment dikes. All of them to prevent water and wind erosion of the soil, for a sustainable future in the different micro-basins.

Keywords: Micro-watershed, runoff coefficient, hydrology, revegetation.

3. Introducción

El gran impacto que tiene el ser humano en la alteración del ciclo hidrológico se ha visto reflejado a gran escala en los últimos años, por ello el cambio de la cobertura vegetal está asociada a diversas actividades como: agricultura, la minería, deforestación, sobrepastoreo y urbanización (Iglesias et al., 2008). El hombre siendo un agente modificador de los parámetros hidrográficos tiene una gran influencia en las variaciones producidas en un sistema natural como las cuencas (López y Mendoza, 2010).

El agua es uno de los elementos fundamentales para todo ser vivo ya que resulta necesaria para el desarrollo de la vida y es a través del ciclo hidrológico que se conocen sus características y su relación con las actividades antropogénicas (García et al., 2014).

El Ecuador es un país rico en recursos hídricos, según el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) en el año 2016, afirma que Ecuador posee a nivel nacional un volumen de 376,0 km³ de recursos hídricos, lo que significa 26 000 m³ per cápita, pero estos recursos también tienen una distribución desigual tanto temporal como espacial, con fuertes precipitaciones en la época lluviosa y con ausencia de éstas en temporada seca. Las condiciones geomorfológicas del Ecuador, debido a la presencia de la Cordillera de Los Andes que divide al territorio en 2 redes fluviales que desembocan una hacia el Océano Pacífico y otra hacia la llanura Amazónica.

Las cuencas hidrográficas del Ecuador, en su gran mayoría no tienen un manejo adecuado de conservación, por tal razón se encuentran en un gran porcentaje degradadas, lo que ocasiona que el ciclo hidrológico se vea afectado, provocando poca retención de humedad, erosión e inundaciones en las épocas de lluvias y escasez de agua en los periodos de estiaje (Dourojeanni et al., 2002). El conocimiento de los recursos hídricos posibilita el crecimiento y ordenamiento de las sociedades y la conservación, uso y disfrute del mismo por parte de la población (Balairón Pérez, 2000).

La pérdida de cobertura vegetal, la deforestación, los incendios forestales y el crecimiento de la frontera agrícola son causas que impactan en la estabilidad hidrológica, en la disponibilidad y calidad de recursos hídricos presentando un escenario de creciente amenaza, riesgo y vulnerabilidad (Serrano y Galarraga, 2015).

En el caso de la provincia de Loja, el 80% de los sistemas de riego se encuentran inventariados sin embargo pocos de estos se encuentran levantada información (PDOT

Loja, 2018). Por ellos es necesario conocer los aportes de agua y disponibilidad de las microcuencas La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba, La Era, para si contribuir a su conservación.

La problemática que abarca el estudio hidrológico es extensa, como una dotación de agua limitada en la cuenca, degradación de los ecosistemas, desorganización agrícola a lo largo del territorio, deforestación, erosión del suelo y existencia de sequía tanto agrológica como hidrológica y cambio de uso de suelo (PDOT Loja, 2018).

El presente proyecto, se enfoca en los cambios de uso del suelo de las microcuencas de captación del recurso hídrico, y en ese mismo sentido conocer como incide directamente en el coeficiente de esorrentía y la disponibilidad de agua de las microcuencas de estudio.

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

Objetivo General:

Analizar la disponibilidad hídrica en las microcuencas generadoras de agua para los sistemas de riego ubicados en la cuenca superior de río Catamayo; y, relacionarla con los cambios de uso del suelo ocurridos en la zona.

Objetivo General:

- Estimar la disponibilidad de agua en las microcuencas de captación de lossistemas de riego (La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba y La Era), y relacionarla con los diferentes cambios de uso de suelo ocurridos.
- Formular una propuesta de manejo y conservación basado principalmente en la revegetalización de las microcuencas de estudio, que contribuyan a la regulación hídrica

4. Marco teórico

En el presente capítulo se dará a conocer de manera detallada fundamentos teóricos sobre la influencia del cambio del suelo respecto a la disponibilidad hídrica y sus respectivos factores, con el fin de tener un panorama claro de cada parámetro a trabajar.

4.1 Influencia de la cobertura vegetal presente en la regulación hídrica

La vegetación constituye un factor regulador en los procesos hidrológicos porque actúa de barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su flujo y distribución bajo el área de su cobertura (Ramos et al., 2010).

La cobertura vegetal presente en una cuenca hidrográfica influye directamente en la circulación del flujo de agua vertical (evapotranspiración e infiltración) y horizontal (escorrentía). El tipo de especies presentes define el paisaje fluvial en una cuenca, generando patrones característicos de distribución, en el cauce principal del río como en los diferentes sectores de una cuenca (Alonso et al., 2014). La cobertura vegetal es sumamente importante, en la regulación hídrica debido a la magnitud y la frecuencia de inundaciones dado que se producen cambios en el diseño del canal de escurrimiento por ello es un tema destacado por diversos científicos. Es por ello que las áreas no vegetadas pueden ser erosionadas más rápidamente que aquellas que tiene una vegetación bien establecida.

Según Alonso, (2014) la existencia y permanencia de vegetación depende de dos factores:

- I) el hidrológico que incluye la variabilidad hidrométrica y la disponibilidad de humedad en el suelo
- II) el geomorfológico que determina el grado de consolidación del suelo y los procesos de erosión/sedimentación

En síntesis, el suelo con cobertura vegetal, cumple la función de recibir, almacenar y devolver el agua al circuito hidrológico, en proporciones que varían según la relación con el clima. (Volonté, 2017)

4.2 La cobertura y uso del suelo presente en los bosques andinos

El Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2012 afirma que la cobertura de la tierra es la cobertura bio-física que se observa en la superficie de la tierra, aquí no solamente se hace mención de la vegetación y elementos antrópicos

sobre la tierra sino también se describe otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. El uso del suelo hace referencia a las funciones que se desarrollan en la cubierta, como las actividades realizadas por el hombre de forma parcial o permanente como es el caso de la minería y agricultura. En si la cobertura hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, mientras que el uso hace referencia las funciones que se desarrollan en la cubierta (Ponce Correa, 2014).

En América Latina se identifican los Bosques Andinos como ecosistemas boscosos de montaña con un rango de elevación que va de los 1.000 msnm (metros sobre el nivel del mar) a la línea superior del bosque. Están caracterizados por su alta diversidad y endemismo y parte de su importancia radica en los servicios ecosistémicos que prestan (Vallejos et al., 2017). En los bosques alto-andinos, la inmersión habitual en la niebla, la baja evapotranspiración, la alta infiltración y capacidad de almacenamiento de agua por los suelos conceden a estos ecosistemas una gran capacidad de regulación hídrica; así, la escorrentía superficial es mínima y la recarga del agua del suelo y del subsuelo es más eficiente (Schawe, 2008). Este efecto regulador que presentan los bosques depende, en buena medida, de las características de la vegetación en sus compartimentos aéreos y subterráneos (Ataroff, 2000).

4.2.1 Suelo como regulador de agua en la cuenca

Para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturaleza (SEMARNAT) en el año 2015 entender las características y propiedades de los suelos en una cuenca y su relación con el agua, la cobertura vegetal y la intervención humana, es necesario para construir una visión común a partir de reconocer la aptitud del territorio y mantener o mejorar los beneficios que nos dan los suelos como base de la funcionalidad de una cuenca. Según Idrovo et al. (2021) los suelos son reguladores importantes de la cantidad del agua, por ello requieren acciones de protección y gestión, sin las cuales se generarían serias consecuencias ambientales, sociales y económicas. Es por este motivo que cualquier cambio en la ocupación del suelo puede afectar sensiblemente su balance hídrico (Serrano y Galarraga, 2015).

4.3 Disponibilidad del recurso hídrico

La disponibilidad del agua se encuentra íntimamente relacionada a factores como la vegetación, el suelo, la fauna, medio ambiente y el grado de degradación de la cuenca a causa de actividades humanas. Se considera al agua como elemento esencial para la vida

cuyo manejo requiriere de la regulación de los diferentes usos de suelo (Ortiz Molina y Sánchez Calle, 2018). Por ellos la disponibilidad de agua superficial es influenciada por la variación y distribución espacio-temporal de la temperatura y la precipitación. Además, dicha variación se intensifica en magnitud y frecuencia durante los años con ocurrencia del fenómeno de El Niño, por lo tanto, es de vital importancia dar prioridad a la protección de las partes altas de la cuenca, llamadas también zonas de recarga (Vallejos et al., 2017).

A causa de las dificultades existentes para extraer agua del subsuelo, las aguas de escorrentía son las más aprovechadas, es por ello que cualquier cambio en la ocupación del suelo puede afectar sensiblemente su balance hídrico (Serrano y Galarraga, 2015).

Según Gaspari (2009), una cuenca hidrográfica funciona como un colector que recibe la precipitación y la transforma en escurrimiento, este proceso está relacionado con las condiciones climáticas y características físicas presentes en la cuenca. Para identificar los principales factores que influyen en este proceso, es necesario caracterizar una cuenca hidrográfica por su morfología, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso de suelo. Con el fin de evitar problemas de abastecimiento de agua es conveniente establecer un plan de manejo integral de las cuencas hidrográficas para reducir el deterioro provocado y así asegurar la disponibilidad de agua a lo largo de los años (Pérez Castillo y Shinomi, 2005).

4.3.1 Aprovechamiento del agua con fines de riego

El agua utilizada para riego con fines agrícolas tiene efectos importantes sobre la producción de cultivos, así como también sobre el deterioro del suelo (Villarcrés Carrera, 2011). Por ello el garantizar la disponibilidad de agua representa un objetivo fundamental para todos los países, ya que el agua es un recurso imprescindible para el desarrollo de la vida (Rocha, 2009). Los volúmenes disponibles de agua dulce para uso agrícola y urbano a nivel mundial han disminuido considerablemente debido al uso excesivo de aguas superficiales y subterráneas destinadas al riego agrícola para la producción de alimentos de una población en constante crecimiento (Villarcrés Carrera, 2011).

La escasez de agua está vinculada a la producción de alimentos, por lo que el sistema de riego desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y el ingreso económico, para los países en desarrollo. La cantidad de agua para riego depende de las necesidades hídricas de los cultivos y del agua que está disponible para los mismos de forma natural (Carabalí et al., 2019).

4.4 Efecto de la actividad humana y antrópica en las cuencas

El incremento de la población y su constante desarrollo impone mayores exigencias en los recursos hídricos, ya que la intensificación del manejo del agua se traduce como transformaciones ambientales, es decir que modifican las cuencas hídricas (Carbone et al., 2013).

Las actividades humanas realizadas en una cuenca hidrográfica producen modificaciones en el ambiente, las cuales influyen de distinta manera en el funcionamiento natural de la cuenca, pues las actividades domésticas generan restos orgánicos, detergentes, grasas, sales, jabones los mismos que contiene fosfatos y cloruros lo cuales causan una degradación en la calidad del agua, por ende, se genera una modificación ambiental en la cobertura vegetal, cambios en la flora y fauna, alterando así la naturaleza de la cuenca (Borzi, 2018).

Las principales causas de deterioro en las cuencas, se han estudiado a nivel mundial durante varias décadas, entre ellas, se incluye los vertidos industriales con nulo o poco tratamiento, el aporte de los arrastres del suelo con contenido de plaguicidas, fertilizantes, vertidos de desechos orgánicos pecuarios entre otros (Perona et al., 1999). La contaminación del agua se debe en gran parte a las actividades agrícolas, ganaderas e industriales. La producción agrícola es responsable en su mayoría de los contenidos de nitritos y nitratos vertidos en las cuencas, lo que afecta la calidad del agua (Carbone et al., 2013).

4.5 La Hidrología

La hidrología según Llambí (2012), es la ciencia que estudia y se ocupa de la distribución, circulación en la atmosfera y la capa terrestre del ciclo hidrológico, incluyendo los parámetros físicos, químicos y biológicos que tiene lugar a lo largo de su trayectoria. Considerando a la hidrología como “La columna vertebral de la gestión de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos”

El desarrollo de la tecnología digital ha permitido a la hidrología alcanzar altos niveles de confiabilidad y consecuentemente, convertirse en un elemento clave en múltiples estudios y proyectos relacionados con el uso, manejo y control del agua (Cuenca y Castillo, 2015).

4.5.1 *El ciclo hidrológico*

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. Como todo ciclo el hidrológico no tiene ni principio ni fin, su descripción puede comenzar en cualquier punto.

Para Juan (2011), los principales componentes del ciclo hidrológico son:

- **Evapotranspiración:** Se refiere a la unión de los fenómenos de evaporación y transpiración, esto es, al agua expulsada a la atmósfera, tanto por los continentes y océanos (evaporación), como por los seres vivos (transpiración y respiración).
- **Precipitación:** Se denomina a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (lluvia) y sólida (nieve y granizo) y las precipitaciones ocultas (rocío, escarcha y niebla).
- **Infiltración:** Este fenómeno ocurre cuando el agua que alcanza la superficie terrestre penetra a través de los poros del suelo. Una vez en el suelo, el agua puede quedar retenida en él (ésta es el agua que utilizarán posteriormente las plantas) o atravesarlo debido al efecto de la gravedad y pasar a formar parte de las aguas subterráneas o acuíferos.
- **Escorrentía:** Parte del agua que llega a la tierra por precipitación discurre sobre la superficie formando las aguas de escorrentía, cuya unión da lugar a los ríos que van a parar a lagos y mares. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía), depende de la permeabilidad del sustrato, de su pendiente y de la cobertura vegetal.

4.6 **Características morfológicas de una cuenca y su relación con la cobertura vegetal**

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento. Desde el punto de vista del funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Gaspari et al., 2009).

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado (Gaspar et al., 2012).

El estudio de dichas características, mediante parámetros de forma, relieve y red de drenaje permite determinar las características hidrológicas de ésta. De igual forma el análisis de estos parámetros brinda información física necesaria para realizar una comparación entre diferentes cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2009). “Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje, las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta en las que se encuentran, el orden de corriente, la pendiente, y la sección transversal” (Strahler, 1964).

La cobertura vegetal es clave en cuanto a su efecto condicionante, diversos autores señalan que dicha cobertura juega un papel muy importante debido a que influye en las propiedades hidrológicas y mecánicas del suelo, mejora la cohesión fortalece la matriz del suelo y aumenta su potencial mátrico a través de la evotranspiración, al producirse cambios en la cobertura vegetal provocaría deslizamientos y procesos erosivos de tierras (Gómez Alzate, 2019).

4.7 La precipitación como agente principal de entrada de la cuenca

Dentro del ciclo del agua, la principal entrada de agua en una cuenca son las precipitaciones pluviales que se recogen en pequeños canales que forman vertientes, abriendo numerosos cauces efímeros. Parte del agua pluvial, se evapora o se infiltra, y la otra circula pendiente abajo. En el caso de que la cuenca sea lo suficientemente grande, se puede generar una corriente de agua permanente alimentada por las corrientes superficiales y las corrientes subterráneas, formando en su conjunto una cuenca hidrográfica. Cuando la depresión de la cuenca es lo suficientemente grande, se puede originar una corriente de agua permanente, alimentada tanto por corrientes superficiales (precipitaciones, deshielos y ríos) como por corrientes subterráneas, conformándose así una cuenca hidrográfica (Valdivieso, 2012).

4.8 La esorrentía y su relación con la vegetación y el suelo

Matus Silva (2007), señala que la esorrentía es la cantidad del agua proveniente de la precipitación, riego o deshielo, que supera la capacidad de infiltración del suelo.

Cuando el exceso de agua sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo, esta fluye en sentido de la pendiente (aguas abajo) hacia los arroyos, quebradas, ríos, lagos, embalses y océanos, en un periodo corto de tiempo y se la denomina escorrentía directa, en cuanto a la escorrentía basal es aquella que alimenta los cauces superficiales en época de estiaje (Núñez, 2001).

La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena sobre la superficie del suelo (Gaspari et al., 2007). “La cobertura vegetal y uso del suelo son factores determinantes en el balance hidrológico y la generación de escorrentía” (González González et al., 2016). Los bosques reducen el total de los escurrimientos ya que evaporan considerablemente más agua que la vegetación más baja y reducen el agua para restablecer o recargar acuíferos y ríos (Calder, 2003). A pesar de ello, la remoción de la cobertura vegetal es la principal causa de deterioro ambiental y degradación del suelo (Álvarez et al., 2015; Castillo et al., 1997).

4.8.1 Criterio del coeficiente de escurrimiento.

La Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1978 propuso este método que basa en la estimación de los coeficientes de escurrimientos medios anuales (Ce), requerido para analizar los volúmenes anuales de escurrimiento (Ve) a utilizarse para el riego. Los tipos de suelos que interesan en cuanto a su mayor o menor permeabilidad se clasifican en:

- Suelos muy permeables, tales como arenas profundas, y poco compactos
- Suelos medianamente permeables, tales como arenas de media profundidad, algo más compactos que los correspondientes a los suelos A, terrenos migajosos.
- Suelos casi permeables, tales como arenas muy delgadas, sobre una capa impermeable o bien arcillas.

4.8.2 Curva de duración de caudales como evidencia del comportamiento de la cuenca hidrográfica

La curva de duración de caudales, son una de las herramientas más utilizadas en la hidrología, puesto que proveen información sobre el porcentaje del tiempo que el caudal en el cauce excede un valor específico. Es necesario elaborar curvas de duración, para conocer la probabilidad que un flujo determinado exceda un cierto caudal, es una variable importante para conocer el comportamiento hidrológico de una cuenca, para el diseño de planes de riego, abasteciendo de agua y manejo de hábitats naturales, también son

utilizadas para validar modelos hidrológicos o para comparar y modelar respuestas hidrológicas (Villegas, 2011).

Este hecho es útil para ajustar la forma de la curva de duración según las características de la cuenca cuando la serie de caudales medios es deficiente, o para transponer una curva de duración de una cuenca bien instrumentada de la misma región a la cuenca que tiene información escasa (Silva Medina, 2015). La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos (Cuenca A. , 2015).

4.9 Estimación de caudales medios en una cuenca

La estimación de caudales de una cuenca es fundamental para la planificación del uso de los recursos hídricos, relacionados al uso agrícola y urbano (Carrera y Herencia, 2019). Se puede establecer caudales cuantificables, tales como: caudal instantáneo, caudal diario, caudal mensual, caudales mínimos y máximos. A partir de estas categorías se puede generar series de caudales de diferentes tiempos de retorno, así como gráficas que explican su comportamiento espacio temporal mediante una serie de curvas como las curvas de duración (Villón , 2011).

En síntesis, para la estimación de caudales medios, primero es conocer la precipitación que cae sobre la cuenca con una distribución temporal y una intensidad determinadas, luego la determinación del coeficiente de escorrentía definido por el complejo pendiente – suelo – vegetación y otros parámetros geométricos (Robredo, 2012).

5. Metodología

En este capítulo se describen los materiales y la secuencia metodológica a utilizar para cumplir con los objetivos propuestos en la investigación.

5.1 Ubicación de la Cuenca Superior del Río Catamayo

El estudio se realizó en la parte Alta de la cuenca superior del río Catamayo hasta el sistema de riego la Era y las microcuencas de estudios son afluentes del río Catamayo, a lo largo de su paso tenemos: La Palmira, Campana-Malacatos, Vilcabamba, Quinara y La Era. Las microcuencas poseen un régimen pluviométrico bien definido, el período de lluvias comprende los meses de octubre a marzo, mientras que los periodos de menos precipitación comprenden los meses de junio a septiembre.

Límites de la microcuenca La Palmira-Agualloca:

Al Norte: Quebrada sahuaycu y las microcuencas Yanduru y Condorhuana

Al Sur y Este: Parroquia Valladolid y las microcuencas Chiriyacu e Iguila

Al Oeste: Río Palmira y la microcuenca La Tuna

Límites de la microcuenca Campana-Malacatos:

Al Norte: Río Malacatos y la Parroquia Sabanilla

Al Sur: Microcuenca Uchima

Al Este: Quebrada Zabohuaycu y Potopamba

Al Oeste: Parroquia Zamora

Sus límites hidrográficos de Quinara-Mazanamaca:

Al Norte: Microcuenca Capamaco

Al Sur: Río Masanamaca y Río Maco-Yangana

Al Este: Río Masanamaca

Al Oeste: Parroquia Valladolid

Límites de la microcuenca Vilcabamba-Capamaco:

Al Norte: Microcuenca Yambala

Al Sur: Microcuencas Minas y Masanamaca

Al Este: Parroquia Valladolid

Al Oeste: Río Chamba

Límites de la microcuenca La Era-San Agustín:

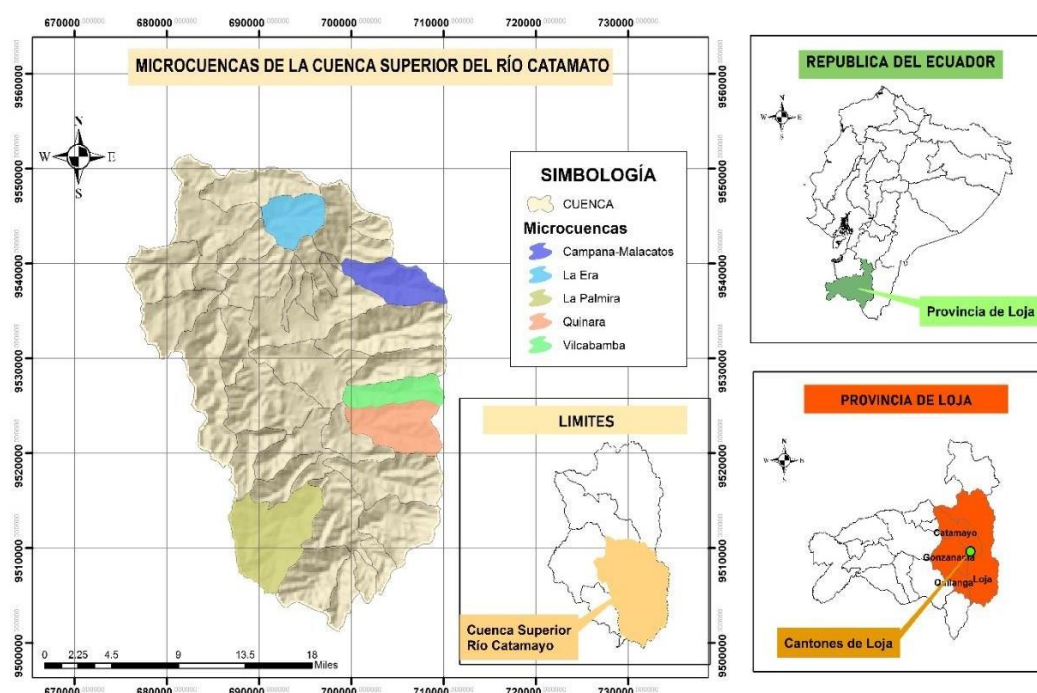
Al Norte: Microcuenca La Capilla

Al Sur y Este: Microcuencas Nangora y Sto. Domingo

Al Oeste: Quebrada San Agustín y Quebrada Balsas

Figura 1.

