



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título

Determinación de la oferta hídrica en las microcuencas de los ríos
Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, en la Provincia de
Chimborazo

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autor:

Jaya Jaya Vanessa del Pilar

Rodriguez Hidalgo Esperanza Guillermina

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

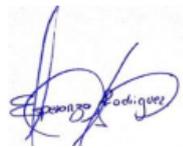
Nosotras, Vanessa del Pilar Jaya Jaya, Esperanza Guillermina Rodríguez Hidalgo, con cédula de ciudadanía 1804831947, 0605312412, autoras del trabajo de investigación titulado: **Determinación de la oferta hídrica en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, en la Provincia de Chimborazo**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 20 de abril del 2023.



Vanessa del Pilar Jaya Jaya
C.I: 1804831947



Esperanza Rodríguez Hidalgo
C.I: 0605312412

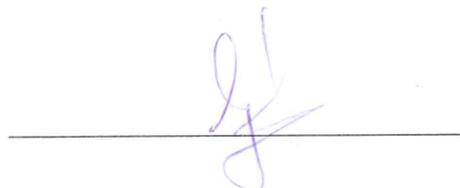
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Determinación de la oferta hídrica en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, en la provincia de Chimborazo”, presentado por Vanessa del Pilar Jaya Jaya, cédula de ciudadanía 1804831947 y Esperanza Guillermina Rodríguez Hidalgo, con cédula de ciudadanía 0605312412, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 20 de abril del 2023.

Mgs. Patricio Santillán L.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



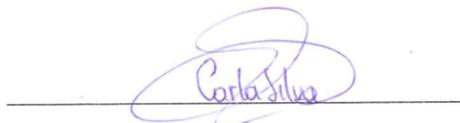
Dra. Anita Ríos Rivera

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



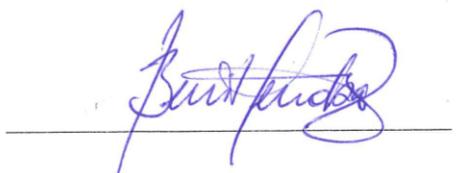
Mgs. Carla Silva P.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD Benito Mendoza T.

TUTOR



DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la fuerza para no rendirme y permitir que a alcanzar esta meta y objetivo propuesto.

A mi familia, los pilares fundamentales de mi vida mami, quienes siempre estuvieron presentes en mis triunfos y derrotas, en mis días de felicidad y también de tristeza, sin su apoyo no estaría cumpliendo este sueño, quiero que sepan que todo el sacrificio que han hecho por mi ha valido la pena.

Esperanza Rodríguez Hidalgo

Dedico esta tesis en primer lugar a mi madre Gloria Francisca Jaya y mi hermano Juan Javier Jaya, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicionalmente tanto en la parte moral y económica para la obtención de este preciado título en Ingeniería Ambiental. A todas las personas que me ayudaron a seguir desarrollando mi tesis en el transcurso de este tiempo por compartir sus conocimientos para que este trabajo se realice de mejor manera.

Vanessa Jaya Jaya

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por las bendiciones recibidas en lo largo de este camino llamado vida, a mi madre y hermano por el apoyo incondicional en este proceso, para el logro de aquel anhelado objetivo.

A los docentes y técnicos laboratoristas de la Carrera de Ingeniería Ambiental, en especial a mi compañero Carlos Maldonado por compartir sus conocimientos los cuales supieron guiarme para la realización de este trabajo de investigación. Aquellos que llegaron a establecer un sentimiento más que la amistad.

Vanessa Jaya Jaya

Agradezco a:

Dios por permitirme llegar a esta instancia de mi vida y guiarme por un buen camino.

Mi familia por ser quienes me han apoyado siempre de una u otra manera a lo largo de todos estos años.

La Universidad nacional de Chimborazo por abrirnos sus puertas y formarnos como profesionales.

Docentes, técnicos de laboratorio y amigos que hicieron este trayecto toda una aventura llena de conocimientos.

Esperanza Rodríguez Hidalgo

Índice General

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
INDICE GENERAL.....	
INDICE DE TABLAS.....	
INDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	14
Antecedentes	14
Planteamiento del Problema.....	15
Justificación.....	15
OBJETIVOS.....	16
General.....	16
Específicos	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
Estado del arte	16
Marco teórico	17
Cuenca hidrográfica.....	17
Geomorfología de la cuenca	17
Características Físicas de las Cuencas	17
Área de la cuenca (A)	17
Perímetro de la cuenca (P).....	17
Índice de compacidad (Ic)	18
Factor de forma (Ff)	18
Relación de Elongación (Re).....	18
Relación de Circulación (Rci)	18
Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca	19
Componentes de la red de drenaje.....	19
Densidad de drenaje (Dd).....	19
La pendiente media (Sm).....	19
Sistema de información geográfica.....	19
Sistemas de teledetección	20
Porosidad del suelo	20
Absoluta	20
Efectiva.....	20
Relativa.....	20
Capacidad de infiltración	20
Método número de curva	20
Cálculo del número de curva (CN).....	20
Mínima distancia	22