Mapa base de ubicación de las microcuencas de estudio



Fuente: El Autor

5.2 Metodología para el primer objetivo

“Estimar la disponibilidad de agua en las microcuencas de captación de los sistemas de riego (La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba y La Era), y relacionarla con los diferentes cambios de uso de suelo ocurridos”

5.2.1 Recopilación de información

Aquí se hace referencia a toda la información ya existente (anuarios meteorológicos) en la zona, ya sean investigaciones, tesis, revistas, información del Ministerio del Ambiente, basándose en investigaciones de primera mano. Por ende, aquí se determinará las fuentes principales de información a utilizar en la zona de estudio.

5.2.2 Características morfométricas de la microcuenca

La morfometría de una cuenca, tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de esta unidad de territorio, pues estas características tienen un impacto directo en el drenaje, ya que condicionan tanto el volumen de escurrimiento como la velocidad de repuesta.

5.2.2.1 Parámetros de forma

Este parámetro es fundamental para saber el comportamiento hidrológico de la cuenca. Aquí se trata de cuantificar sus características por medio de índices o coeficientes.

a) Área y perímetro de la cuenca

Se recolecto información cartográfica publicada por el IGM (Instituto Geográfico Militar), y para las demás variables requeridas en el análisis morfológico, los datos serán manejados y procesados en el programa ArcGis 10.5.

b) Forma de la cuenca

Para determinar la forma de la cuenca, se utilizó el índice de compacidad o índice de Gravelius. Para la cual se empleó la siguiente formula:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc=coeficiente de Gravelius

P= perímetro de la cuenca, en km

A= superficie de la cuenca, en km²

De acuerdo a los resultados que se obtuvo se comparó con la Tabla 1, para determinar sus características.

Tabla 1.

Características de la cuenca de acuerdo al coeficiente de Gravelius

Forma de la Cuenca	Coefficiente de compacidad (Kc)	Tendencia a la crecida
De casi redonda a oval	1.00 a 1.25	Alta
De oval redonda a oval oblonga	1.25 a 1.50	Media
De oval oblonga a rectangular	1.50 a 1.75	Baja

Fuente: Tomado de Ibáñez González, (2001).

c) *Índice de Horton*

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Se mide desde el punto de salida del cauce hasta el punto más largo de la cuenca siempre en línea recta.

$$Rf = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

Rf = Índice de forma

L = Longitud de la cuenca

A = Área de la cuenca

De acuerdo a los resultados que se obtuvo se comparó con la Tabla 2, para determinar sus características.

Tabla 2.
Índice de forma de una cuenca hidrográfica

Rf	Clase
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.19 – 0.36	Ligeramente achatada
0.37 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: Tomado de González (2001)

5.2.2.2 Parámetros de relieve

Este parámetro tiene mayor influencia con el proceso hidrológico de la cuenca debido a que a mayor pendiente la escorrentía se produce en menor tiempo.

a) Pendiente media de la cuenca

En cuanto a la pendiente media se utilizó los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como ArcGis 10.5 por medio de sus herramientas y en base al Modelo Digital del Terreno (MDT), con la ayuda del algoritmo Slope ubicado en el Arctoolbox, se obtuvo el mapa de pendientes de las microcuencas correspondientes, la cual se reclasifico de forma manual en seis categorías, una vez obtenidas se convirtió a polígono y en base a la Tabla 3, se procedió a clasificarlas.

Tabla 3.
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.

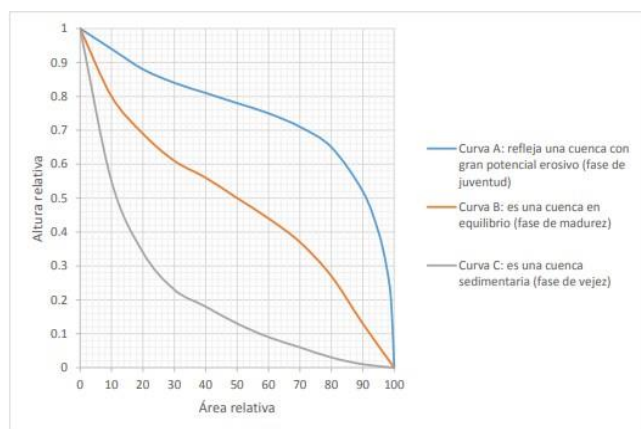
b) Elevación media de la cuenca

La elevación media de la cuenca se determinó mediante la curva hipsométrica que relaciona la altitud con el área. Con ayuda del software ArcGis 10.5 se obtiene las curvas de nivel cada 200 metros desde la cota más baja de la cuenca, luego se calculó el área y su porcentaje; finalmente estos resultados son graficados ubicando en el eje de las ordenadas los valores de elevación y en las abscisas el porcentaje de área.

c) Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Sirve para definir el relieve de una cuenca, es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por sobre la altura correspondiente (figura 2).

Figura 2.
Curva Hipsométrica



Fuente: Nicole Soto, (2017)

5.2.2.3 Parámetros de drenaje

La red de drenaje es determinante tanto como el parámetro de forma y de relieve, ya que este guarda una relación entre las corrientes naturales existentes en la cuenca, de

esta forma nos permite entender con qué rapidez que tiene una cuenca para desalojar el agua que recibe.

a) Pendiente del cauce principal

La Pendiente del cauce principal, se determinó mediante el empleo de los SIG ArcGis 10.5, 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 4.

Tabla 4.
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)

b) Densidad de drenaje

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la microcuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$Dd = \frac{L}{A} \text{ (km/km}^2\text{)}$$

Dónde:

Dd = Densidad de drenaje

L = Longitud total de las corrientes

A = Área de la cuenca

De acuerdo a los resultados que se obtuvo se comparó con la Tabla 4, para determinar sus características

Tabla 5.
Densidad de drenaje

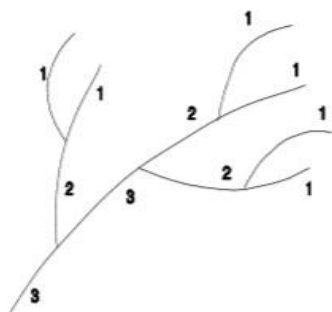
Características de la cuenca	Densidad de drenaje (Dd)
Regularmente drenada	0 < Dd < 1.0
Normalmente drenada	1.0 < Dd < 1.5
Bien drenada	1.5 < Dd

Fuente: Tomado de González, (2001)

c) Orden de corrientes

Es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca, existen varios tipos de órdenes de corriente. Se consideran corrientes de primer orden 1 aquella que no tiene ramificaciones, una de segundo orden 2 tiene tributarios de primer orden, dos corrientes de primer orden forman una de orden 2, una corriente de orden 3 aquellos con dos o más tributarios.

Figura 3.
Orden de las corrientes



Fuente: Rojas (2015)

d) Tiempo de concentración

Es el tiempo que se tarda en llegar a la sección de salida una gota de lluvia caída en el extremo más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración de las microcuencas se calculó empleando el método de California Cultiver Practice esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

5.2.3 Análisis de la disponibilidad hídrica

Para llevar a cabo este parámetro, fue fundamental disponer de los anuarios meteorológicos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con un período de 21 años (1995-2015) hasta la posterior generación de la curva de duración de caudales.

5.2.3.1 Estimación de la precipitación media

Para realizar la estimación de la precipitación media mensual, es necesario tener datos verídicos y confiables para ellos se realizó la recolección de información correspondiente, ya sea de relleno o confiabilidad y de tal forma proceder a la estimación de la precipitación media mensual.

5.2.3.2 Análisis de la confiabilidad de los datos

Primeramente, se recopiló datos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, de estaciones que rodean la zona de estudio. Para ello se estructuró una base de datos de las estaciones meteorológicas para las diferentes microcuencas de la parte superior del Río Catamayo.

Tabla 6.
Estaciones meteorológicas

Estaciones	Coordenadas Planas		Elevación (msnm)
	Norte (m)	Este (m)	
Quinara	9522583	694711	1559
Malacatos	9533772	691647	1453
Nambacola	9542558	674155	1835
Tambo	95495884	680546	1601
Gonzanama	9532320	675404	2040
Cajanuma	9542329	683307	2420
Argelia	9553629	699710	2160
San Francisco	9561615	714074	1620
Yangana	9516958	702518	1835
Quilanga	9525122	677378	1956
Lucero	486484	669587	1180
Jimbura	511734	670274	2100

Fuente: Anuarios meteorológicos

Posteriormente se procedió a realizar el relleno de datos faltantes de las estaciones mediante métodos establecidos como: media aritmética, correlación lineal y Jansa Guardiola (González, 2001; Bateman, 2007), para ello se tomó en cuenta que tengan la misma similitud climática como: precipitación, temperatura y altitud.

a) 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.

b) Método de la correlación simple lineal

Este método consiste en correlacionar los datos de un par de estaciones para obtener una fórmula a través del análisis de tendencia de los datos. Para aplicar este método se usa el programa Microsoft Excel 2019.

c) **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 siguiente ecuación

$$Pm = Pmin + \frac{c*a}{a+b}$$

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

Pmin = Es el menor valor entre los términos que presiden y siguen al dato faltante

5.2.4 *Precipitación media mensual en la cuenca de captación*

La precipitación media se determinó mediante el método de las Isoyetas que, considera la topografía y es aplicable en cuencas con una distribución no uniforme de pluviómetros. Además de presentar los mejores escenarios para la zona intermedia del Ecuador. Primeramente, se realiza una estadística sobre la precipitación media mensual de cada estación mediante Microsoft Excel 2019, para trabajar dichos datos con el software ArcGis 10.5.

Por medio del software ArcGis 10.5 la interpolación de los datos de precipitación se procesaron con la ayuda del algoritmo Interpolación IDW 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 máscara, obteniendo de esta manera la precipitación para cada microcuenca.

5.2.4.1 Métodos indirectos Precipitación – Esguerrimiento

Los métodos indirectos son aquellos métodos que son aplicables mediante ecuaciones, de ahí que no se realicen aforos directos, pero llevan a una estimación aproximada. Para la determinación del esguerrimiento medio mensual de las microcuencas, se realizó mediante el método racional

5.2.4.2 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).

Este método es una descripción muy simple del proceso lluvia–esguerrimiento, en la cual los efectos de la lluvia y del área de cuenca son tomados explícitamente y los efectos de las condiciones físicas de la cuenca se toman en cuenta de manera indirecta. La infiltración y otras pérdidas no se consideran de una manera física real, sino indirecta global en el coeficiente de esguerrimiento (Pilgrim y Cordery, 1993).

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

$$Q_m = A_c * C_e * P_m$$

Donde:

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

A_c = Área de la cuenca (km²)

C_e = Coeficiente de esguerrencia (adimensional)

P_m = Precipitación media mensual (mm)

Para calcular los esguerrimientos medios mensuales por el método racional, se calculó el coeficiente de esguerrencia; para lo cual se debe contar con información de; permeabilidad del suelo y cobertura vegetal que se obtuvo a través del Ministerio del Ambiente y Transición Ecológica (MAATE). Las pendientes se generaron a través del

Modelo Digital del Terreno (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 7 a modo de ejemplo.

Tabla 7.
Códigos asignados a las variables del método racional

Cobertura vegetal	Código	Textura	Código	Pendiente	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 ArcGis 10.5, 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 7 por medio de la combinación de los códigos, se lo obtiene de la siguiente manera; en el código 1000 le pertenece una pendiente que va del 0 al 5 %, con un tipo de textura gruesa cuya 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 8.
Valores de C para el cálculo del escurrimiento.

Uso de suelo	Pendiente%	Arenoso (G)	Limoso – Arenoso (M)	Arcillosos (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)	0.40	0.66	0.70
	10 – 30 (3000)	0.50	0.70	0.80
	>30 (4000)	0.53	0.74	0.84
		100	200	300

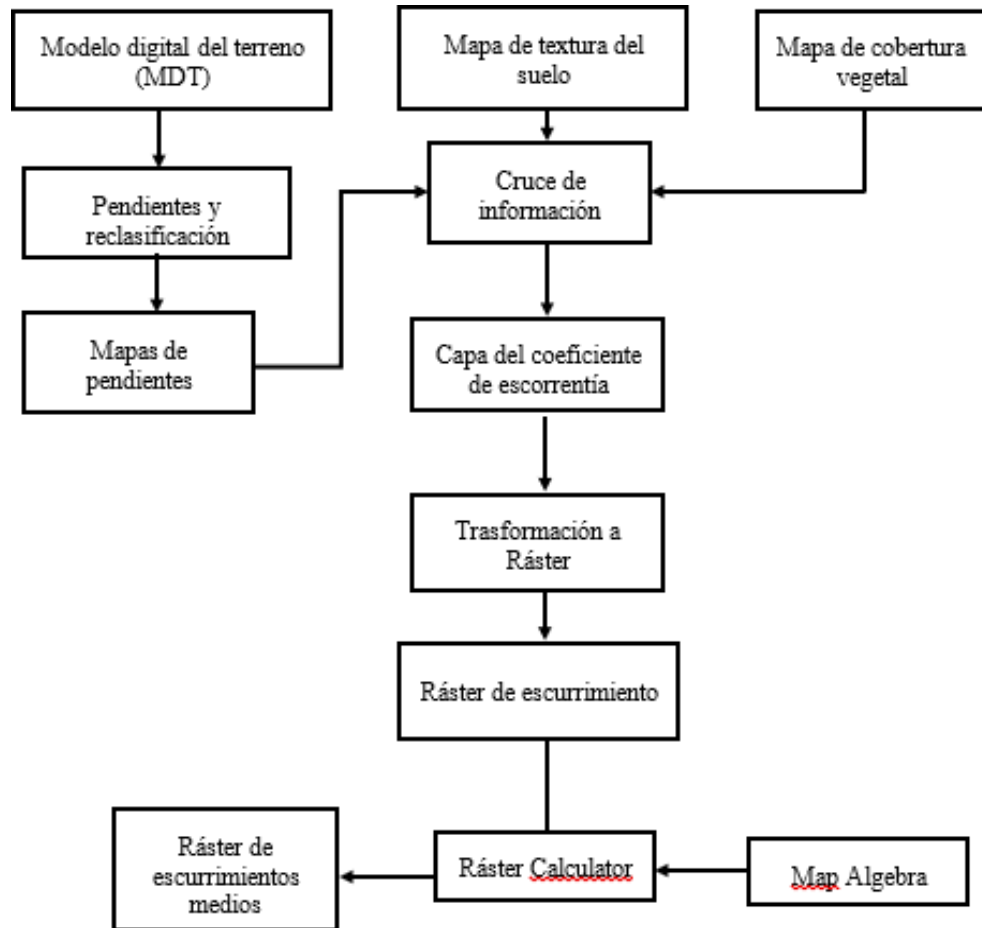
Fuente: *Prevert (1986)*

Los valores obtenidos de la capa raster se interpretó en el software SIG ArcGis 10.5, 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 Figura 4.

Figura 4.

Diagrama de flujo para la obtención del coeficiente de escorrentía



Fuente: El Autor

7.5.5. Curva de duración general

Para Juela (2011), la elaboración de la curva de duración general de caudales de las microcuencas en estudio se tomó los 12 meses del año, considerando el procedimiento:

- 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 Metodología para el segundo objetivo

“Formular una propuesta de manejo y conservación basado principalmente en la revegetalización de las microcuencas de estudio, que contribuyan a la regulación hídrica”

De acuerdo a los impactos ambientales que se encuentren en las microcuencas hídricas, se procedió a realizar una propuesta de revegetalización con fines de regulación hídrica, mismo que contempla el siguiente programa: protección de áreas naturales y protección de cuencas abastecedoras de agua para uso de riego, en la que contenga:

5.3.1 Conservación de suelos:

Con énfasis a dar mantenimiento y recuperación de acuerdo a los resultados, considerar a la degradación de suelos como un problema social, y de factores culturales, sociales y económicos que determinan la decisión de conservarlos o degradarlos. La conservación de suelos que se abarcará, será de tres tipos de prácticas:

- **Las prácticas agronómicas**

Buscan disminuir el impacto de las actividades agrícolas y/o pecuarias en la calidad del suelo a través de modificaciones en los métodos agrícolas o pecuarios.

- **Las prácticas mecánicas**

Se realizan con implementos agrícolas y herramientas, consisten en realizar movimientos de tierra para disminuir el escurrimiento superficial y reducir la erosión en terrenos con pendientes.

- **Las prácticas vegetativas**

Aquí se incorpora vegetación, mejorando la capacidad productiva, incrementando la biodiversidad, el contenido de materia orgánica y reduciendo la pérdida de suelo. Esta práctica ayuda a la protección del suelo.

5.3.2 Cultivos trazados las curvas a nivel

Las acequias, terrazas y barreras vivas se construyen sobre curvas a nivel. Cultivando en curvas a nivel se reduce la erosión y aumenta la retención de agua (MIP, 2004). Para trazar una curva se utilizan instrumentos sencillos, como el nivel en A, y siguiendo la ruta de estas curvas se construyen la mayoría de obras físicas de Conservación de Suelos y Agua (CSA).

5.3.3 Barreras vivas

Tienen el propósito de reducir la erosión del suelo por efecto de la precipitación, retener humedad en el para optimizar el aprovechamiento del agua disponible y mejorar la fertilidad y los rendimientos. Las barreras vivas reducen la velocidad del agua porque divide la ladera en pendientes más cortas, y la velocidad del viento (rompeviento). Sirven también como filtro, captando sedimentos que van en el agua de escurrimiento (IICA, 2012).

6. Resultados

Los resultados obtenidos permiten conocer de manera cuantitativa los parámetros morfométricos, precipitación media mensual y el coeficiente de escurrimiento, además de proponer una propuesta de manejo y conservación 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 para de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos

Se presenta los resultados, de las 5 microcuencas de captación, el análisis morfométrico, precipitación media mensual y el coeficiente de escurrimiento, debido a que son factores primordiales para el comportamiento y comprensión de las microcuencas.

6.1.1 Parámetros morfométricos de las microcuencas de estudio

En lo que respecta a los parámetros de forma, las superficies hidrográficas consideradas para el estudio, en la Tabla 9, destacan con mayor a menor área: La Palmira, Quinara, Campana-Malacatos, La Era y Vilcabamba.

Tabla 9.

Parámetros morfométricos de las microcuencas: unidades hidrográficas de estudio

Microcuencas	Área (km ²)	Perímetro (km)
La Palmira	71.27	40.61
Campana-Malacatos	34.67	28.69
Quinara	43.07	30.81
Vilcabamba	26.46	27.16
La Era	29.30	22.10

Fuente: El Autor

La microcuenca de captación tiene una superficie entre 71.27 y 26.46 km², según Campos (1992) y Chow (1964) las clasifican como una cuenca pequeña, según CIDIAT (1978), la clasifica como microcuenca. Para cuencas del Ecuador INEFAN (1995), la clasifica como cuenca pequeña.

Tabla 10.

Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio

Microcuencas	Coef. de Gravelius	Forma
La Palmira	1.34	De oval redonda a oval oblonga
Campana-Malacatos	1.36	De oval redonda a oval oblonga
Quinara	1.31	De oval redonda a oval oblonga

Vilcabamba	1.47	De oval redonda a oval oblonga
La Era	1.14	Casi redonda a oval

Fuente: El Autor

El factor de forma según el coeficiente de compacidad de Gravelius, clasifica a las microcuencas con tenencia de oval redonda a oval oblonga (González, 2001) y con una tenencia de crecidas medias, excepto a la microcuenca La Era la cual presenta tenencia a las crecidas por su forma redonda a oval, con problemas de inundación y escurrimientos rápidos.

Tabla 11.

Parámetros morfométricos: coeficiente de Gravelius de las unidades hidrográficas en estudio

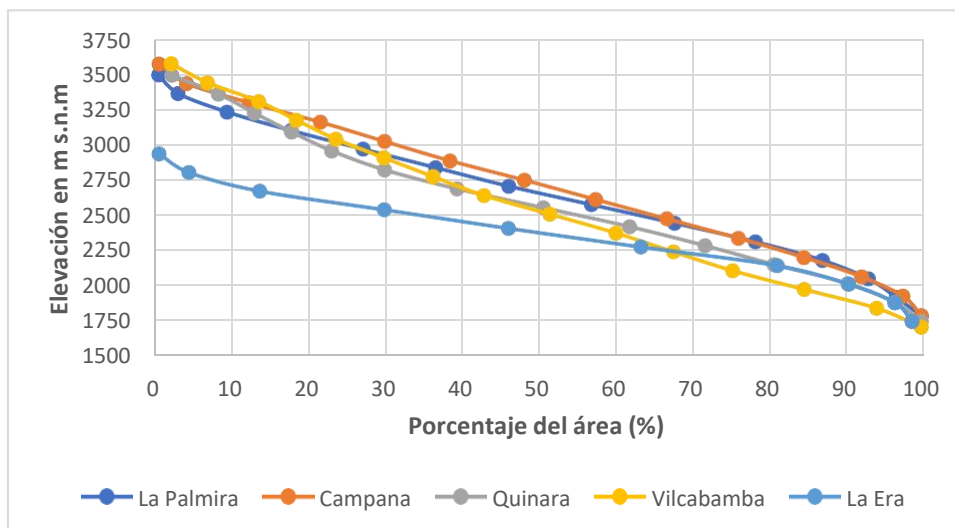
Microcuencas	Pendiente (%)	Elevación media (m s.n.m)
La Palmira	55.77	2 650
Campana-Malacatos	62.84	2 700
Quinara	52.08	2 500
Vilcabamba	52.91	2 550
La Era	53.41	2 300

Fuente: El Autor

En la Figura 5 se visualiza la representación de la curva hipsométrica de las microcuencas, de categoría de tipo B.

Figura 5.

Curva hipsométrica de las microcuencas de estudio



Fuente: El Autor

Por otra parte, los parámetros relativos a la red de drenaje, se visualizan en la Tabla 14. La densidad se encuentra en el rango 1.59 km/km² La Palmira siendo la más alta y de 1.19 km/km² Vilcabamba. Referente a la longitud del cauce principal la

microcuenca Campana-Malacatos posee la mayor longitud con un valor de 12.50 km, mientras que La Era posee un valor de 8.34 km. La microcuenca Campana-Malacatos destaca con la mayor pendiente del cauce principal (30.80%), y con menor pendiente se encuentra Vilcabamba (26.36%). Calculado el tiempo de concentración el mayor dato registrado lo tiene la microcuenca La Palmira con 57 minutos y el menor tiempo se da en La Era con 8.34 minutos.

Tabla 12.

Parámetros relativos a la red hídrica de las microcuencas de estudio

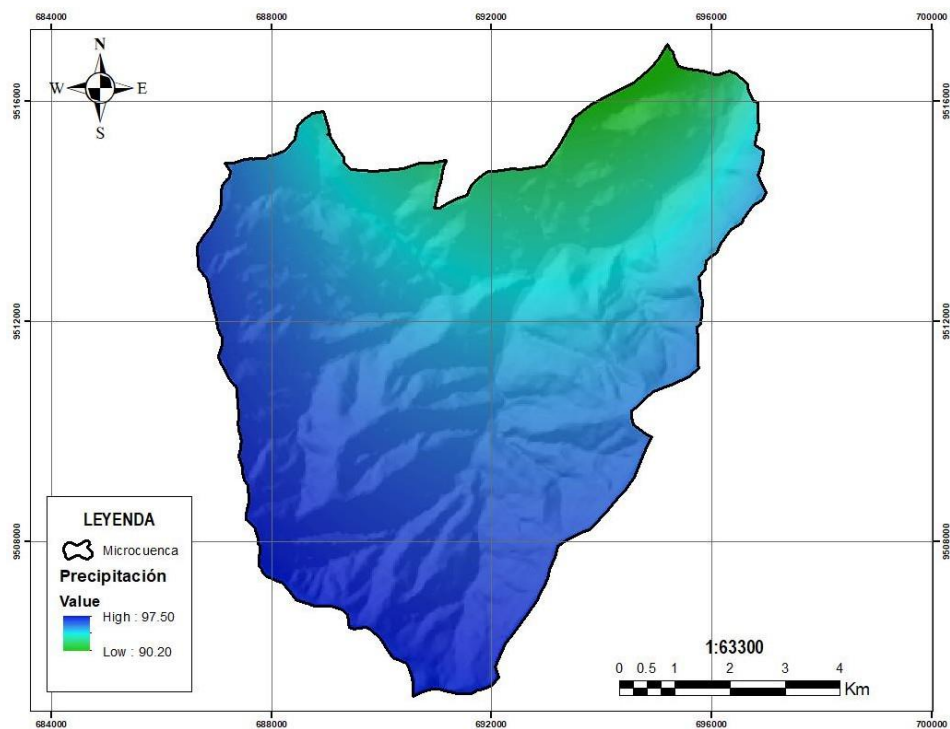
Microcuencas	Densidad de drenaje (Km/km²)	Log. del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal (%)	Tiempo de concentración (min)
La Palmira	1.59	12.31	24.01	57
Campana-Malacatos	1.32	12.50	30.80	24
Quinara	1.63	11.51	27.17	27
Vilcabamba	1.19	11.97	26.36	28
La Era	1.39	8.34	30.15	15

Fuente: El Autor

6.1.2 Precipitación media mensual de la microcuenca La Palmira

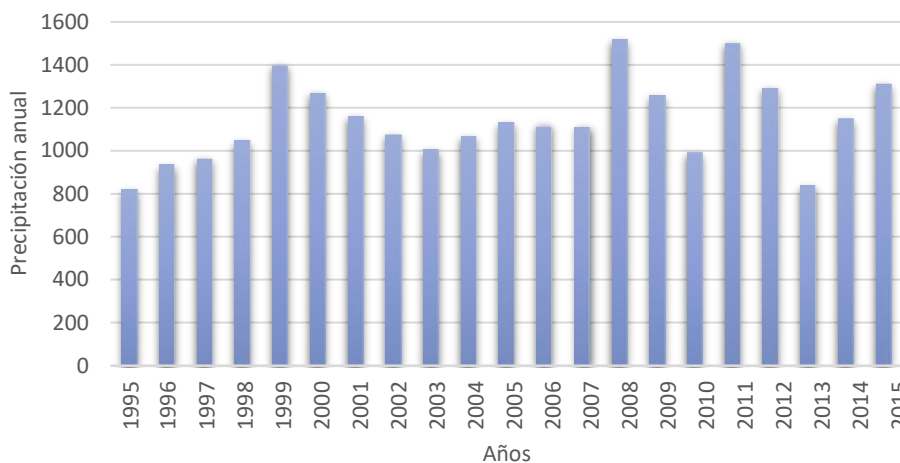
En la zona de captación se estima una precipitación media de 94.30 mm, determinada mediante el método de las isoyetas, en la figura 8, se observa la distribución de la época seca y de lluvia, presentándose la época de agosto un valor medio mínimo de 16.33 mm, mientras que el máximo valor medio de precipitación es de 217.42 mm. La precipitación media anual es de 1131.67 mm para el periodo comprendido de 1995 – 2015.

Figura 6.
Precipitación media anual especializada de la microcuenca La Palmira



Fuente: El Autor

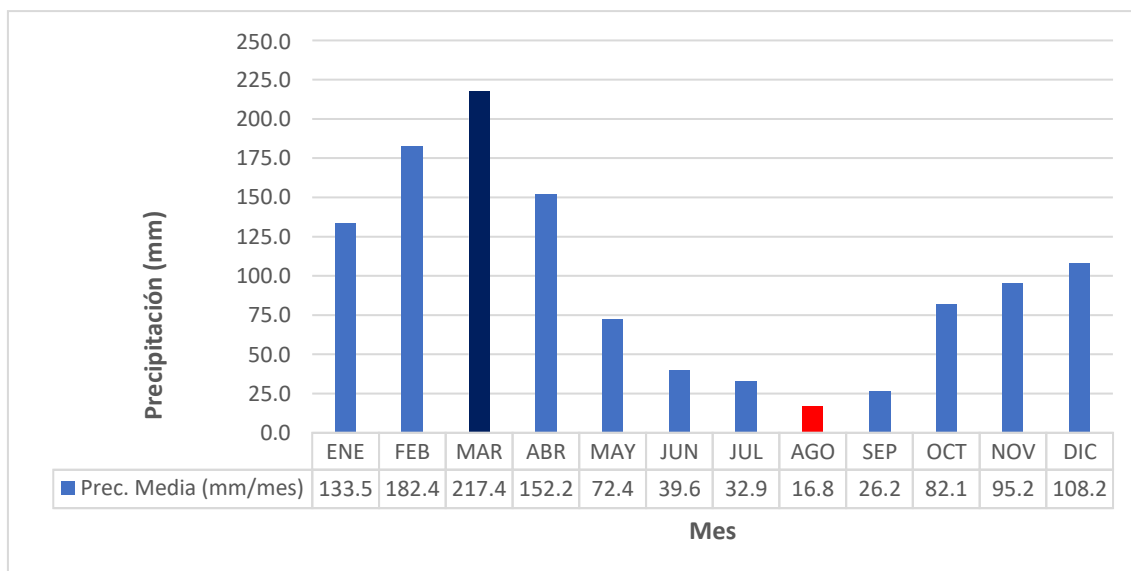
Figura 7.
Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca La Palmira, periodo 1995-2015



Fuente: El Autor

La precipitación del periodo 1995 – 2015 sobre la microcuenca La Palmira, muestra lluvias de mayor intensidad en los años de 1999, 2008, y 2011, mientras que el periodo con lluvias de menor intensidad se da durante los años de 1995, 2003 y 2013.

Figura 8.
Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca La Palmira



Fuente: El Autor

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta marzo con una precipitación que va de 82 mm a 217 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con precipitación 22 mm a 39 mm, se observa que existe una precipitación no uniforme durante todo el año.

6.1.3 Análisis de Caudales medios mensuales La Palmira

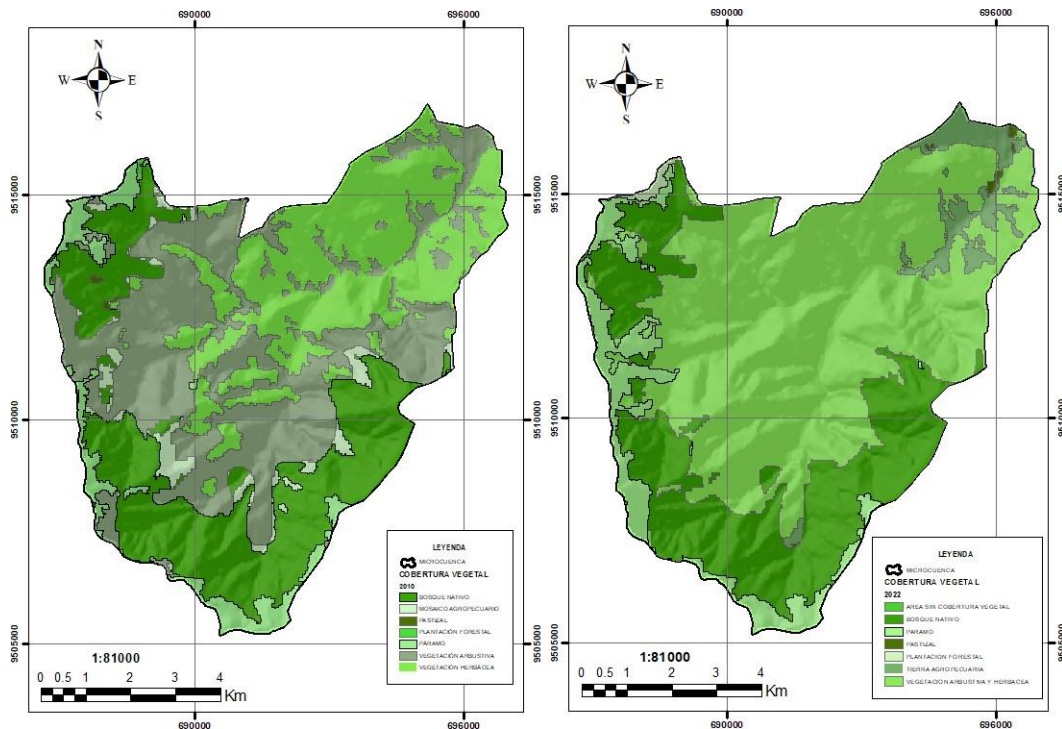
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.1.3.1 Cálculos del coeficiente de escorrentía La Palmira

En este apartado se obtuvieron los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo, así mismo, se generaron los mismos mapas del resto de superficies hidrográficas al área de estudio.

Figura 9.

Mapas de la cobertura vegetal de la microcuenca La Palmira, para determinar el C_e , para los años 2010-2022



Fuente: (Geo Portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, n.d.).

Los valores del coeficiente de escorrentía registran un valor de 0.43 para el año 2010, mientras que para el año 2022 este valor incrementa a 0.44. Por ello la presencia de vegetación, densidad, estructura entre otros son determinantes en el proceso de infiltración (generación escorrentía superficial). Siendo así que la velocidad de infiltración de los suelos forestales es muy superior a los suelos agrícolas y estos a su vez a los suelos urbanos. Ello se debe al contenido de materia orgánica de los suelos que soportan vegetación natural, a la acción de las raíces primarias y secundarias creando

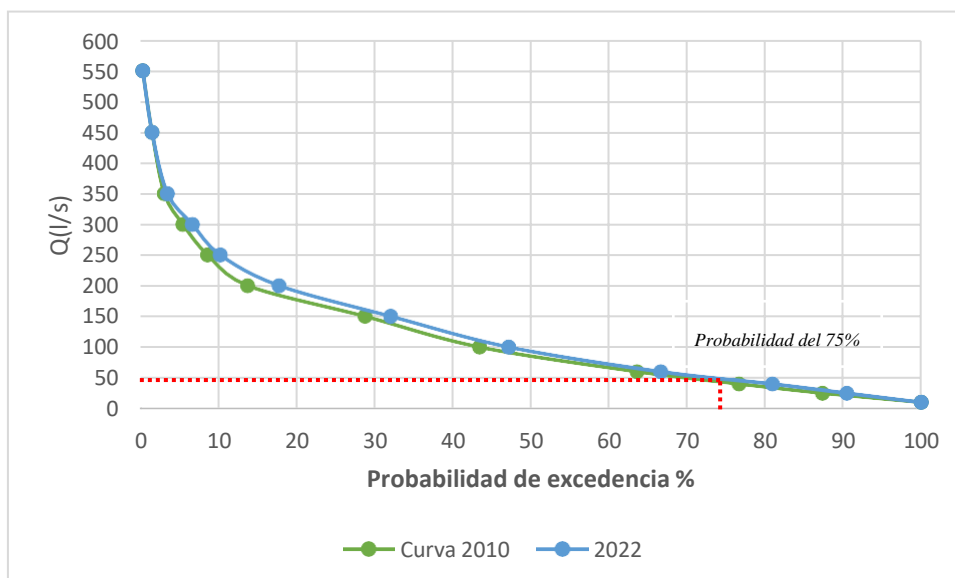
innumerables canalillos hasta el subsuelo, al aumento de oportunidad de infiltración (Martínez de Azarga et al., 2006).

6.1.3.2 Curva de duración general La Palmira

La curva de duración general permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal. Para Gaviria 2018, Un caudal medio oscila entre el 30 y 40% (dependiendo del tamaño de la cuenca y régimen de lluvia), sin embargo, para tener condiciones óptimas y que el caudal permanezca constante a lo largo del tiempo se opta por el 75% es decir, este más alto el caudal sus probabilidades de excedencias son más bajas y viceversa.

Figura 10.

Gráfica curva de duración general La Palmira, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.



Fuente: El Autor

Se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 50 l/s sin ninguna variación para el periodo 2010 -2022. La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

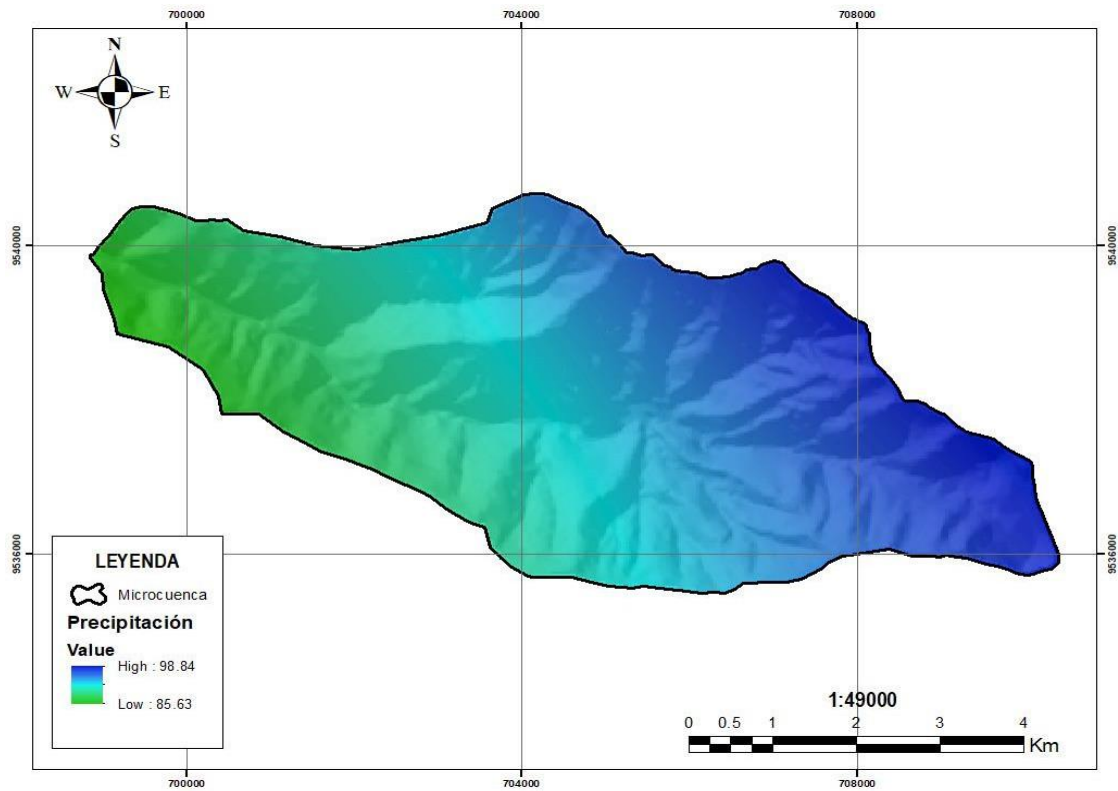
6.1.4 Precipitación media mensual de la microcuenca Campana – Malacatos

En la zona de captación se estima una precipitación media de 93.22 mm, determinada mediante el método de las isoyetas, en la figura 11, se observa la distribución de la época seca y de lluvia, presentándose la época de agosto un valor medio mínimo de

26.19 mm en el mes de febrero, mientras que el máximo valor medio de precipitación es de 1118.64 mm. La precipitación media anual es de 1131.67 mm para el periodo comprendido de 1995 – 2015.

Figura 11.

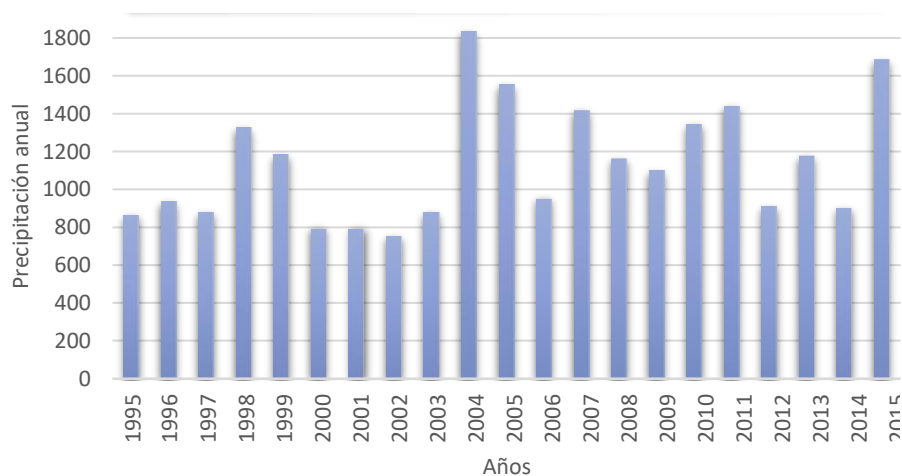
Precipitación media anual especializada de la microcuenca Campana - Malacatos



Fuente: El Autor

Figura 12.

Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Campana – Malacatos, periodo 1995-2015

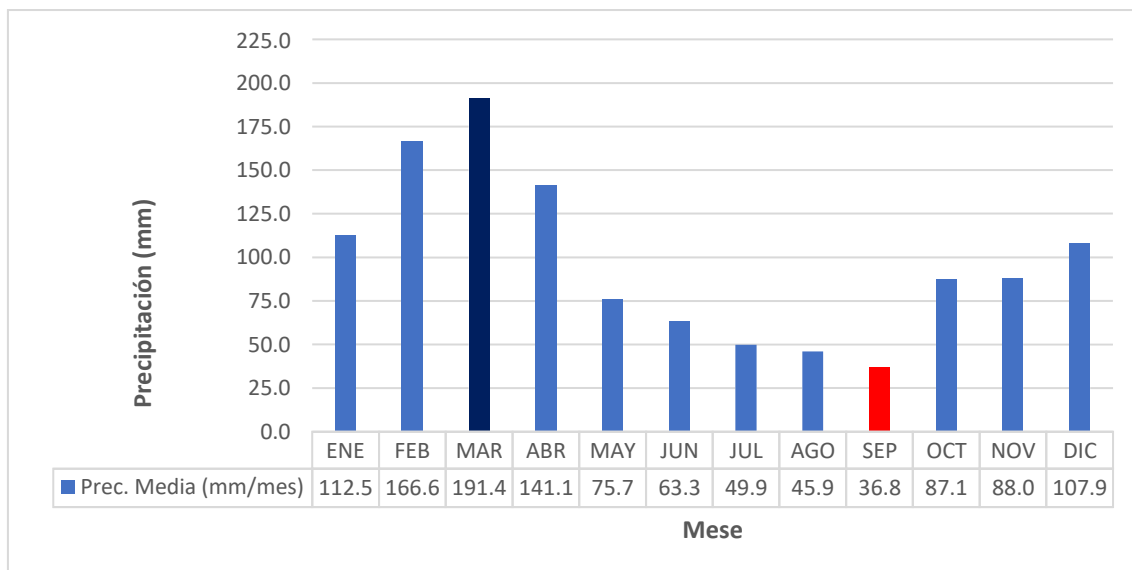


Fuente: El Autor

La precipitación del periodo 1995 – 2015 sobre la microcuenca Campana-Malacatos, muestra lluvias de mayor intensidad en los años de 2000 y 2011, mientras que el periodo con lluvias de menor intensidad se da durante los años de 1995, 2001 y 2003.

Figura 13.

Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Campana-Malacatos



Fuente: El Autor

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta marzo con una precipitación que va de 87 mm a 191 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con precipitación 39 mm a 32 mm, se observa que existe una precipitación no uniforme durante todo el año.

6.1.5 Análisis de Caudales medios mensuales Campana – Malacatos

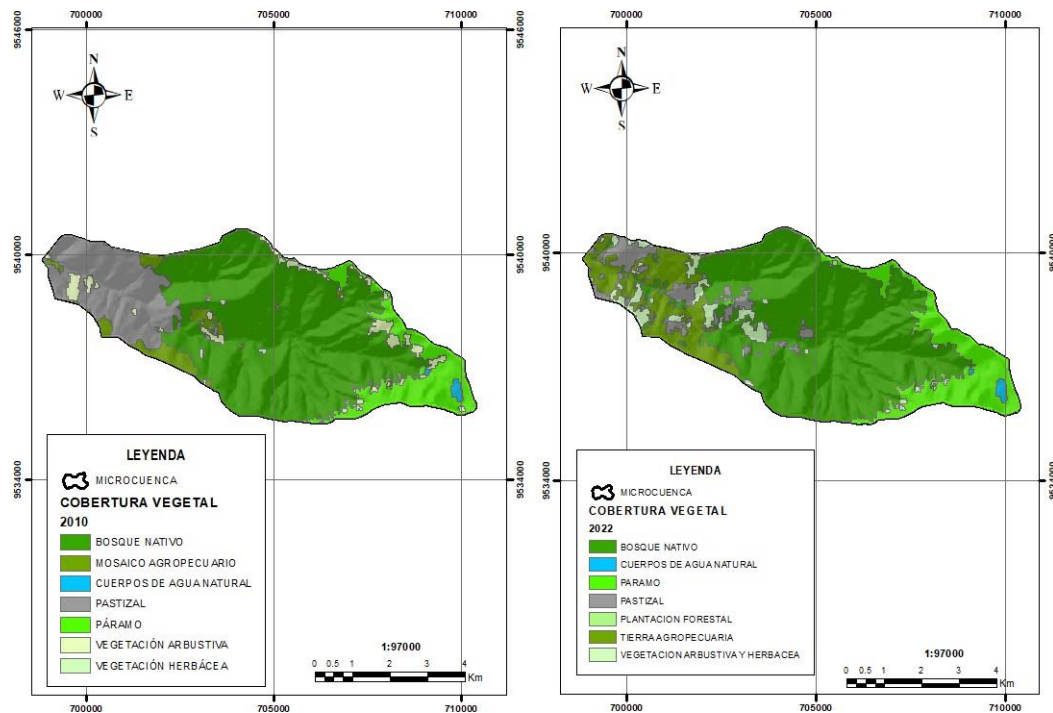
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.1.5.1 Cálculo del coeficiente de escorrentía Campana - Malacatos

En este apartado se obtuvieron los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo.