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	22
Tipo de investigación	22
Diseño de Investigación	23
Técnicas de recolección de Datos	23
Población de estudio y tamaño de muestra	23
Población.....	23
Muestra	23
Métodos de análisis	24
Procesamiento de datos	24
FASE 1	25
Establecer el uso de suelo y cobertura vegetal	25
Identificación de los puntos de muestreo	25
FASE 2	26
Obtención de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.....	26
Determinación de parámetros geomorfológicos	26
Análisis in situ.....	26
Análisis ex situ.....	26
FASE 3.....	28
Determinar la capacidad de campo (CN)	28
Calculo y asignación de numero de curva (CN)	28
Capacidad de campo o potencial máximo de retención (S)	28
Modelación para obtener la relación de precipitación – escorrentía	28
Pérdidas o abstracciones.....	29
Circulación de la lluvia efectiva a través de la microcuenca	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Parámetros geomorfológicos de las microcuencas Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.....	29
Parámetros hidráulicos en la microcuenca Ishpi	33
Análisis de textura M.R.I.....	33
Cálculo de la porosidad M.R.I.....	34
Cálculo de Materia Orgánica M.R.I.....	34
Cálculo de Permeabilidad M.R.I.....	35
Capacidad de infiltración M.R.I.....	35
Parámetros hidráulicos en la microcuenca Daldal	36
Análisis de textura M.R.D	36
Cálculo de la porosidad M.R.D.....	36
Cálculo de Materia Orgánica M.R.D	37
Cálculo de Permeabilidad M.R.D.....	37
Capacidad de infiltración M.R.D	38
Parámetros hidráulicos en la microcuenca Uldán	38
Análisis de textura M.R.U	38
Cálculo de la porosidad M.R.U.....	39
Cálculo de Materia Orgánica M.R.U	39

Cálculo de Permeabilidad M.R.U	40
Capacidad de infiltración M.R.U	40
Parámetros hidráulicos en la Quebrada Cachipata	41
Análisis de textura Q.C	41
Cálculo de la porosidad Q.C	41
Cálculo de Materia Orgánica Q.C.....	41
Cálculo de Permeabilidad Q.C.....	42
Capacidad de infiltración Q.C.....	42
Capacidad de campo de las microcuencas del río Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.....	43
Modelación para obtener la relación precipitación - escorrentía	44
Relación precipitación – escorrentía M.R.I	44
Relación precipitación – escorrentía M.R.D.....	45
Relación precipitación – escorrentía M.R.U.....	45
Relación precipitación – escorrentía Q.C.	46
Curva de duración de M.R.I.....	47
Curva de duración de M.R.D	47
Curva de duración de M.R.U	48
Curva de duración de Q.C.....	48
Oferta hídrica para la M.R.I	48
Oferta hídrica para la M.R.D.....	50
Oferta hídrica para la M.R.U.....	51
Oferta hídrica para la Q. C.	52
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	53
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS.....	60
Anexo 1.-Números de curva de escorrentía según su cobertura	60
Anexo 2. Asignación numérica general para texturas de acuerdo con el tipo de suelo ...	62
Anexo 3. Modelo relación escorrentía 2001 – 2021	62
Anexo 4. Parámetros hidráulicos	65
Anexo 5. Concesiones de uso de agua para la provincia de Chimborazo.....	70
Anexo 6. Anexo fotográfico.....	73