Figura 14.

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Campana-Malacatos, para determinar el Ce, para los años 2010-2022



Fuente: (Geo Portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, n.d.).

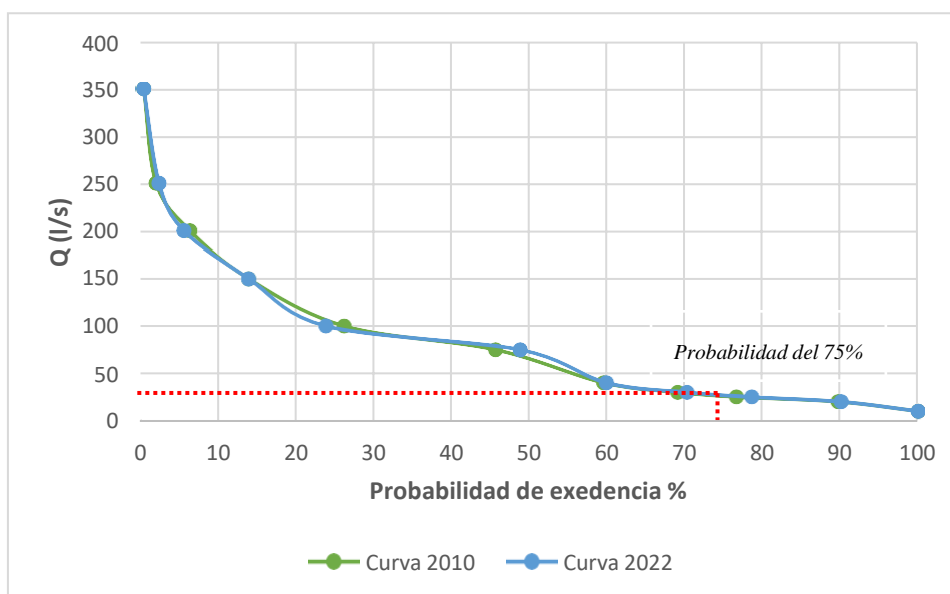
Los valores del coeficiente de escorrentía registran un valor de 0.43 para el año 2010, mientras que para el año 2019 este valor incrementa siendo de 0.44. Por ello la presencia de vegetación, densidad, estructura entre otros son determinantes en el proceso de infiltración (generación de escorrentía superficial). Ante ello la cobertura vegetal tiene una alta incidencia sobre la regulación hídrica siendo así que los cambios de la cobertura inciden directamente en la microcuenca y su capacidad de infiltración (Martínez de Azarga et al., 2006).

6.1.5.1 Curva de duración general Campana - Malacatos

La curva de duración general resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales, lo cual permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal correspondiente en ese caso.

Figura 15.

Gráfica curva de duración general Campana -Malacatos, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.



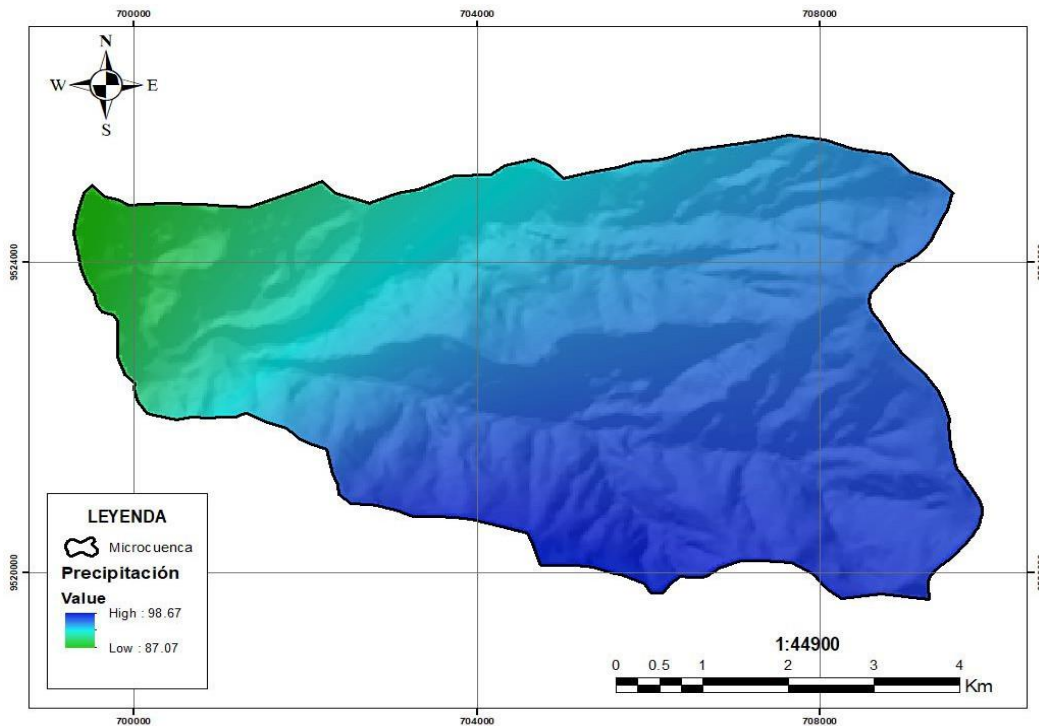
Fuente: El Autor

Se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 40 l/s sin ninguna variación para el periodo 2010 -2022. La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

6.1.6 Precipitación media mensual de la microcuenca Quinara

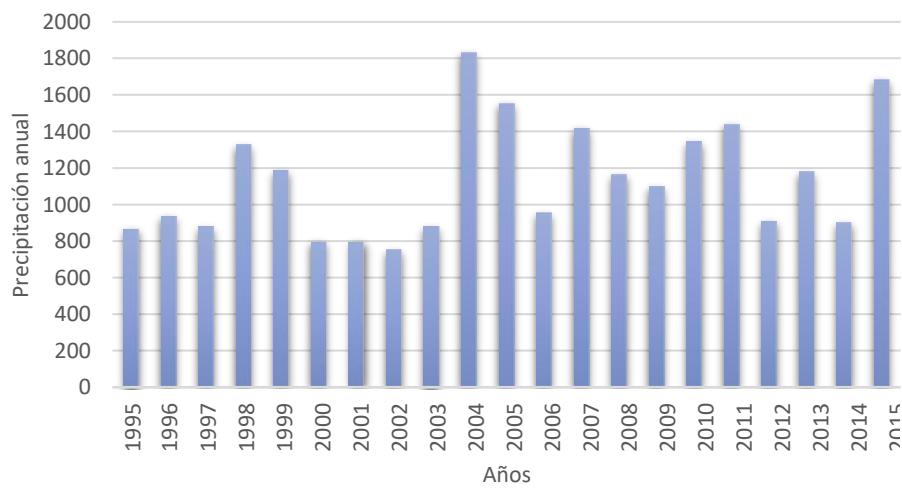
En la zona de captación se estima una precipitación media de 92.44 mm, determinada mediante el método de las isoyetas, en la figura 16, se observa la distribución de la época seca y de lluvia, presentándose la época de agosto un valor medio mínimo de 43.31 mm, mientras que el máximo valor medio de precipitación es de 367.43 mm en el mes de marzo. La precipitación media anual es de 1109.35 mm para el periodo comprendido de 1995 – 2015.

Figura 16.
Precipitación media especializada de la microcuenca Quinara



Fuente: El Autor

Figura 17.
Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Quinara, periodo 1995-2015

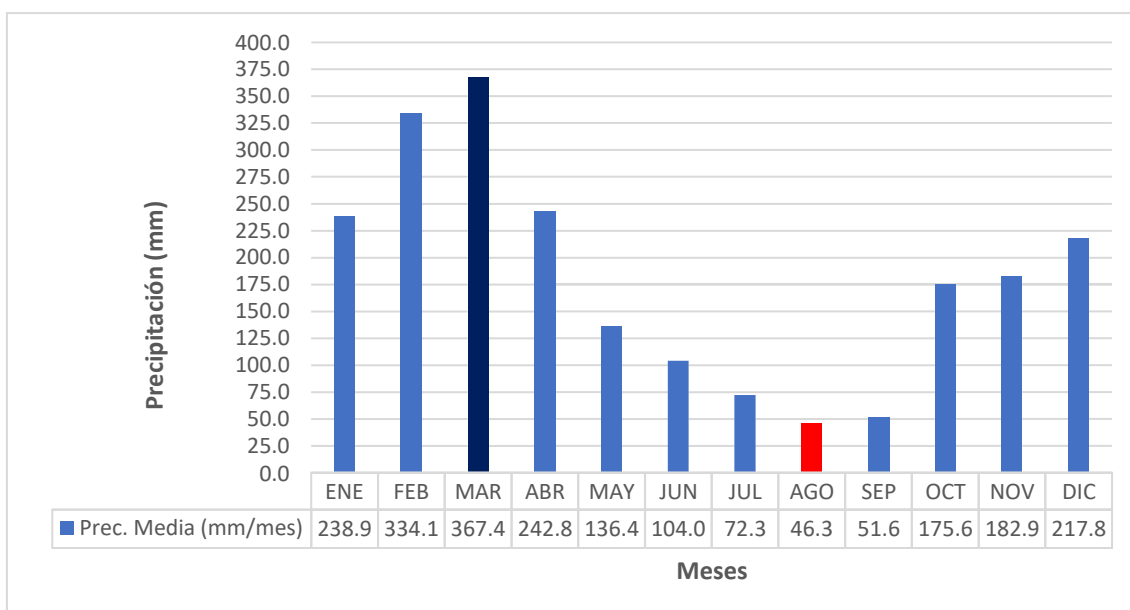


Fuente: El Autor

La precipitación del periodo 1995 – 2015 sobre la microcuenca Quinara, muestra lluvias de mayor intensidad en los años de 2004, 2005, y 2015, mientras que el período con lluvias de menor intensidad se da durante los años 2000 y, 2002.

Figura 18.

Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Quinara



Fuente: El Autor

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta marzo con una precipitación que va de 91 mm a 192 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con precipitación 54 mm a 27 mm, se observa que existe deficiencia total de agua durante todo el año, a excepción de los meses de invierno.

6.1.7 Análisis de Caudales medios mensuales Quinara

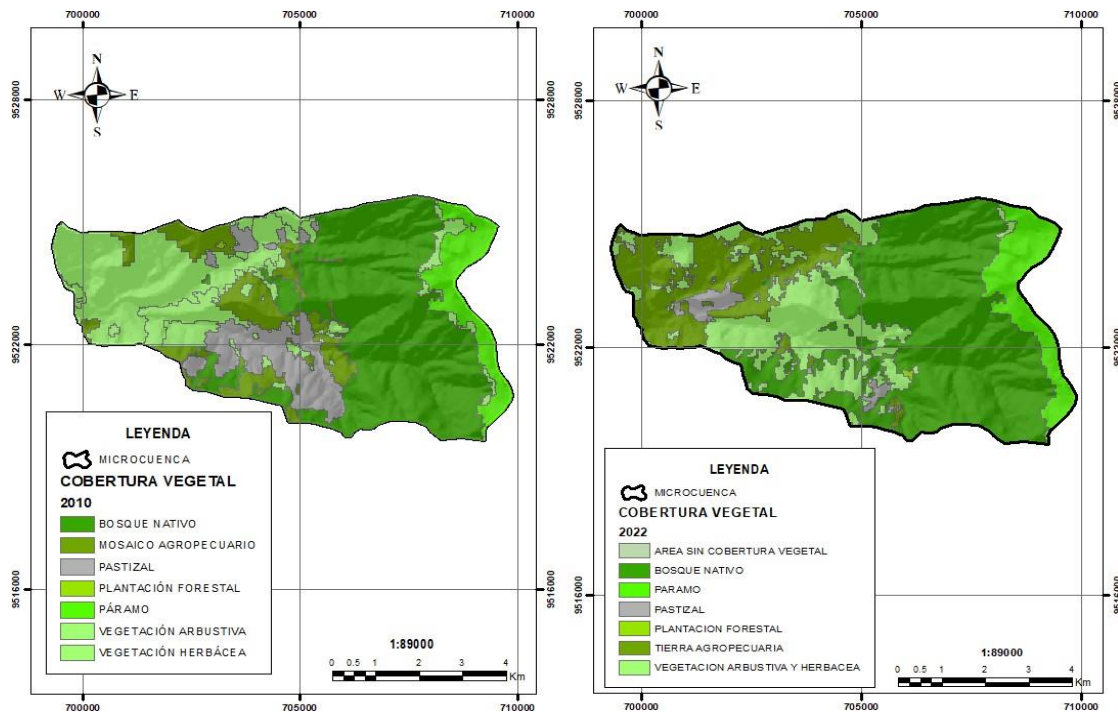
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.1.7.1 Cálculo del coeficiente de escorrentía Quinara

En este apartado se obtuvieron los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo.

Figura 19.

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Quinara, para determinar el *Ce*, para los años 2010-2022



Fuente: (Geo Portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, n.d.).

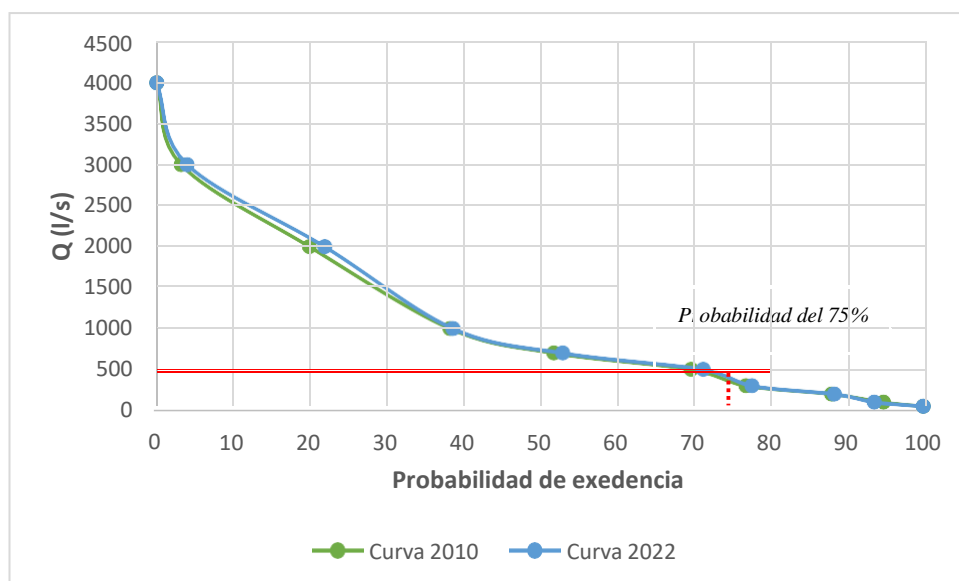
Los valores del coeficiente de escorrentía registran un valor de 0.42 para el año 2010, mientras que para el año 2019 este valor incrementa siendo de 0.43. Por ello la presencia de vegetación, densidad, estructura entre otros son determinantes en el proceso de infiltración (generación de escorrentía superficial). Ante ello la cobertura vegetal tiene una alta incidencia sobre la regulación hídrica siendo así que los cambios de la cobertura inciden directamente en la microcuenca y su capacidad de infiltración (Martínez de Azarga et al., 2006). Se debe tener en cuenta que la pendiente aumenta el coeficiente de escorrentía, pues una misma microtopografía embalsa más agua en terrenos tendidos que en terrenos empinados (González M. , 2014).

6.1.7.2 Curva de duración general Quinara

La curva de duración general permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal correspondiente en ese caso.

Figura 20.

Gráfica curva de duración general Quinara, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.



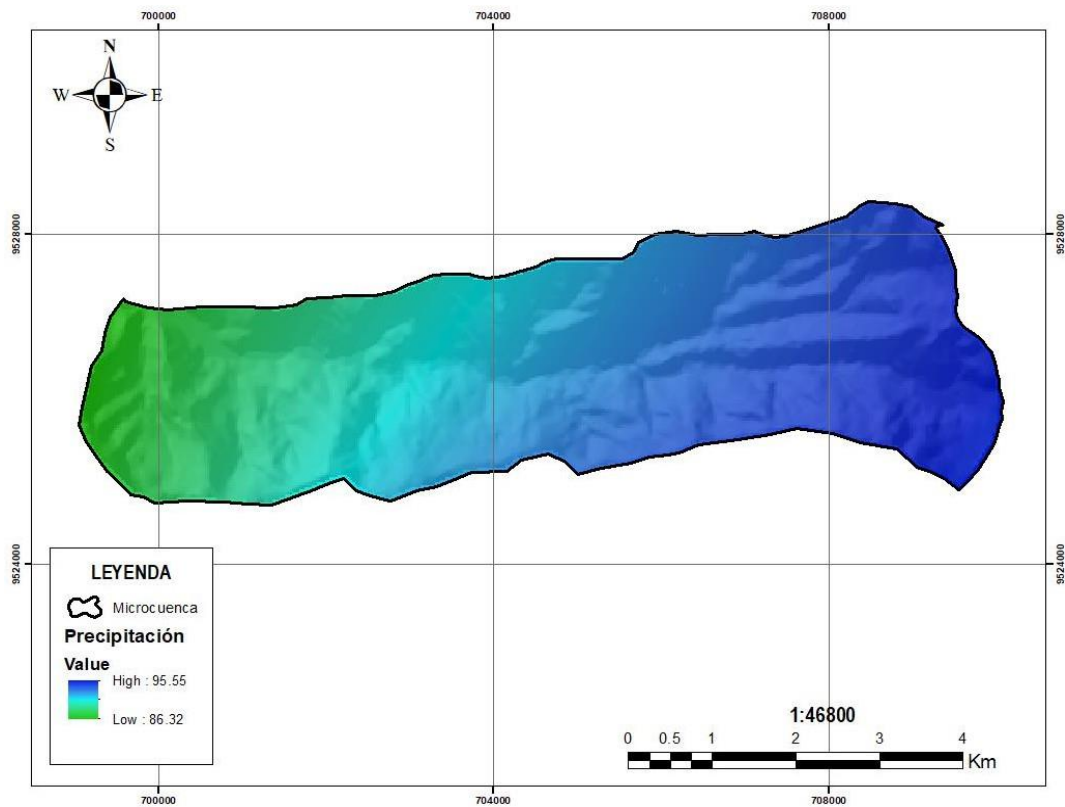
Fuente: el Autor

Se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 3000 l/s sin ninguna variación para el periodo 2010 -2022. La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

6.1.8 Precipitación media mensual de la microcuenca Vilcabamba

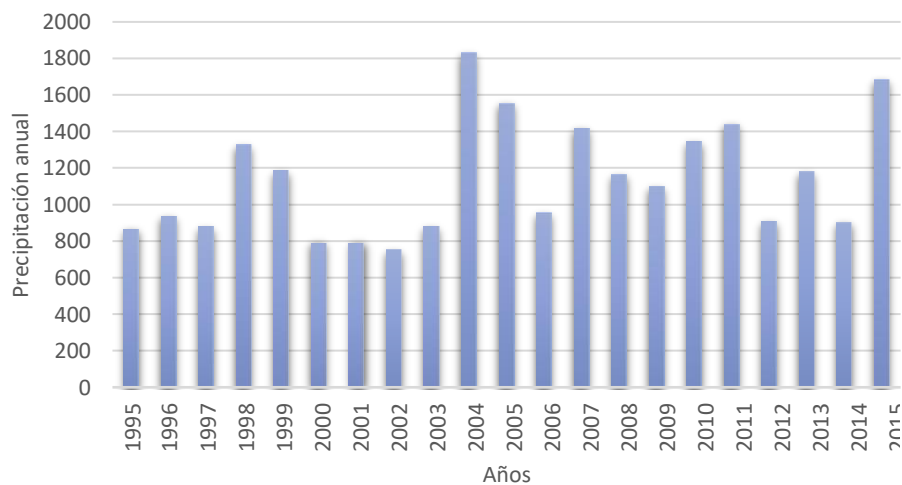
En la zona de captación se estima una precipitación media de 91.85 mm, determinada mediante el método de las isoyetas, en la figura 21, se observa la distribución de la época seca y de lluvia, presentándose la época de agosto un valor medio mínimo de 20.57 mm, mientras que el máximo valor medio de precipitación es de 194.33 mm, en el mes de marzo. La precipitación media anual es de 1102.20 mm para el periodo comprendido de 1995 – 2015.

Figura 21.
Precipitación media especializada de la microcuenca Vilcabamba



Fuente El Autor

Figura 22.
Gráfica de distribución plurianual de la microcuenca Vilcabamba, periodo 1995-2015

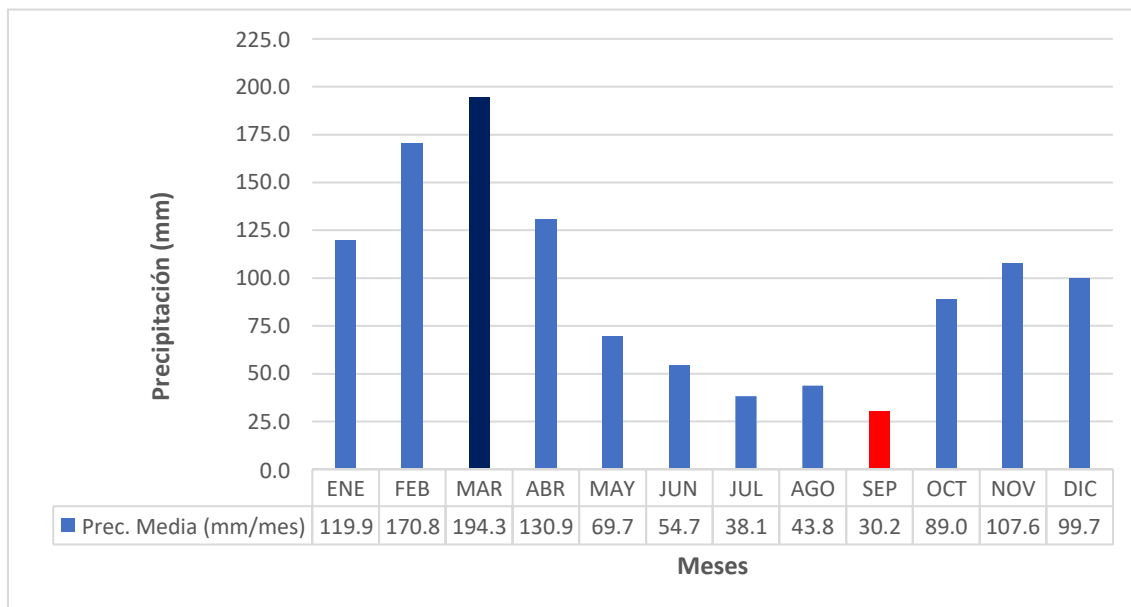


Fuente: El Autor

La precipitación del periodo 1995 – 2015 sobre la microcuenca Quinara, muestra lluvias de mayor intensidad en los años de 1999, 2000, y 2011, mientras que el período con lluvias de menor intensidad se da durante los años 1995, 1996 y, 2003.

Figura 23.

Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca Vilcabamba



Fuente: Rl Autor

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta marzo con una precipitación que va de 88 mm a 194 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con precipitación 47 mm a 26 mm, se observa que existe deficiencia total de agua durante todo el año, a excepción de los meses de invierno.

6.1.9 Análisis de Caudales medios mensuales Vilcabamba

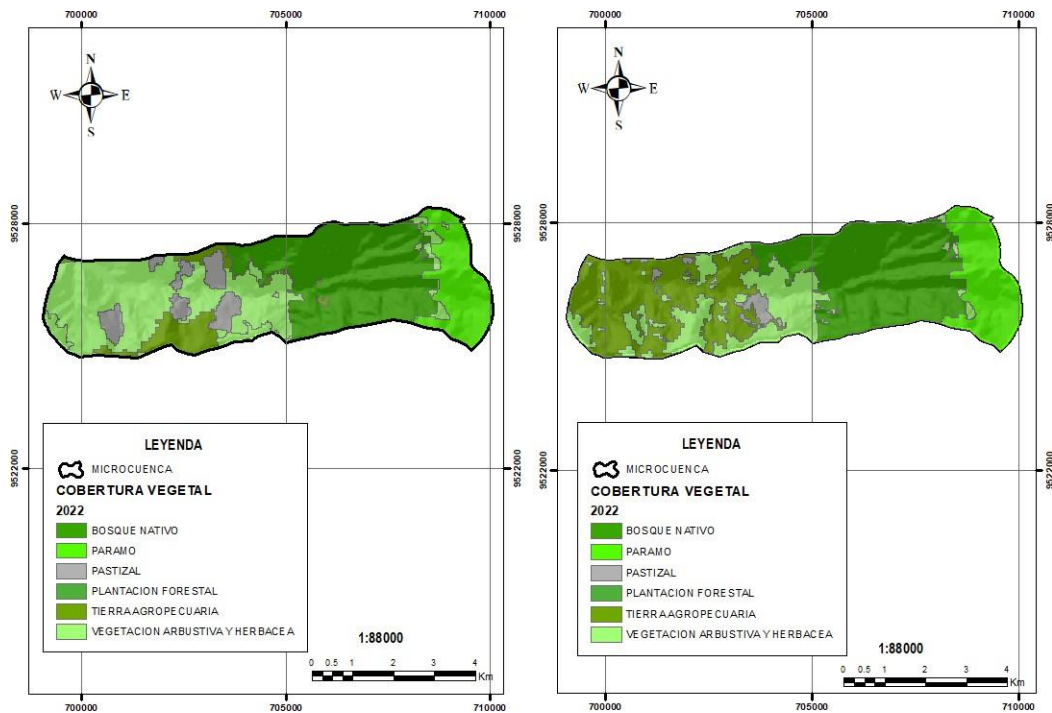
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.1.9.1 Cálculo del coeficiente de escorrentía Vilcabamba

En este apartado se obtuvieron los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo.

Figura 24.

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Vilcabamba, para determinar el Ce, para los años 2010-2022



Fuente: (Geo Portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, n.d.).

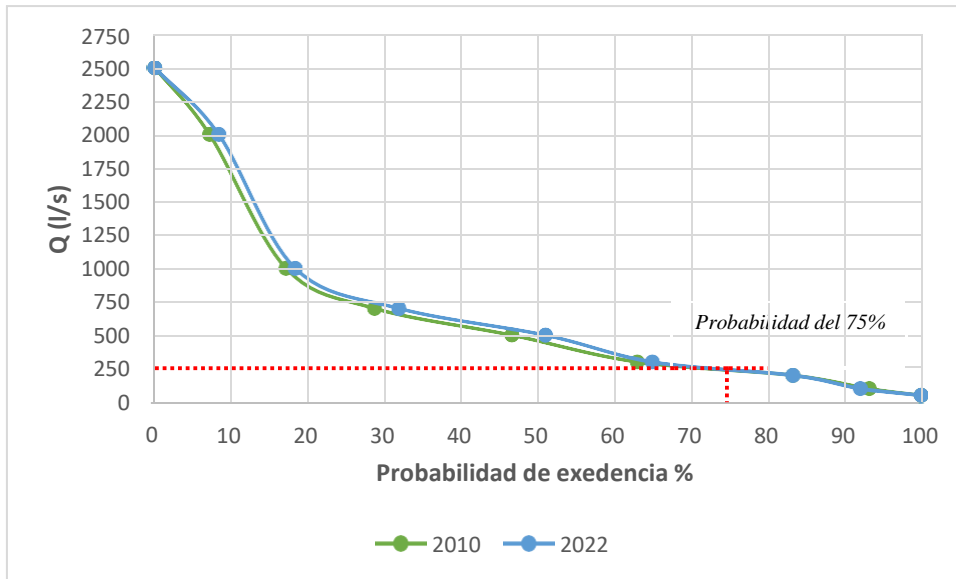
Los valores del coeficiente de escorrentía registran un valor de 0.43 para el año 2010, mientras que para el año 2019 este valor incrementa siendo de 0.44. Por ello la presencia de vegetación, densidad, estructura entre otros son determinantes en el proceso de infiltración (generación de escorrentía superficial). Ante ello la cobertura vegetal tiene una alta incidencia sobre la regulación hídrica siendo así que los cambios de la cobertura inciden directamente en la microcuenca y su capacidad de infiltración (Martínez de Azarga et al., 2006).

6.1.9.2 Curva de duración general Vilcabamba

La curva de duración general permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal correspondiente en ese caso.

Figura 25.

Gráfica curva de duración general Vilcabamba, año 2010-2022, con el 75% de probabilidad.



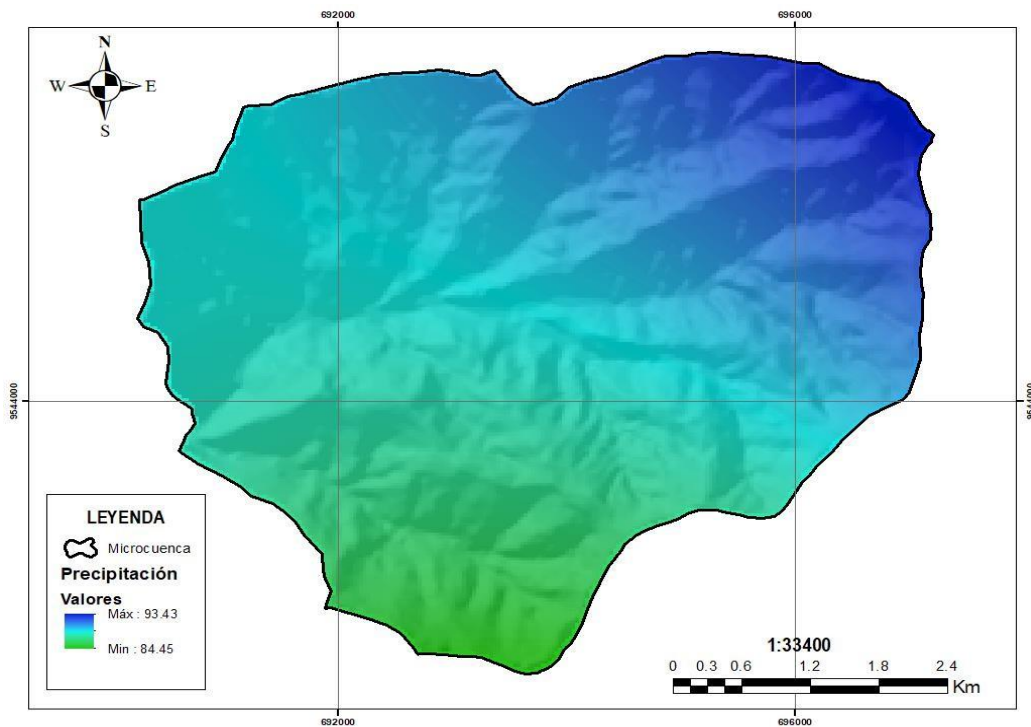
Fuente: El Autor

Se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 250 l/s sin ninguna variación para el periodo 2010 -2022. La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

6.1.10 Precipitación media mensual de la microcuenca La Era

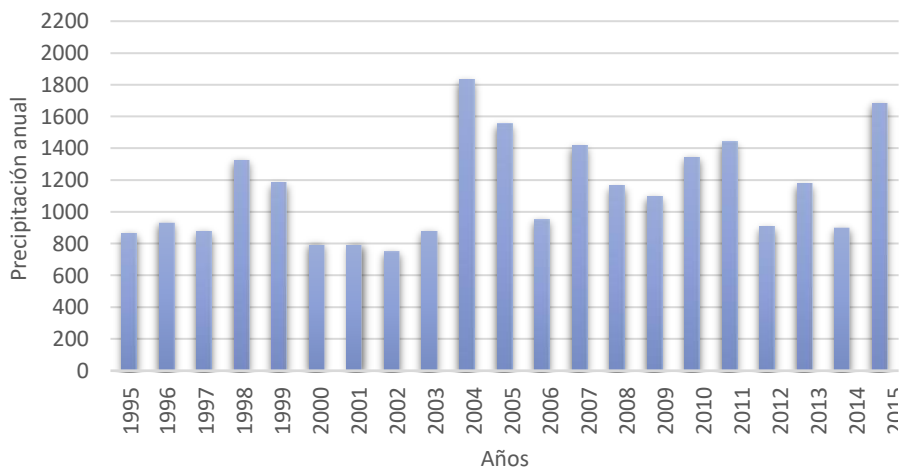
En la zona de captación se estima una precipitación media de 90.28mm, determinada mediante el método de las isoyetas, en la figura 26, se observa la distribución de la época seca y de lluvia, presentándose la época de septiembre un valor medio mínimo de 31.78 mm, mientras que el máximo valor medio de precipitación es de 203.42 mm, en el mes de marzo. La precipitación media anual es de 1083.46 mm para el periodo comprendido de 1995 – 2015.

Figura 26.
Precipitación media especializada de la microcuenca La Era



Fuente: El Autor

Figura 27.
Histograma de distribución plurianual de la microcuenca La Era



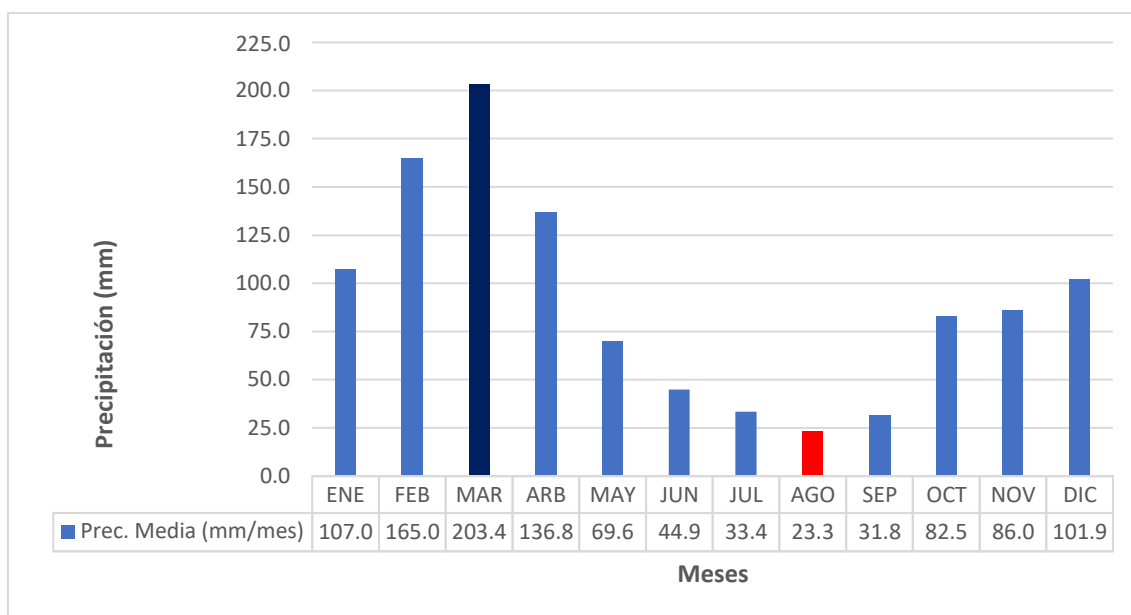
Nota: Periodo 1995-2015

Fuente: El Autor

La precipitación del periodo 1995 – 2015 sobre la microcuenca La Era, muestra lluvias de mayor intensidad en los años 2008, 2013 y 2014, mientras que el período con lluvias de menor intensidad se da durante los años de 1995, 2002 y 2010.

Figura 28.

Gráfica distribución de la precipitación media mensual de la microcuenca La Era



Fuente: El Autor

El análisis de la precipitación permite observar la distribución anual en la microcuenca, los meses más lluviosos son desde octubre hasta marzo con una precipitación que va de 82 mm a 188 mm, mientras que el periodo menos lluvioso, se representa en los meses de junio a septiembre con precipitación 44 mm a 31 mm, se observa que existe deficiencia total de agua durante todo el año, a excepción de los meses de invierno.

6.1.11 Análisis de Caudales medios mensuales La Era

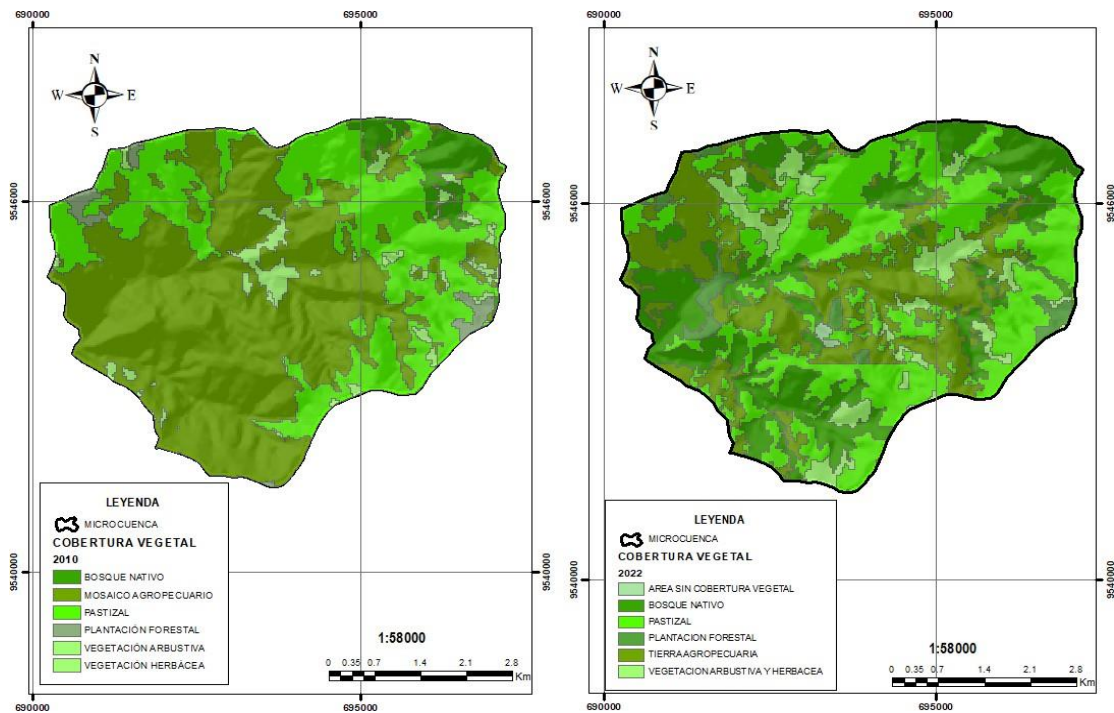
Los caudales medios mensuales de las microcuencas se calcularon a través de métodos indirectos como, el método racional, para lo cual es importante y necesario la obtener el coeficiente de escorrentía.

6.1.11.1 Cálculo del coeficiente de escorrentía La Era

En este apartado se obtuvieron los mapas de pendientes, cobertura vegetal y textura del suelo.

Figura 29.

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca La Era, para determinar el Ce, para los años 2010-2022



Fuente: (Geo Portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, n.d.).

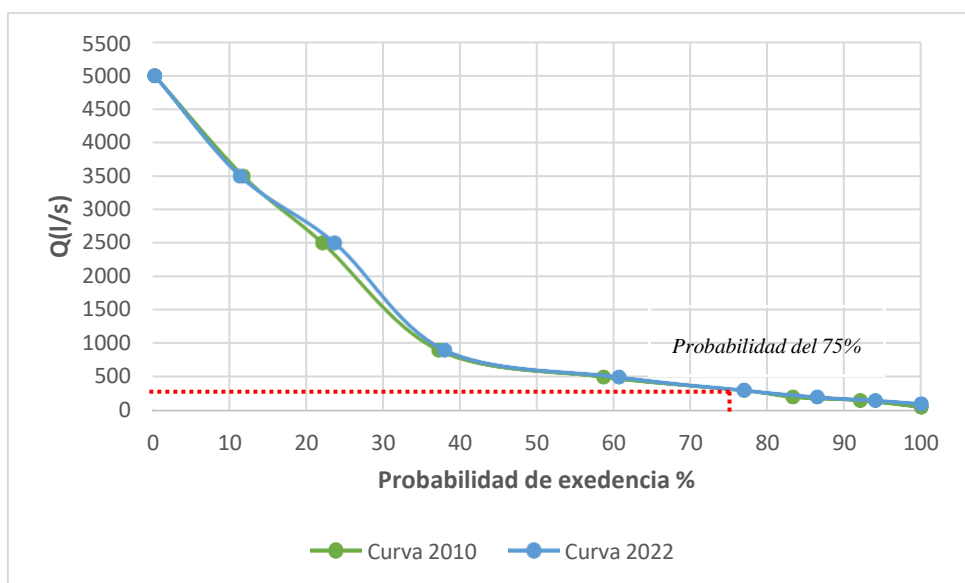
Los valores del coeficiente de escorrentía registran un valor de 0.53 para el año 2010, mientras que para el año 2019 este valor incrementa siendo de 0.56. Por ello la presencia de vegetación, densidad, estructura entre otros son determinantes en el proceso de infiltración (generación de escorrentía superficial). Ante ello la cobertura vegetal tiene una alta incidencia sobre la regulación hídrica siendo así que los cambios de la cobertura inciden directamente en la microcuenca y su capacidad de infiltración (Martínez de Azarga et al., 2006).

6.1.11.2 Curva de duración general La Era

La curva de duración general permite conocer el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales pueden ser: igual, superiores o inferiores, es decir en condiciones óptimas el porcentaje de tiempo seleccionado tendrá disponible el caudal correspondiente en ese caso.

Figura 30.

Gráfica curva de duración general La Era, año 2010 – 2022, con el 75% de probabilidad.



Fuente: El Autor

Se seleccionó una probabilidad del 75%, siendo el caudal existente en condiciones óptimas 250 l/s sin ninguna variación para el periodo 2010 -2022. La curva de duración es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los períodos secos.

6.2 Formular una propuesta de manejo y conservación basado principalmente en la revegetalización de las microcuencas de estudio, que contribuyan a la regulación hídrica

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. Para Sánchez, (2016) el carácter pulsátil de los cuerpos fluviales se relaciona a directamente con su vegetación de borde, la cual está representada por “paisajes naturales dominados por árboles cuya distribución y abundancia depende del escurrimiento del agua de ríos o arroyos, especialmente de periodos de suelo inundado y de suelo seco” (Neiff, 2004).

6.2.1 Objetivo General

- Elaborar una propuesta de manejo y conservación de las microcuencas en estudio, para que sea orientada en la regulación hídrica y fundamentada en la producción de agua a través del manejo integral de las microcuencas.

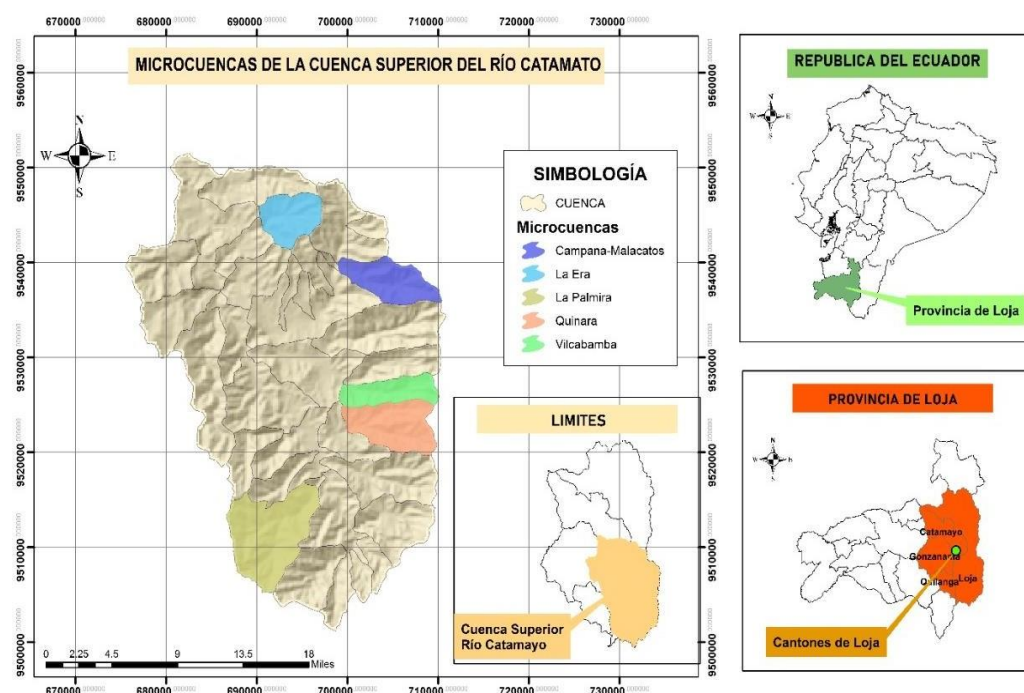
6.2.2 Objetivo Específico

- Elaborar una propuesta para la regulación hídrica en la cuenca a través del manejo de los ecosistemas naturales en concordancia con el desarrollo humano

6.2.3 Localización del área

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en la cuenca superior del río Catamayo, en las microcuencas de generación de agua para los sistemas de riego: La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba y La Era.

Figura 31.
Mapa base de ubicación de las microcuencas de estudio



Fuente: El Autor

Tabla 13.
Microcuencas de estudio

Microcuenca	Forma de la microcuenca	Extensión km ²
La Palmira	De oval redonda a oval oblonga	71.27 km ²
Campana-Malacatos	De oval redonda a oval oblonga	34.67 km ²
Quinara	De oval redonda a oval oblonga	43.07 km ²
Vilcabamba	De oval redonda a oval oblonga	26.46 km ²
La Era	Casi redonda a oval	29.30 km ²

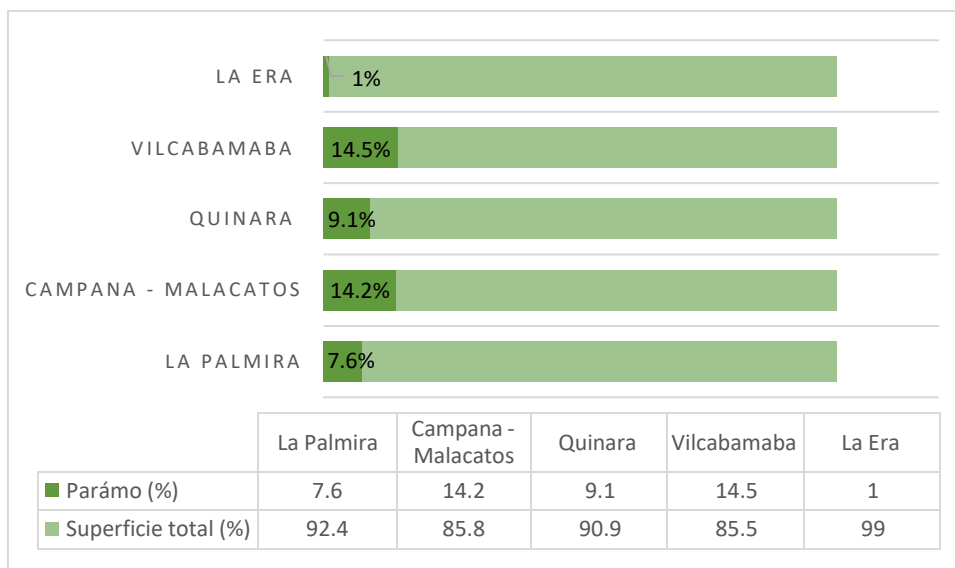
Fuente: El Autor

6.2.4 Propuesta de manejo y conservación basado en la revegetalización de las microcuencas de estudio.

Los páramos son ecosistemas frágiles neotropicales de alta montaña. En Ecuador tienen una altura promedio de 3300 m s.n.m territorio (Carrillo et al., 2019). Estos ecosistemas no forman más del 20% de su superficie, como se puede ver la figura 46. Dichos ecosistemas son los encargados de suministrar agua a los valles interandinos y toda la población de las ciudades a su alrededor (Buytaert et al., 2006; Mosquera et al., 2016). Sus suelos con densidad aparente baja, estructura abierta y porosa posibilitan retención de agua y conductividad hidráulica (Chuncho y Chuncho, 2019).

Figura 32.

Porcentaje de páramo en las microcuencas de estudio



Fuente: El Autor

Programa de manejo y conservación

El plan de manejo y conservación posibilita el cuidado de los recursos naturales, protegiendo la biodiversidad y zonas sensibles a fin de minimizar los impactos ambientales.

Proyectos

- Programa de terrazas individuales
- Programa de manejo de residuos de cultivos
- Programa de zanjas de infiltración o banquetas
- Programa de abonos verdes y cobertura permanente del suelo
- Programa de barreras muertas

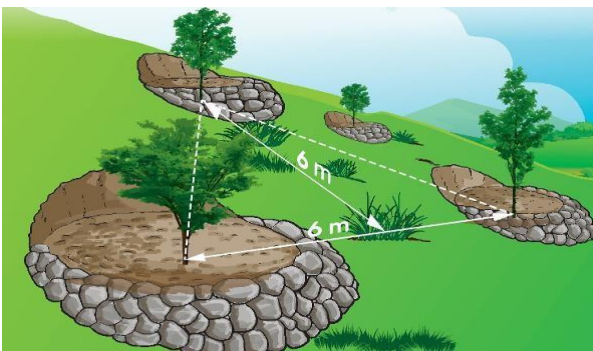
- Programa de barreras y cercas vivas
- Programa de labranza mínima
- Programa de surcos en contorno, a partir de trazado de curvas de nivel
- Programa de revegetalización de taludes
- Programa de diques de contención

Programa de terrazas individuales

Consiste en la elaboración de estructuras o terraplenes semicirculares con una ligera inclinación hacia adentro para retener agua lluvia (SEDESOL, 2010).

Figura 33.

Terrazas individuales, para prevenir la erosión



Fuente: Julián, (2018), Las terrazas de media luna.

Se recomienda combinar esta labor con otras prácticas de conservación como las barreras vivas, labranza mínima, entre otras.

Componentes a mejorar:

- Evitar la erosión de laderas
- Retener el suelo de la escorrentía
- Captar agua lluvia
- Retiene y conserva la humedad en áreas localizadas

Programa de manejo de residuos de cultivos

Consiste en la incorporación de residuos vegetales al suelo, para aumentar los contenidos de materia orgánica del suelo (González 2012).

Figura 34.
Desechos o residuos agrícolas



Fuente: AGROTIPS, 2017 Manejo de residuos en un predio agrícola.

Contribuye a disminuir los impactos negativos de algunas prácticas agrícolas en las fincas mediante la incorporación de materia orgánica al suelo manteniéndolo húmedo reduciendo la evaporación, las plantas necesitan menos irrigación o usan la lluvia disponible más eficazmente en las áreas secas (Valencia, Serrano, & Galárraga, 2013).

Componentes a mejorar:

- Los residuos protegen el suelo del golpe directo de la lluvia
- Reduce las pérdidas de suelo por erosión hídrica y eólica, en sitios con pendientes de hasta 20%.
- Aumenta la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y reduce la evaporación del agua del suelo

Programa de manejo zanjas de infiltración

Son canales que se construyen a nivel, en dirección transversal a la pendiente, para retener, conservar y ayudar a infiltrar el agua de lluvia. Se construyen a partir de las curvas de nivel, se cava una zanja entre 40 y 60 cm de ancho, por 40 o 50 cm de profundidad y entre 2 a 5 metros. Entre los aspectos a tener en cuenta se resalta que debe realizarse una limpieza periódica cada vez que se llene con tierra y/o sedimentos (FAO, 2018).

Figura 35.

Trazado de zanjas para prevenir la erosión



Fuente: FAO, 2018 Guía de buenas prácticas para uso del suelo.

Su uso es recomendable en zonas con pluviometría moderada a baja y en las partes altas de laderas con fuerte pendiente protegidas con cobertura vegetal y sectores donde no se produzcan anegamientos, por ello no se construye en suelos delgados y propensos a deslizamientos (Castañeda, 2001).

Componentes a mejorar:

- Ayudan a retener el agua de escorrentía, que proviene de las partes altas del terreno.
- Favorecer el drenaje superficial del suelo, la protección y estabilización de taludes

Programa de manejo programa de Abonos verdes y cobertura permanente del suelo

Los abonos verdes consisten en la incorporación al suelo de plantas sembradas o biomasa vegetal no descompuesta con el fin de mejorar la fertilidad y calidad del suelo (Caballero et al., 2011)

Figura 36.

Trazado de zanjas para prevenir la erosión



Fuente: FAO 2018, Guía de buenas prácticas para uso del suelo.

La cobertura permanente del suelo consiste en mantener el campo cubierto con material orgánico verde o seco. Se ha podido comprobar que el suelo no debe estar mucho

tiempo desnudo, para evitar la influencia directa del sol y la lluvia, causa fundamental de su erosión. (Caballero et al., 2011).

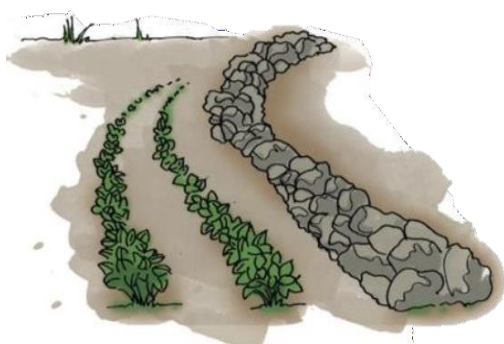
Componentes a mejorar:

- Promueven un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo, de manera que mantienen e incluso elevan, a lo largo de los años el contenido de su materia orgánica.
- Protegen la capa superficial del suelo contra las lluvias de alta intensidad, el sol y el viento.
- Mantienen elevadas tasas de infiltración de agua por el efecto combinado del sistema radicular y la cobertura vegetal.
- Mejoran la retención de humedad del suelo, ya que reducen la pérdida de agua por evapotranspiración.
- El efecto de los abonos verdes con raíces pivotantes, tiene un efecto positivo en la descompactación del suelo.

Programa de manejo barreas muertas

Son muros de piedra en curvas a nivel que evitan el arrastre del suelo. La distancia entre curvas está sujeta a la pendiente y el tipo de suelo, se los coloca de manera transversal a la pendiente para disminuir la velocidad del agua y retener el material arrastrado (SAG, 2012)

Figura 37.
Barreas muertas



Fuente: FAO, 2010. Guía de buenas prácticas para uso del suelo por FAO 2010.

Componentes a mejorar:

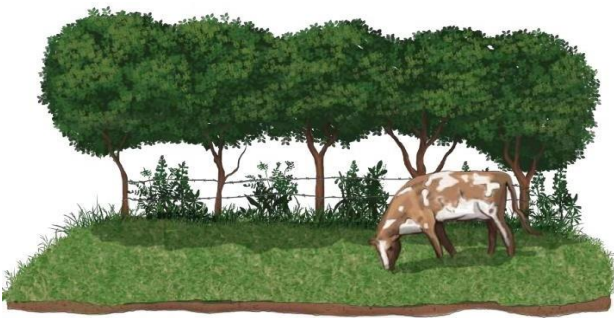
- Ayuda a estabilizar taludes que han sufrido procesos de deslizamientos o en donde hay procesos de cárcavas permitiendo la recuperación de suelo perdido.

- En muchas ocasiones son estructuras de piedra, establecidas en suelos con pendientes, que permiten formar una superficie de terreno horizontal sobre la cual se cultiva sin que escurra el agua.
- Detienen o reducen el empuje horizontal debido a tierra, agua y vientos

Programa de manejo de barreras vivas

Las barreras vivas son cultivos que se siembran, principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión (FAO, 2011).

Figura 38.
Barreras vivas



Fuente: FAO, 2018. Guía de buenas prácticas para uso del suelo.

Las cercas vivas son una forma de establecer un límite entre diferentes dueños de parcelas, mediante la siembra de una hilera de árboles y/o arbustos a distancias relativamente cercanas. El propósito principal de las cercas vivas es el control del movimiento de los animales y humanos; adicionalmente, pueden proveer leña, forraje, alimento, cortina rompevientos y enriquece el suelo con nutrientes (FAO, 2016).

Componentes a mejorar:

- Proteger el suelo contra la erosión reduciendo la velocidad del agua lluvia y retienen sedimentos
- Protegen el suelo de los fenómenos climáticos ya sea en época de lluvia o sequía
- Evitan a largo plazo la pérdida de fertilidad en suelos
- Generan límites formales y tenencia de tierras
- Permiten la conservación de suelos controlando la degradación natural del mismo.

Programa de manejo labranza mínima

La labranza mínima consiste en intervenir lo menos posible el suelo al momento de cultivarlo, de tal manera que no se interfiera en los procesos naturales que se desarrollan en él (FAO, 2000)

Figura 39.

Labranza mínima en surcos



Fuente: FAO, 2018. *Guía de buenas prácticas para uso del suelo.*

Es una forma de labranza en donde se remueven solamente los surcos de 20 a 30 centímetros de ancho, dejando el suelo entre surcos sin remover. La remoción de suelo dentro de estos surcos se hace a una profundidad de 15 a 30 cm, según el tipo de suelo y clase de cultivo (Rojas, 2001).

Componentes a mejorar:

- Protege la humedad del suelo debido al aumento de la filtración y a la baja de evaporación.
- No interrumpe los drenajes naturales y controla la erosión del suelo.
- Reducción de la erosión hídrica y eólica del suelo
- Aumento en la intensidad del uso de la tierra y mayor facilidad de la siembra y de cosecha
- Mejora las propiedades físico, químicas y biológicas del suelo

Programa de manejo surcos en contorno

Consiste en realizar todas las labores culturales y métodos de siembra siguiendo las curvas de nivel en contra de la pendiente. La forma más rápida de delinearlas es con un nivel topográfico, pero en el caso de no disponer, son útiles los niveles tipo "A" y el "caballete" de obras (FAO, 2018).

Figura 40.
Labranza mínima en surcos



Fuente: FAO. 2018. Guía de buenas prácticas para uso del suelo.

Esta práctica consiste en orientar las hileras del cultivo en curvas a nivel. Cada curva a nivel es una línea de puntos que están en la misma elevación.

Componentes a mejorar:

- Impedir el paso del agua que se desliza por la superficie, disminuyendo su velocidad y su capacidad de arrastre del suelo, así como favorecer la infiltración del agua.
- Se sugiere su uso en todos los suelos que tengan pendiente, así esta sea muy leve. En caso de pendiente muy fuerte, las curvas de nivel son muy importantes más no son suficientes, pues se requiere su combinación con terrazas, zanjas y barreras vivas

Programa de manejo de revegetalización de taludes

Consisten en la siembra directa de especies vegetales que amarren el suelo, para que se reactive el ciclo de mineralización de la materia orgánica en los taludes (FAO, 2018).

Figura 41.
Revegetalización de taludes



Fuente: Fao, 2018. Guía de buenas prácticas para uso del suelo.

Es una forma de evitar los problemas de erosión, controlar la infiltración ya que actúa como secador en el suelo, mejorando las condiciones paisajistas de los taludes y así mismo aumentando su estabilidad (Rojas, 2001).

Componentes a mejorar:

- Protege la humedad del suelo debido al aumento de la filtración
- Garantiza el suministro de agua en épocas de estiaje
- Reducción de la erosión del suelo por efecto del viento
- Reducción de la escorrentía, disminuyendo su velocidad, filtrando y regulando el paso del agua, evitando la formación de surcos y pérdida de suelo.

Proyecto 2: Diques de contención

Son pequeñas presas hechas de diversos materiales, palos, piedras, sacos de tierra, entre otros, las cuales sirven para frenar las corrientes de agua y detener la tierra que se lleva durante las precipitaciones (PRICA, 2016)

Figura 42.

Diques de contención



Fuente: Campos, 2015. *Construcción de diques en la conservación de suelos.*

Es un método eficaz para conservar la fertilidad, la humedad y la calidad del suelo. También controla la erosión hídrica y la generación de sedimentos que prolonga la vida útil del terreno.

Componentes a mejorar:

- Disminuye el riesgo a inundaciones
- Garantiza la conservación de suelos
- Reducción de la erosión del suelo por efecto del viento
- Propicia un buen drenaje de las aguas en el terreno

- Protege la ladera de la erosión, y evita la formación de zanjonés en medio de los cultivos.
- Los diques sirven como filtro, frenando la corriente y deteniendo la tierra.

6.2.4.1 Impactos esperados para las microcuencas

Tabla 14.

Impactos esperados en las zonas de estudio en fase a la propuesta de revegetalización.

N°	Efecto	Impacto esperado
1	Manejo de residuos de cultivo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora de la infiltración del agua en el suelo ✓ Capta agua lluvia ✓ Acelera el desarrollo de especies vegetales
2	Rehabilitar suelos y cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora de la cubierta vegetal ✓ Ayuda a la conservación de suelos
3	Terrazas individuales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejoramiento de la capacidad productiva del suelo
4	Zanjas de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora de la infiltración del agua en el suelo ✓ Conservación de agua como acumulador y mejoramiento de la infiltración de agua en las zanjas
5	Abonos verdes y cobertura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejoramiento de la capacidad productiva del suelo
6	Mejoramiento de la cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción de la pérdida de suelo por erosión y disminución de la carga de sedimentos ✓ Mejora de la infiltración del agua en el suelo
7	Conservación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incremento de la cobertura vegetal ✓ Mejora de la infiltración del agua en el suelo
8	Rehabilitar zonas deterioradas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora de la cubierta vegetal ✓ Protección de fuentes de agua
9	Surcos en contorno	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Zonas protegidas ✓ Evita deslizamientos ✓ Mejora la infiltración del suelo
10	Revegetalización de taludes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Evita deslizamientos ✓ Mejora la infiltración del suelo ✓ Disminuir impactos de la sequía e inundaciones

Fuente: El Autor

7. Discusiones

7.1 Análisis de los parámetros morfométricos de las microcuencas de estudio

En cuanto a las unidades hidrográficas tenemos de forma redonda a oval oblonga ($C_g = 1.34 - 1.36 - 1.31 - 1.47$) a las microcuencas La Palmira, Campana-Malacatos Quinara y Vilcabamba, resultados similares a los obtenidos por Juera (2011) en la cuenca alta del río Catamayo con un valor de 1.49. Por otra parte, la microcuenca La Era ($C_g = 1.14$), presenta tenencia a las crecidas por su forma redonda a oval, con problemas de inundación y escurrimientos rápidos, similares resultados se obtuvieron, por Mejía (2009) y Nero (2020) en la Cuenca del Río San Francisco y la microcuenca La Vega ($C_g = 1.21$ y 1.19) es decir son superficies propensas a crecidas violentas y de gran magnitud, pero a su vez, difieren con la investigación de Herrera y Cango (2012), en donde calculó un valor de 1,59 que según González (2001) se clasifica como una microcuenca ovalada redonda lo que expresa que es un área asociada a fuertes relieves y pendientes por lo que avienta de importante magnitud con problemas a inundaciones.

En las figuras 5 se determinó mediante la curva hipsométrica con categoría de Curva B es decir están en equilibrio o fase de madurez, estos resultados son comparables a las microcuencas San Ignacio y La Vega por Nero (2020), al tener la misma categoría Curva B, de igual forma en las microcuencas de Malacatos, Amanda, Monica y Santa Urcu por Cañar (2016), en el sistema de riego Campana – Malacatos en donde determinaron como Curvas B, esto se debe a las características de relieve y topografía que son similares a la zona de estudio.

La pendiente media de las microcuencas La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba y la Era con valores de 55.77 - 62.84 - 52.08 – 52.91 y 53.41% respectivamente lo que indica que la velocidad de los escurrimientos superficiales es mayor. Resultados que se asemejan a la pendiente media en la microcuenca San Ignacio y La Vega con el 57 y 41 % deteniendo una velocidad de escurrimiento alta. Sin embargo, Maldonado (2017) en su investigación microcuenca Ramas obtuvo un valor de 21,23% lo cual posee una pendiente baja generando velocidades de infiltración alta y bajo escurrimiento, al igual que Nero (2020).

Referente a la longitud del cauce principal, la microcuenca Campana Malacatos posee la mayor longitud del cauce principal (12.50 km), mientras La Era fue la menor con (8.34 km), por lo que a mayor pendiente del cauce menor duración en la concentración

de las aguas de escorrentía, semejante a Maldonado (2017), con una longitud del cauce principal de 5.51 km. Además, Llano (1998), atribuye que, a mayor pendiente, se presentan procesos de erosión y formación de descargas altas.

El tiempo de concentración es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. (Ven Te Chow et al.,1994). El dato con más alto valor fue de la microcuenca La Palmira con 57 min, que según Fuentes (2004) lo clasifica como moderado por el contrario el menor tiempo registrado fue en la microcuenca La Era con 15 min clasificado como lento por Fuentes (2004). Sin embargo, Nero (2020), en su estudio determino valores de 28 y 40 min para las microcuencas San Ignacio y La Vega, con estos datos se puede evidenciar que a mayor pendiente menor tiempo de concentración y viceversa.

7.2 Cálculo de la precipitación y coeficiente de escorrentía

FAO (1996), menciona que la lluvia se produce cuando las diminutas gotitas que flotan en el aire formando las nubes comienzan a unirse y se hacen lo suficientemente pesadas para precipitarse en forma de lluvia. Juera (2011), en sus resultados obtuvo para los primeros meses del año mayores precipitaciones siendo estas de (diciembre a marzo) sin embargo para el resto del año hubo un déficit total siendo el mes de septiembre el más crítico.

Las microcuencas presentan mayores precipitaciones en época lluviosa (diciembre a abril) siendo el más alto el mes de marzo: La Palmira (217 mm), Vilcabamba(194 mm), Quinara (192 mm), Campana-Malacatos (191 mm) y La Era (188 mm). La cantidad de agua disponible en una determinada región depende básicamente del régimen de precipitación incidente (FAO, 2013). En la época seca (mayo a noviembre) el mes con menor precipitación es agosto, con las microcuencas La Palmira (22 mm) y Vilcabamba (26 mm), datos semejantes presenta Luna (2017), tanto para época lluviosa un valor de 137 mm para marzo y 28 mm en mes de agosto como secos. Datos distintos presenta Nero (2020), que registran entre los meses de diciembre a abril, período lluvioso, mientras que mayo y noviembre se considera un periodo seco. Sin embargo, hay que señalar que aun cuando las microcuencas analizadas forman parte de la cuenca del río Catamayo, sus valores de precipitación en la época invernal varía (Cañar, 2016). La vegetación y el ciclo del agua están intrínsecamente acoplados (Gerten y otros, 2004), al mencionar que toda

la vegetación existente, influye en el clima al disminuir la temperatura ambiental y generar precipitaciones y vientos (Sánchez, 2018).

La curva de duración general se obtuvo a través del método racional teniendo en cuenta los cambios de uso del suelo para los años 2010 – 2022 para: La Palmira obtuvo un caudal de 50 l/s al 75% de probabilidad. Campana – Malacatos 40 l/s al 75% de probabilidad, Quinara con 300l/s al 75% de probabilidad. Vilcabamba con 250 l/s y La Era con 250 l/s al 75% de probabilidad. En cambio, Nero (2020), en su investigación “obtuvo en la elaboración de la curva de duración general para la microcuenca San Ignacio un valor de 0.19 m³/s con una probabilidad del 75% y para la microcuenca La Vega de 0.24 m³/s con una probabilidad del 75%”. De igual forma Cañar (2016), en su investigación “obtuvo un caudal de 0.68 m³/s con una probabilidad del 75%”

Los coeficientes de escorrentía tuvieron un cambio de 0.42 a 0.44 en las microcuenca La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara y Vilcabamba mientras que La Era obtuvo un coeficiente de 0.53 a 0.56. Por ende, su vegetación influyen directamente en la cantidad de agua que retiene un cuenca. Por ello la presencia de plantas en cualquier región del mundo es clave para el ciclo hidrológico en aspectos como almacenamiento de agua, liberación durante la evapotranspiración y condensación del punto de rocío. Todos estos elementos en interacción contribuyen al clima de una región (Ruiz y otros, 2011).

8. Conclusiones

- Se logró estimar la disponibilidad hídrica de las microcuencas, las cuales poseen un régimen pluviométrico bien definido, el periodo de lluvias comprende los meses de octubre a marzo, mientras que la ausencia de lluvias ocupa los meses de junio a septiembre. Los resultados obtenidos reflejan para el periodo 2010-2022 un coeficiente de escorrentía de: La Palmira, Campana-Malacatos, Quinara, Vilcabamba variaron 0.42 - 0.44; mientras que La Era varió entre 0.53 – 0.56. Por lo tanto, la cobertura vegetal influye significativamente en el coeficiente de escorrentía. La curva de duración general no presento variación, en condiciones del 75% de probabilidad se obtuvo un caudal de 50, 40, 250, 300 y 250 l/s para las microcuencas ya mencionadas respectivamente.
- Se realizó una propuesta de revegetalización en las zonas de estudio, basado en la conservación de suelo en la cual se espera resultados positivos como mejorar la capacidad de infiltración de las zonas sin cobertura vegetal, evitar deslizamientos, y reducir la pérdida del suelo por erosión, por tanto, los proyectos establecidos se podrán llevar a cabo según las necesidades de cada microcuenca.

9. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están dirigidas a todos los organismos e instituciones encargados del control y manejo del recurso hídrico en la provincia de Loja, así como a las instituciones encargadas de generar investigación, con la finalidad de mejorar la calidad de información y garantizar la confiabilidad de los estudios hidrometeorológicos.

- Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que se haga pública y actualizada toda la información generada de registros de datos para que de esta manera todas las investigaciones no se encuentren limitadas ni alteradas por el relleno de datos faltantes o años no publicados.
- Rehabilitar las estaciones limnimétricas de las microcuencas ya que los caudales son tema de mucha importancia en la gestión de los recursos hídricos, conjuntamente con la implementación de una red de piezómetros que permitan mantener el control de los niveles freáticos.
- Realizar reuniones con la junta de regantes y usuarios para dar a conocer las diferentes propuestas de manejo y conservación en las microcuencas de estudio.
- A la Universidad Nacional de Loja (UNL), institución encargada de generar investigación, profundice el estudio y la investigación de estos temas (Hidrología), para plantear propuestas y ejecutar proyectos de conservación basados en la revegetalización que garantice el futuro de los recursos hídricos.

10. Bibliografía

- Alonso, M., Montoso, J., Maqua, A., González, R., Sánchez, V., Fierro, Á., . . . Huete, V. (2014). *Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico* (Vol. IV). Madrid, España. Obtenido de https://oa.upm.es/55224/1/Guia_para_la_elaboracion_de_estudios_del_medio_fisico_2.pdf
- Ataroff, M. e. (2000). *Deforestation Impact on Water Dynamics in a Venezuelan Andean Cloud Forest*. Venezuela.
- Balairón Pérez, L. (2000). *Gestión de recursos hídricos*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Borzi, G. E. (2018). *Influencia de la actividad antrópica en la geohidrología de la Cuanca del Río Samborombón*. La Plata: CONICET.
- Caballero, N., García, E., Chaveco, O., Permuy, N., Bruzón, Y., & Serrano, A. (2011). *Claves para transformar fincas convencionales en agroecológicas diversificadas*. San José de Las Ljas-Cuba: INCA.
- Calder, I. (2003). *Assessing the water use of vegetation and forests-development of the Hyluc, Hydrological Land Use Change model*.
- Campos, A. (1992). *Carta Ambiental del Partido de General Pueyrredón*. Mar del Plata.
- Cango, D., & Herrera, J. (2012). *Plan de manejo del recurso hídrico de la microcuenca Mollepamba de la parroquia Nambacola, Catón Gonzanamá*. Loja - Ecuador: UNL.
- Cañar, A. (2016). *Análisis de la disponibilidad hídrica y demanda de agua, con fines de riego, en el sistema Camapana - Malacatos, utilizando los sistemas de informacion geográfica (SIG)*. Loja - Ecuador : UNL.
- Carabalí, J., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiyinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). *Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco*. Quito, Ecuador: VI. doi:<https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Carbone, M. E., García - Martínez, B., Marcovecho, J., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2013). *Impacto Antrópico en la calidad del agua superficial de la Cuenca Media del Arroyo Claromecó, Argentina*. La Rioja, Argentina.
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., & Balarezo, A. (2015). 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*, 81-90.
- Carrera, S., & Herencia, F. (2019). *Estimación caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales* (Vol. N° 24). Lima, Peru. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17282>
- Castañeda, N. (2001). *Técnicas y estructuras de conservación de suelos y agua*. Carillanca: INIA.
- Chereque, M. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil . En *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil* (pág. 223). Lima, Perú: CONCYTEC.

- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión* (Vol. Vol. 9(2)). Loja - Ecuador: latindex: Bosques Latitud Cero.
- CNRH. (2016). *Estado del Agua*. Quito. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/files/MEMORIA%20PLAN%20NACIONAL%20DEL%20AGUA.pdf>
- Cuenca, A. (2015). *Análisis de la disponibilidad Hídrica de la cuenca del río Catamayo, hasta la estación en PDTE. Vicin, con fines de aprovechamiento y conservación (tesis de Grado)*. Loja: Universidad Nacional de Loja,.
- Cuenca, C. (2015). *Analisis de la disponiblidad hídica de la cuenca del Río Catamayo*. Loja.
- Dourojeanni , A., Jouravlev , A., & Chávez, G. (2002). *Gestión de agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica*. Santiago de Chile.
- FAO. (2000). *Manejo del suelo en pequeñas fincas*. Italia-Roma: Boletín de suelos de la FAO 77.
- FAO. (2011). *Barreras vivas. Volección "Buenas prácticas"*. Guatemala: FAO/Unión Europea.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua lluvia*. Santiago - Chile: FIDA.
- FAO. (2015). *Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación*. Zaragoza - España.
- FAO. (2016). *Cercas vivas como fuente de alimento para el ganado y leña*. Guatemala. Obtenido de : <http://teca>.
- FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. Bogotá-Colombia.
- FAO. (2022). *Agricultura de Conservación*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- García, M., Sánchez, F., Marín , R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortés, G. (2014). El agua. En *El agua* (pág. 76). Colombia.
- Gaspar, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, I., & Besteiro, S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alata del río Sauce Grande, Buenos Aires* (Vol. VII). La Plata, Argentina.
- Gaspari, F., Senisterra, G., & Marlats, R. (2007). *Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano deLa Ventana, Argentina*. La Ventana, Argentina.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A., & Besteiro, S. (2009). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. La Plata.
- Gaviria, C. (2018). *Regionalización de Curvas de Duración de Caudales en Colombia*. Medellín, Colombia: Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente.
- Gerten, D., Schaphoff, S., Haberlandt, U., Lucht, W., & Sitch, S. (2004). Terrestrial vegetation and water balance - Hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology*.

- Gómez Alzate, L. (2019). *Análisis de parámetros morfométricos, morfología fluvial y relación de la cobertura vegetal con los movimientos en masa de la cuenca del Río Supía*. Manizales, Colombia.
- González González, A., Álvarez-Figueroa, P., González Fuertes, M., & Aguirre-Mendoza, Z. (Diciembre de 2016). Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo, Ecuador. *CEDAMAZ*, VI, 10.
- González, J. (2013). *Estudio hidrológico a las microcuencas del Río Malacatos y las Quebradas Amanda, Mónica y Santa Urcu para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Loja*. Loja - Ecuador: UNL.
- González, M. (2014). *Análisis de los coeficientes de escorrentía y su relación con el cambio de cobertura vegetal de la cuenca Superior del Río Catamayo*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Quito - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Hernández, H., Fernández, & Baptista. (2012). *Metodología de la Investigación*. México.
- Hernández, R., Fernades, C., & Bastista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico: ISBN.
- IDEAM. (2012). *Intituto de Hidrología y Estudios Ambientales*. Bogota Colombia .
Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra?fbclid=IwAR2Fy1cYbTfqDtUq_H7Z_Siz-h67ygDlmFaxSAhHXFnz99HVHvz-1SZrJcs
- IDEAM. (2013). *Estudio Regional del Agua*. Bogotá, Colombia.
- Idrovo, B., González, I., & Guerrero, O. (Enero de 2021). Efecto del cambio del uso del suelo en la producción y retención de sedimentos: Caso de una cuenca hidrográfica de montaña . *GEOESPACIAL*, 13.
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2008). *mpactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular*. Valencia - España: Ciudad de las Artes y las Ciencias.
- IICA. (2012). *Obras de conservacion de suelos y agua en laderas*. Nicaragua. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11847>
- Juan, O. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Lima - Perú.
- Llambí, L., Soto, A., Célleri, R., Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología hidrología y suelo de páramos*. Venezuela: CONDESAN.
- López, E., & Mendoza, M. (2010). *Cobertura Vegetal y Uso del Terreno*. Mexico.
Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281494041_Cobertura_Vegetal_y_Uso_del_Terreno
- Luna, Á. (2017). *Plabeación de los recursos hídricos con fines de riego, en el sistema La Era utilizando los sistemas de información geográfica (SIG)*. Loja - Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Maldonado, P. (2017). *Análisis de la disponibilidad y demanda hídrica en el sistema de riego Paquishapa*. Loja, Ecuador.

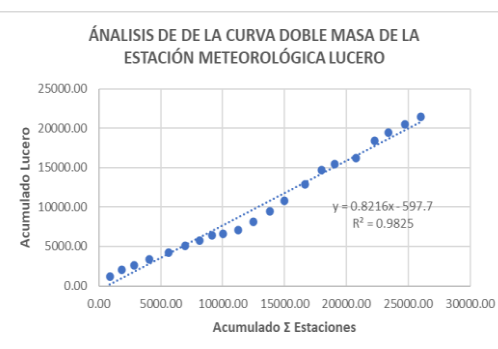
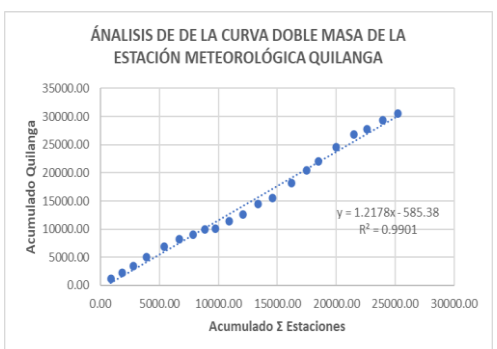
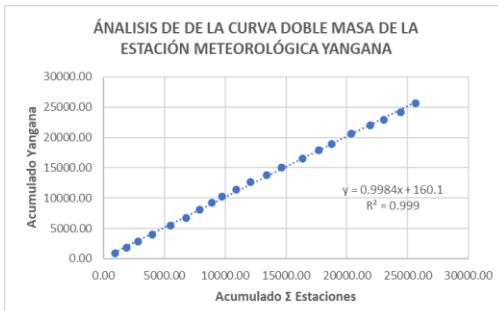
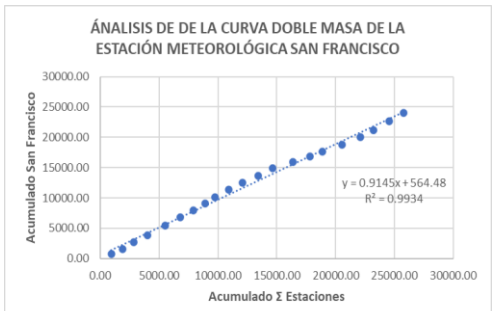
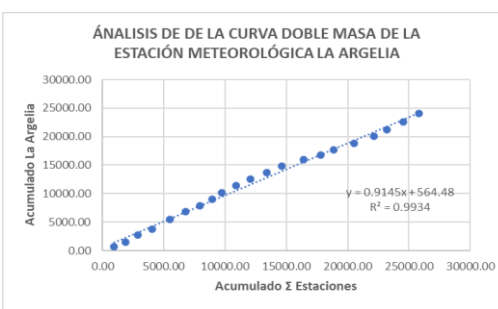
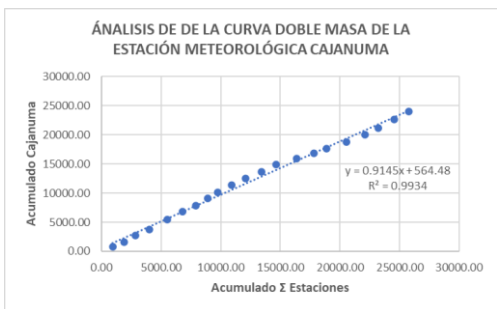
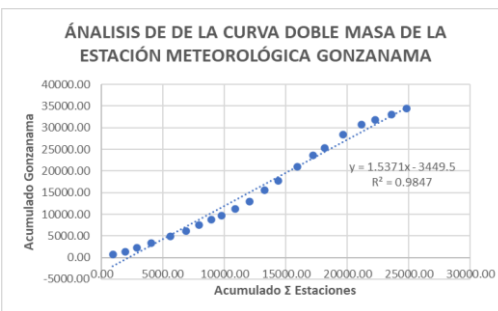
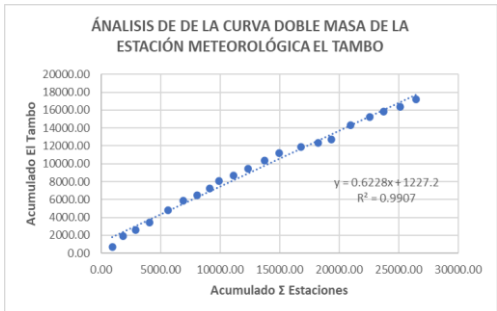
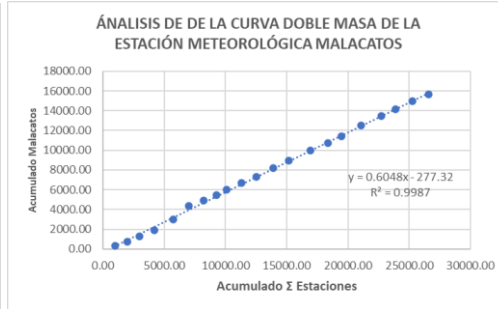
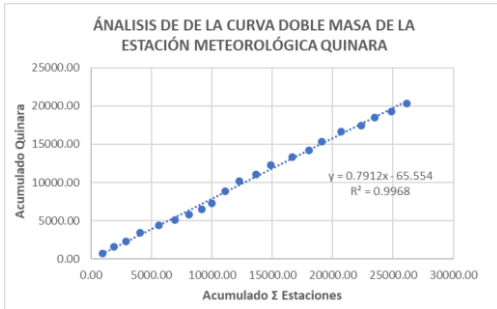
- Martínez de Azarga, Á., Pando, V., & Navarro, J. (2006). *Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis dimensional*. Madrid: Campus La Yutera.
- Matus Silva, O. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Turrialba.
- Mejía, D. (2009). *Variabilidad temporal y espacial de la calidad y cantidad de agua en la Cuenca del Río San Francisco*. Loja - Ecuador.
- MIP. (2004). *Manual de Trazado de Curvas a Nivel*. Nicaragua, Nicaragua.
- Neiff, J. J. (2004). *Bosques Fluviales de la Cuenca Del Paraná*. Corrientes - Argentina : CECOAL.
- Nero, L. (2020). *Estimación de la disponibilidad y demanda hídrica en la parroquia Sacalca para su aprovechamiento en el suministro de agua*. Loja - Ecuador: UNL.
- Núñez, S. (2001). Manejo y conservación de suelos. En S. Núñez, *Manejo y conservación de suelos*. (pág. 263). San José, Costa Rica: EUNED.
- Osuna, A. K., Días, J. J., Sánchez, J. A., Villegas, E., Gallardo, E., & Dávila, G. (2015). *Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010*. Veracruz, México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.
- PDOT Loja. (2018). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL LOJA. En *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL LOJA*. Loja.
- Perona, E., Bonilla, I., & Mateo, P. (1999). *Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish river. The Science of the Total Environment*.
- Philco, C. (2016). *Características fisiográficas y morfométricas de la cuenca hidrográfica del Río Chone como aporte a la gestión integral de los recursos hídricos*. Manabí.
- Pilgrim, D., & Cordery. (1993). *Flood runoff*. In: Maidment, D. R. (ed). *Handbook of Hydrology*. New York, U.S.A.
- Ponce Correa, S. (2014). *Guía Explicativa de la Temática de Cobertura y Uso del suelo*. Obtenido de <https://docplayer.es/29006986-Guia-explicativa-de-la-tematica-de-cobertura-y-uso-del-suelo.html>
- PRICA. (2016). *Buenas prácticas para el desarrollo de agricultura sostenible y afrontar el cambio climático*. Panamá.
- Robredo, J. (2012). *Un método para la estimación de caudales continuos en pequeñas cuencas de montaña*. *Ecología*, (Vol. N° 24). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/>
- Rocha, F. A. (2009). *El Agua Virtual y la Huella Hídrica en el siglo XXI*. Perú.
- Rodgers, K. P., & Roberto, C. (1978). *Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: un modelo para planificación y análisis integrados*.

- Rojas, L. (2001). *La Labranza mínima como práctica de producción sostenible*. Costa Rica: MESOAMERICA.
- SAG. (2012). *Conservación de suelos*. Honduras.
- Sánchez, C. A. (2016). *Formulación de una propuesta de revegetalización preventiva con especies forestales nativas Euritípicas a partir del uso de la f(filtros) en la caracterización del régimen pulsátil del río Bogotá en su cuenca urbana*. Bogotá - Colombia.
- Sánchez, F. D., García, M., Jaramillo, O., & Verdugo, N. (2010). *Agua Superficial, Caracterización y Análisis de la Oferta*.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). (1978). *Recomendaciones para el Diseño y Revisión de Estructuras para el Control de Avenidas*. México.
- Schawe, M. e. (2008). *Hydrometeorologic patterns in relation to montane forest types along an elevational gradient in the Yungas*. Bolivia.
- SEDESOL. (2010). *Manual Práctico Conservación de Suelos*. Mexico: INDESOL.
- SEMARNAT. (2015). *Suelos, Bases para su manejo y conservación*. D.f México.
- Serrano, D., & Galarraga, R. (2015). *El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento*. . ISSN.
- Silva Medina, G. (2015). *La curva de duración de caudales e hidrología básica*.
- Strahler, A. (1964). *Geomorfología cuantitativa de cuencas de drenaje y redes de canales; Manual de hidrología aplicada*. Nueva York.
- Valdivieso, A. (2012). *Cuenca hidrográfica de un río*. Santiago.
- Valencia, R., Serrano, D., & Galárraga, R. (2013). *Cambios de uso del suelo en la cuenca alto andinas y consecuencias en la oferta hídica. Caso de estudio microcuenca del río Blanco, páramo del Nevado Cayambe, Ecuador*. Quito-Ecuador.
- Vallejos, E., Benavides, A., Moreno, N., & Gonzalez, S. (2017). *Bosques Andinos: Estado actual y retos para su conservación en Antioquia*. Medellín - Colombia: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe.
- Villarcres Carrera, D. V. (2011). *Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehuala, San Luis Potosí*. Texcoco, MÉXICO. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/325094136>
- Villegas, C. (2011). *Determinación de curvas de duración de caudal para cuencas intermitentes*. Bogotá, Colombia.
- Villón, M. (2011). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Volonté, A. (2017). *Geomorfología Fluvial Aplicada al Peligro de Crecidas. Cuenca del Arroyo San Bernardo, Sistema de Vemtania*. Bahía Blanca, ARGENTINA: Universidad Nacional del Sur.

11. Anexos

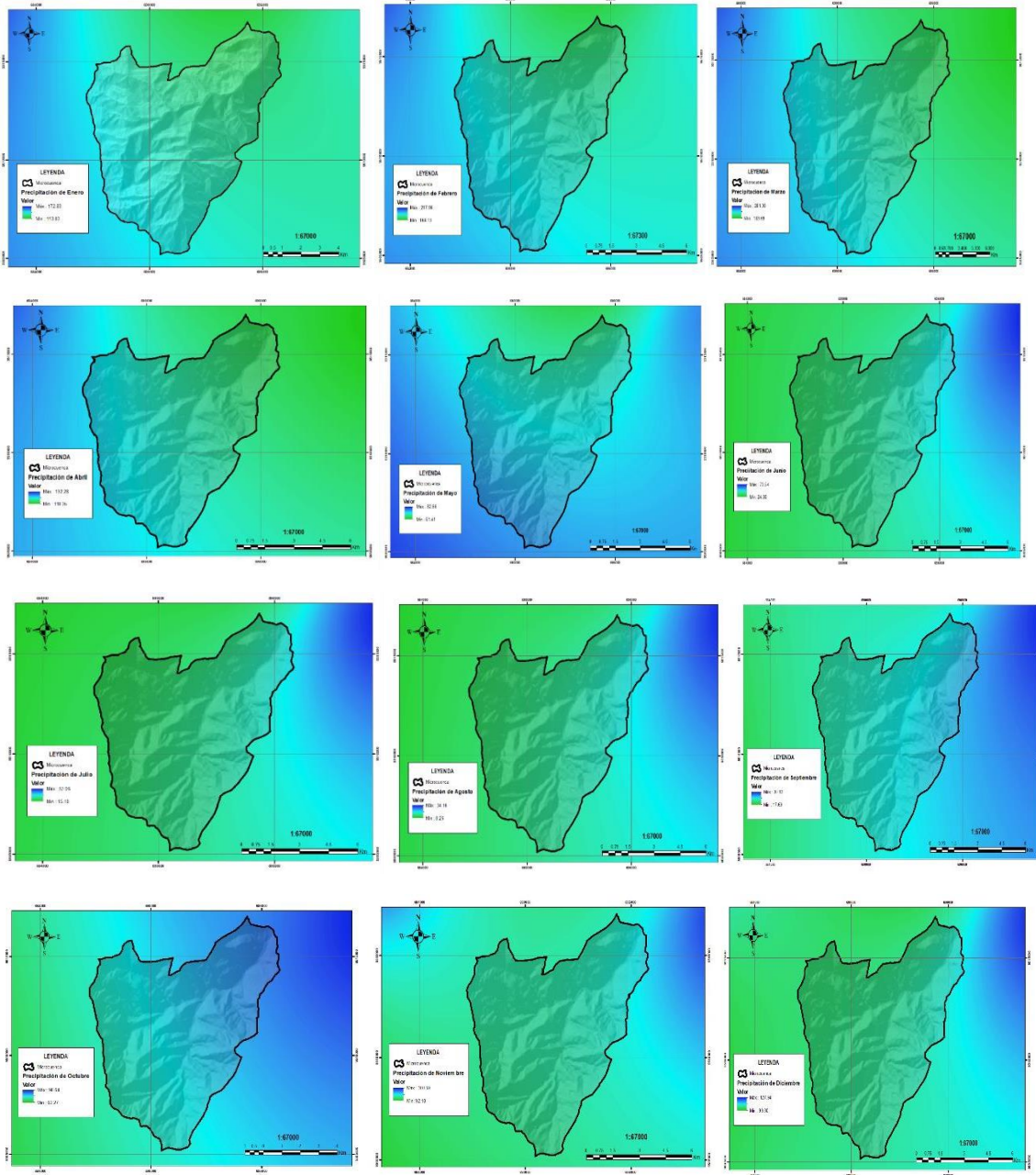
Anexo 1.

Análisis de consistencia de datos de las Estaciones Meteorológicas



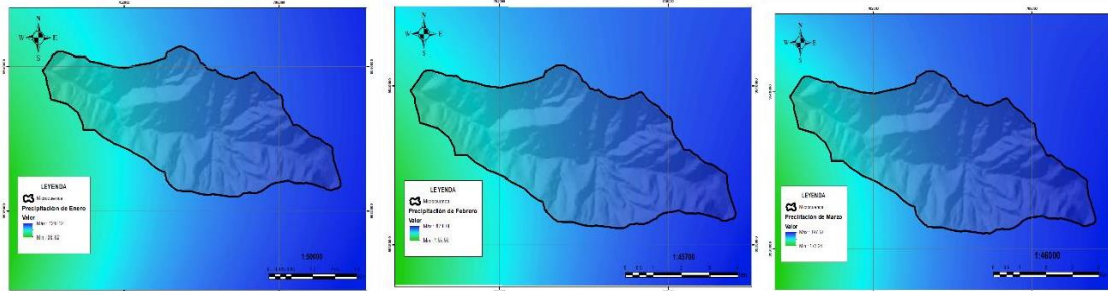
Anexo 2.

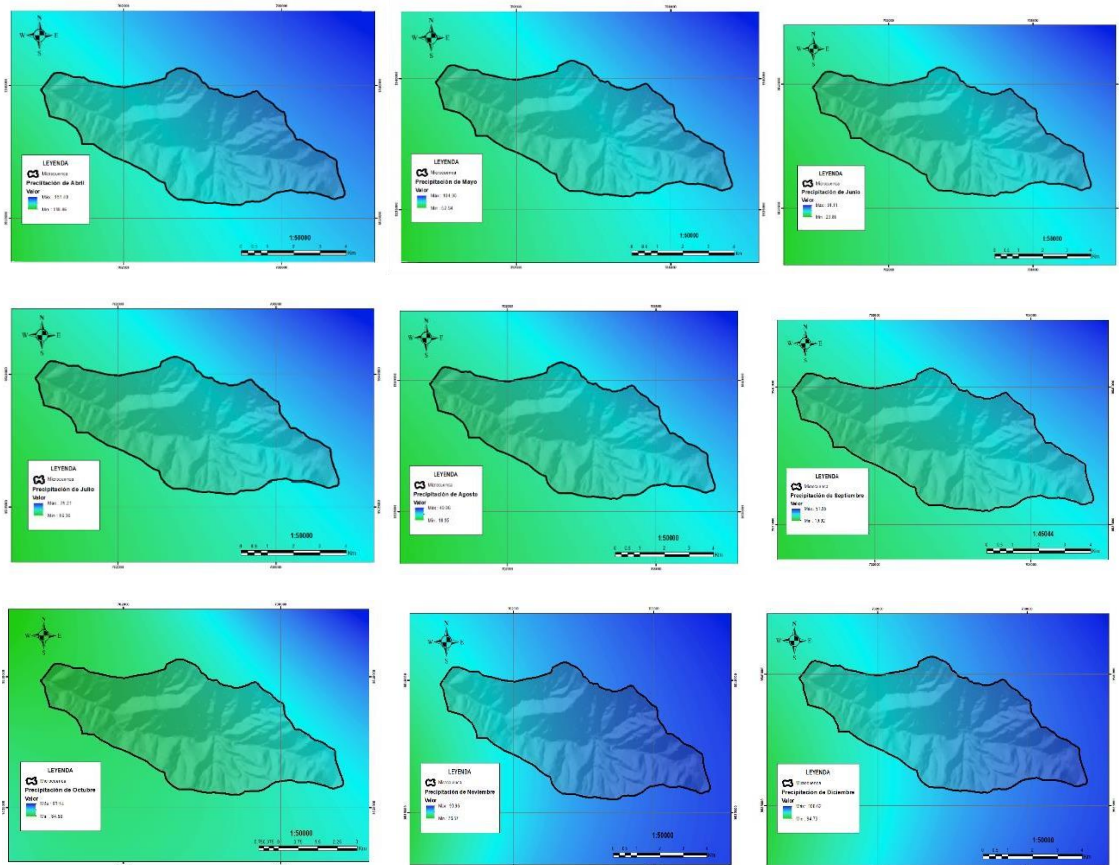
Mapas de precipitación media de la microcuenca La Palmira



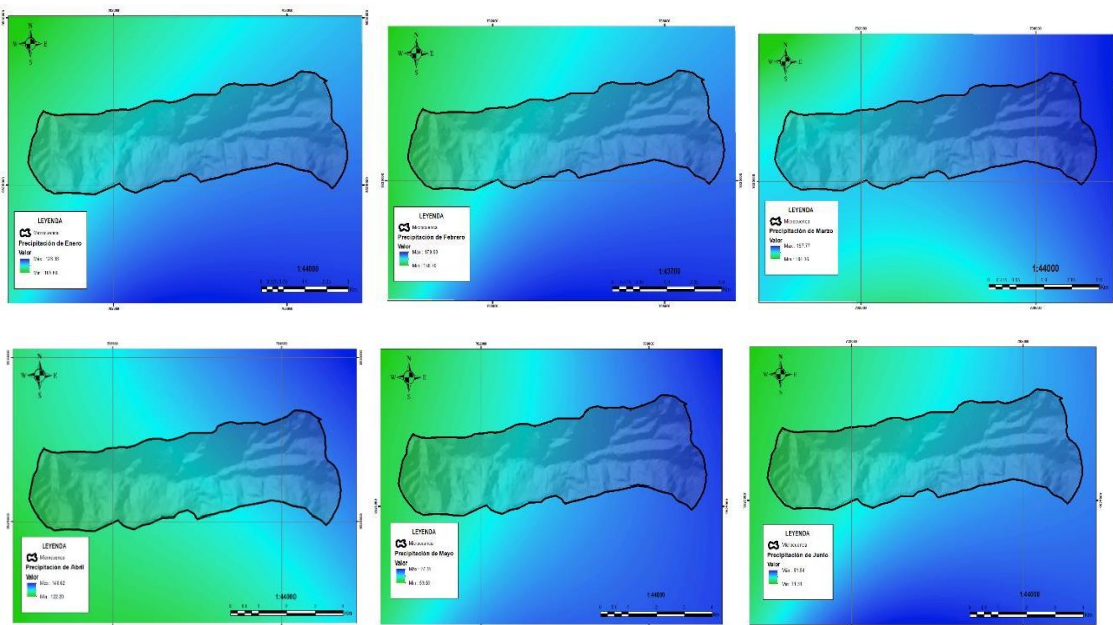
Anexo 3.

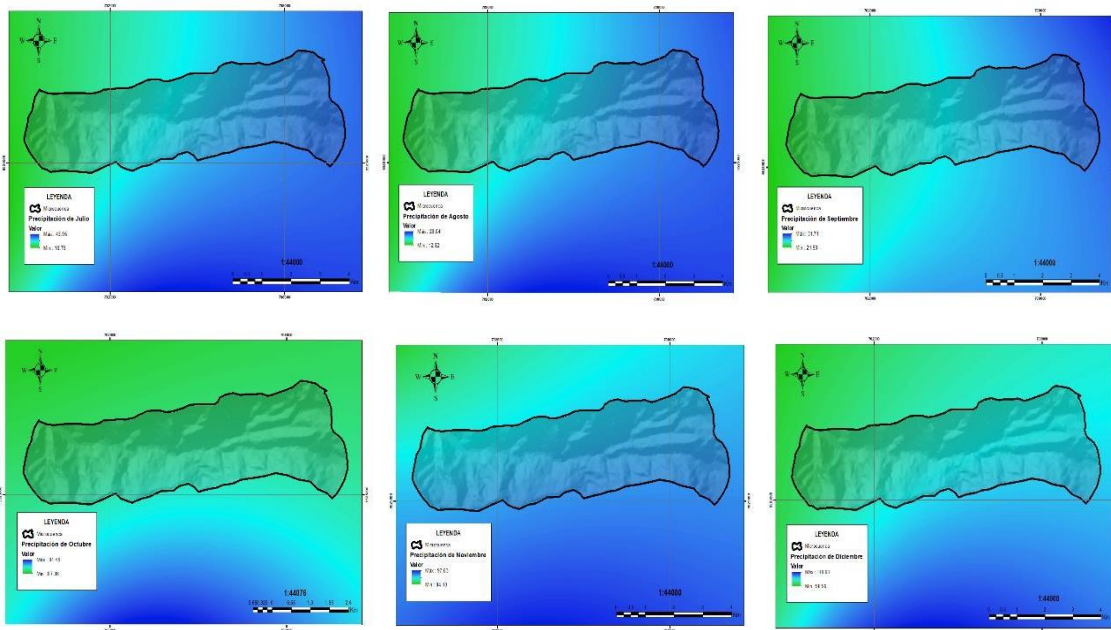
Mapas de precipitación media de la microcuenca Campana-Malacatos



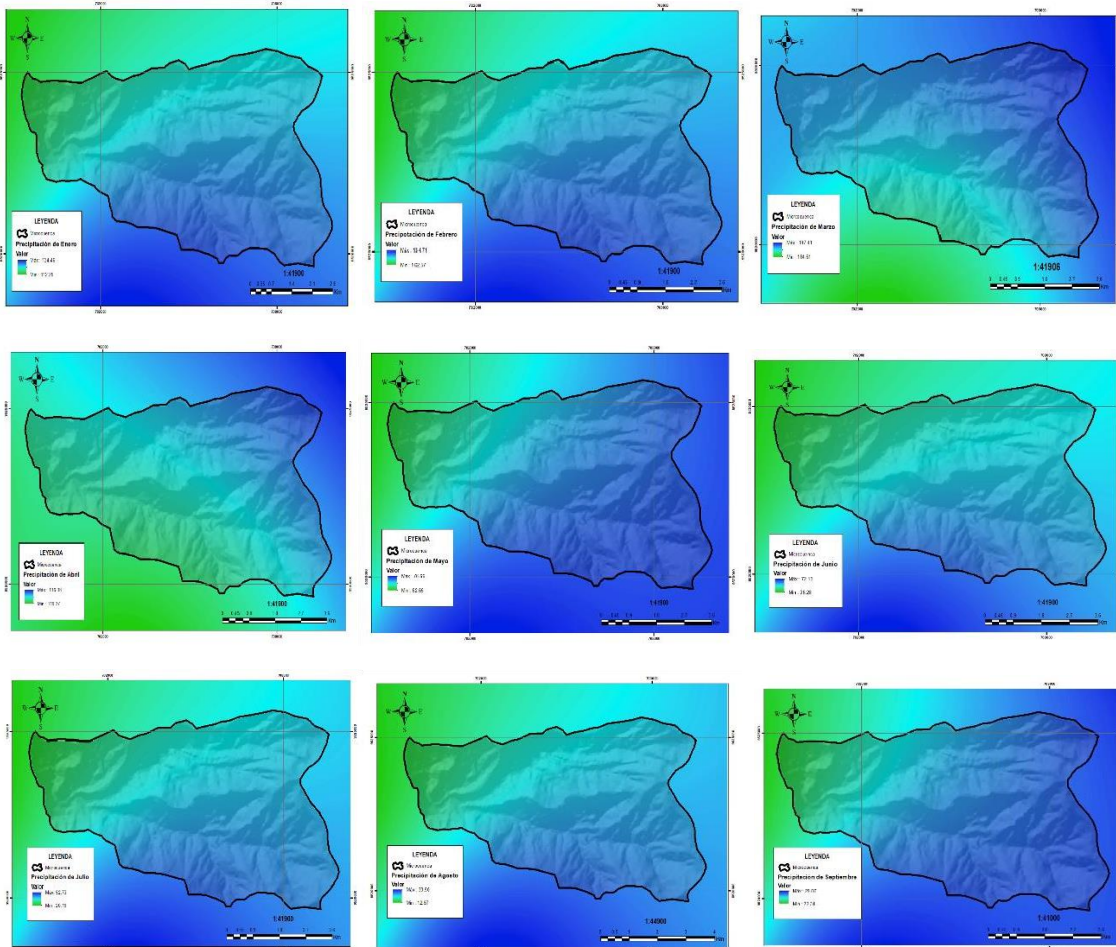


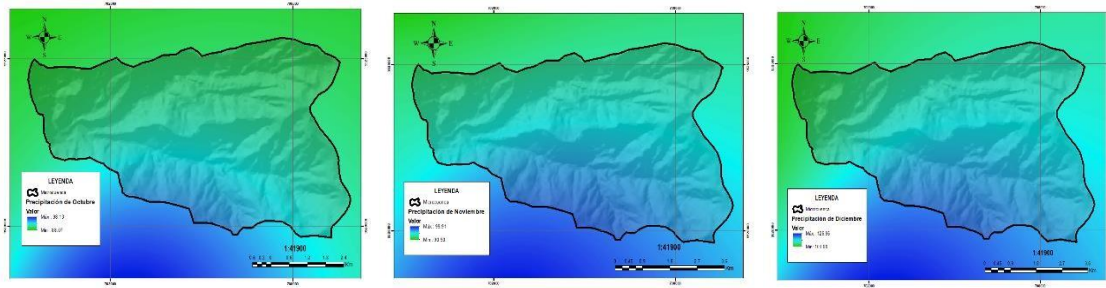
Anexo 4.
Mapas de precipitación media de la microcuenca Vilcabamba



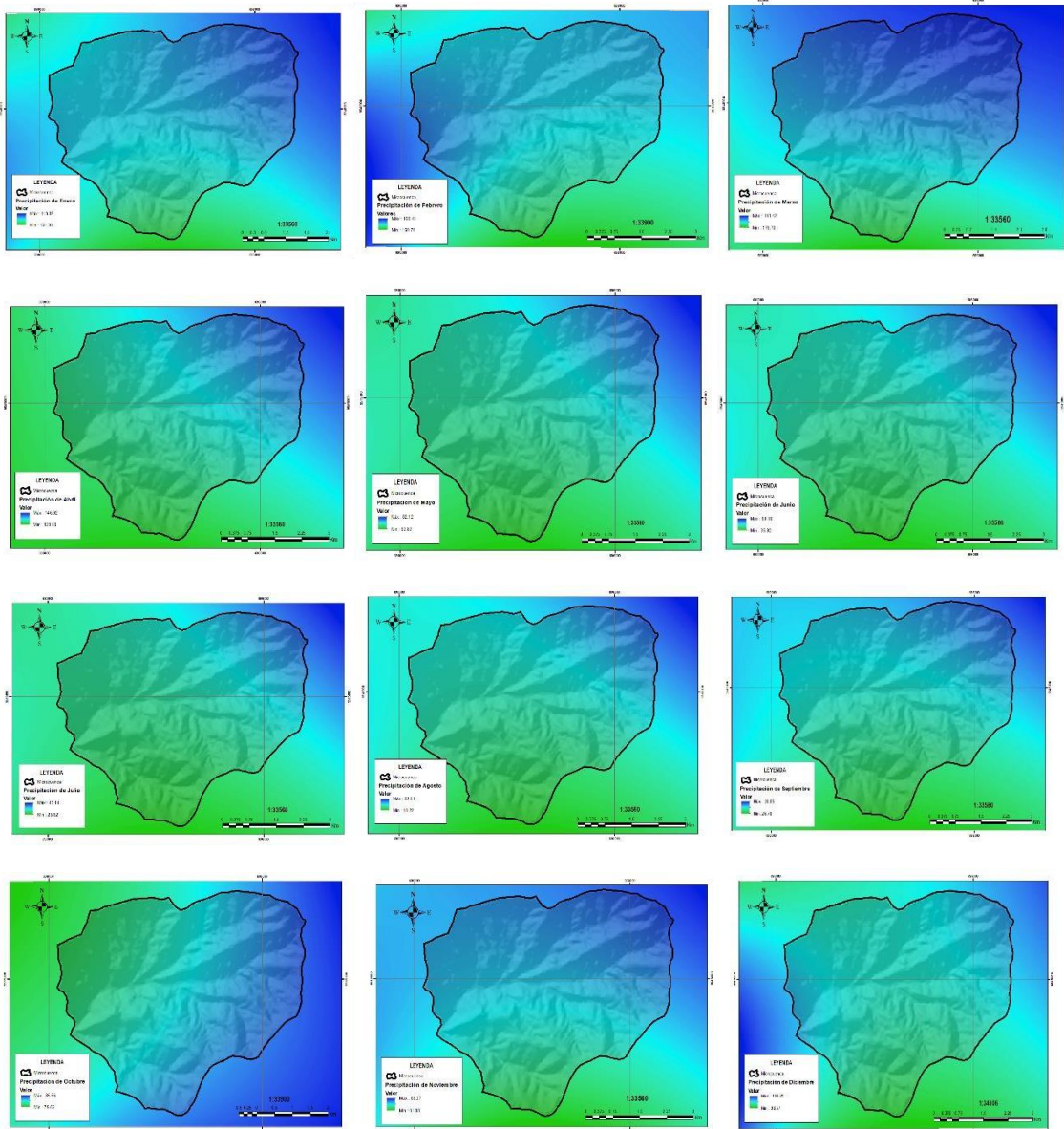


Anexo 5.
Mapas de precipitación media de la microcuenca Quinara

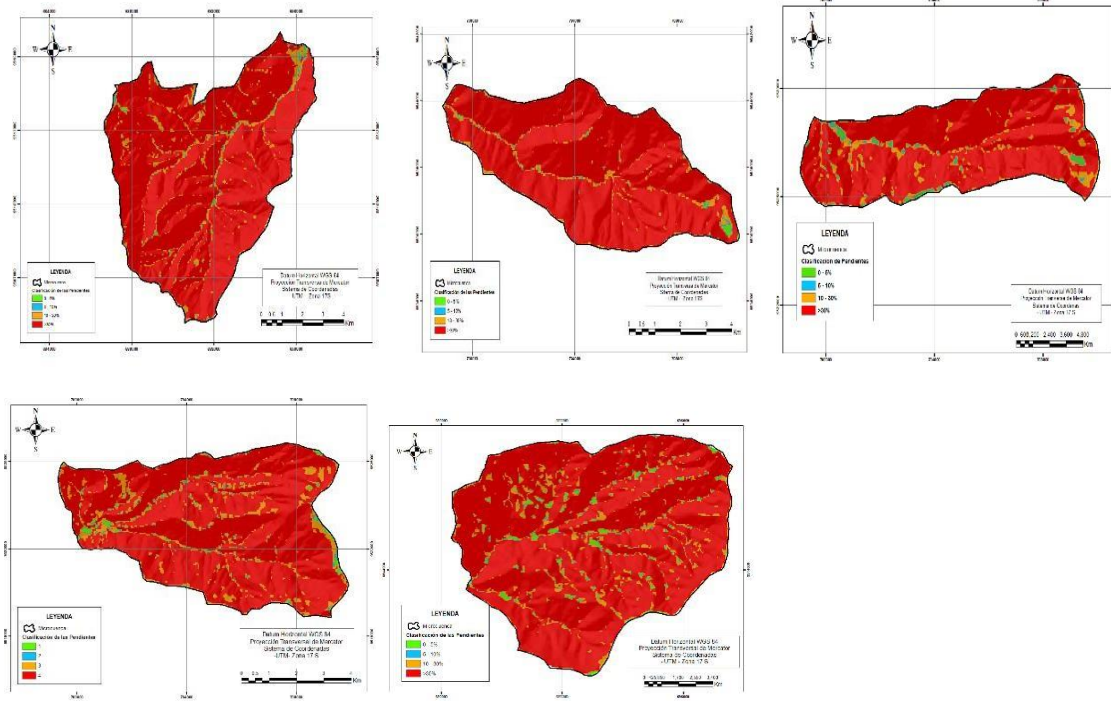




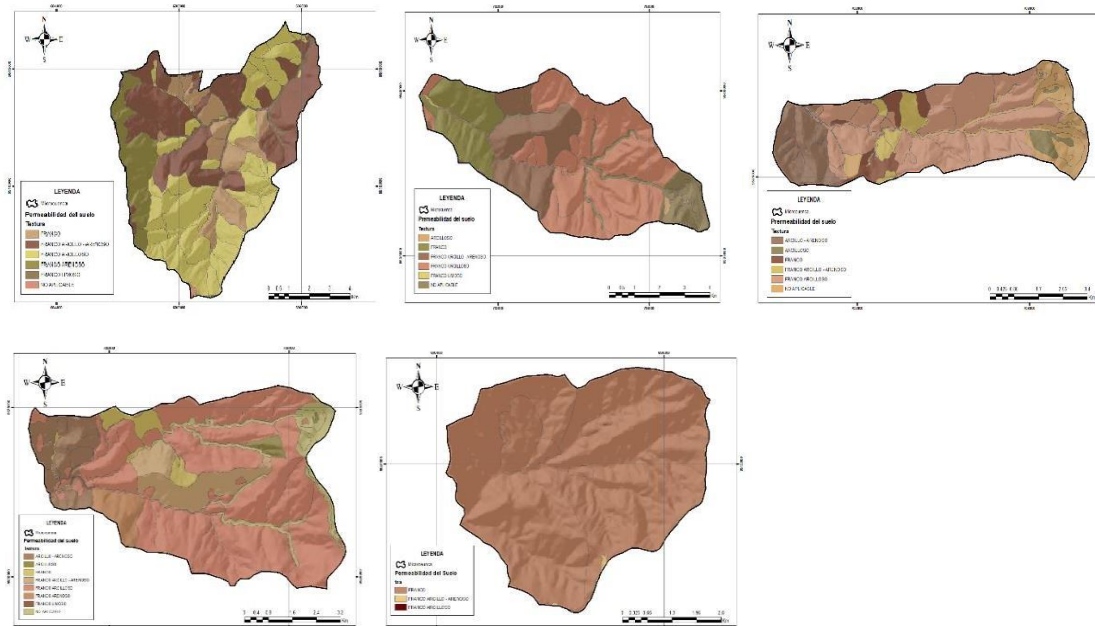
Anexo 6.
Mapas de precipitación media de la microcuenca La Era



Anexo 7.
Mapas de pendiente de las microcuencas de estudio



Anexo 8.
Mapas de textura de las microcuencas de estudio



Anexo 9.

Certificación de traducción Abstract

Certificación de Traducción

Yo Raymond Dpol Toledo Saetama, licenciado en Ciencias de la Educación Mención Inglés, registro Nro. 1031-2021-2284613 certifico:

Que el resumen de; trabajo de titulación titulado "Análisis de la disponibilidad hídrica de las microcuencas, de generación de agua para los sistemas de riego de la cuenca superior del río Catamayo y su relación con los cambios de uso del suelo ocurridos" de autoría Erika Elizabeth Moreno Medina, con cédula de ciudadanía 1150309662, es fiel traducción al idioma inglés a mi saber y entender.

Lo certifico en honor a la verdad pudiendo el interesado hacer uso de este documento como estime conveniente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Raymond Toledo Saetama', written over a horizontal line.

Lcdo. Raymond Toledo Saetama

Cdla: 1900772847