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata	23
Tabla 2. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas del río Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.....	30
Tabla 3. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Ishpi.....	33
Tabla 4. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Daldal	36
Tabla 5. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Uldán.....	38
Tabla 6. Validación numérica textural de la cuenca de la Quebrada Cachipata.....	41
Tabla 7. Asignación de HSG y CN para las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.....	43
Tabla 8. Oferta hídrica M.R.I	49
Tabla 9. Oferta hídrica M.R.D.....	50
Tabla 10. Oferta hídrica M.R.U.....	51
Tabla 11. Oferta hídrica Q.C	52
Tabla 12. Número de curva según la cobertura de pastizales áridos y semiáridos.....	60
Tabla 13. Número de curva para la escorrentía	61
Tabla 14. Clase textural	62
Tabla 15. Parámetros hidráulicos de la M.R.I	65
Tabla 16. Parámetros hidráulicos de la M.R.D.....	66
Tabla 17. Parámetros hidráulicos de la M.R.U.....	67
Tabla 18. Parámetros hidráulicos de la Q.C.	68
Tabla 19. Uso y caudal de las concesiones para la M.R.I	70
Tabla 20. Uso y caudal de las concesiones para la M.R.D.....	70
Tabla 21. Uso y caudal de las concesiones para la M.R.U.....	71
Tabla 22. Uso y caudal de las concesiones para la Q.C	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1. Curva Hipsométrica del río Ishpi	31
Gráfico 2. Curva Hipsométrica del río Daldal.....	32
Gráfico 3. Curva Hipsométrica del río Uldán.....	32
Gráfico 4. Curva Hipsométrica de la Quebrada Cachipata.....	33
Gráfico 5. Porcentaje de porosidad de acuerdo con la cobertura vegetal de la M.R.I.....	34
Gráfico 6. Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de M.R.I	34
Gráfico 7. Permeabilidad según la cobertura vegetal de M.R.I.....	35
Gráfico 8. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.I.....	35
Gráfico 9. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de M.R.D.....	36
Gráfico 10. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de M.R.D.....	37
Gráfico 11. Permeabilidad según la cobertura vegetal de M.R.D	37
Gráfico 12. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.D.....	38
Gráfico 13. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de M. R.U.....	39
Gráfico 14. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de M.R.U.....	39
Gráfico 15. Permeabilidad según cobertura vegetal de M.R.U	40
Gráfico 16. Capacidad de infiltración según cobertura vegetal en la M.R.U.....	40
Gráfico 17. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de Q.C	41
Gráfico 18. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de Q.C	42
Gráfico 19. Permeabilidad según cobertura vegetal de Q.C.....	42
Gráfico 20. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal de Q.C.	43
Gráfico 21. Relación precipitación - escorrentía año 1981 al 2021 M.R.I.....	45
Gráfico 22. Relación precipitación – escorrentía año 1981 al 2021 M.R.D.....	45
Gráfico 23. Relación precipitación - escorrentía año 1981 al 2021 M.R.U	46
Gráfico 24. Relación precipitación – escorrentía año 1981 al 2021 Q.C.	46
Gráfico 25. Curva de duración M.R.I.....	47
Gráfico 26. Curva de duración M.R.D	47
Gráfico 27. Curva de duración M.R.U	48
Gráfico 28. Curva de duración Q.C.....	48
Gráfico 29. Relación precipitación escorrentía (S1, 2001 – 2021) de la M.R.I.....	62
Gráfico 30. Relación precipitación escorrentía (S1, 2001 – 2021) de la M.R.U.....	63
Gráfico 31. Relación precipitación escorrentía (S2, 2001 – 2021) de la M.R.U.....	63
Gráfico 32. Relación precipitación escorrentía (S3, 2001 – 2021) de la M.R.U.....	64
Gráfico 33. Relación precipitación escorrentía (S1, 2001 – 2021) de la M.R.D.....	64

RESUMEN

Las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata localizadas en la subcuenca del río Chambo, en el cantón Chambo y al sur este del cantón Riobamba. Las microcuencas juegan un papel importante dentro del ciclo hidrológico del sector, al estar localizadas en un lugar de alta demanda agrícola y ganadera, por lo que, es primordial conocer la información de caudales para que proyectos de riego se puedan efectuar de la mejor manera de ser el caso. En contexto, no existen estudios sobre la oferta y demanda hídrica, ya que, las microcuencas no cuentan con estaciones hidrológicas que midan caudales en tiempo real. Por tanto, esta falta de datos hidrometeorológicos observados obliga a usar modelos hidrológicos, para obtener aproximaciones matemáticas, para conocer la cantidad de agua que ofrece esta área de la subcuenca del río Chambo, permitiendo diseñar proyectos sostenibles y sustentables que no afecten al caudal de estas cuencas.

Por tal motivo, esta investigación tiene como fin determinar la oferta hídrica para las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, mediante el método precipitación-escorrentía, además realizando análisis de capacidad de campo y la geomorfología de las microcuencas, para lo cual, se estableció puntos de demuestro en lugares estratégicos dependiendo de la cobertura vegetal y taxonomía del suelo usando SIGs.

Los análisis de parámetros hidráulicos nos indicaron porcentajes de porosidad, materia orgánica, coeficiente de permeabilidad, capacidad de infiltración y la textura de 5 coberturas vegetales (páramo, pastizal, vegetación herbáceo-arbustiva y cultivo). Según los resultados, se evidencia que el desgaste del suelo es por las actividades antrópicas realizadas en la zona, principalmente el avance de la frontera agrícola y sobrepastoreo.

Una vez obtenidos los parámetros descritos se procede a la modelación matemática en el programa HEC-HMS, aplicando el SCS método número de curva, usando datos de precipitación diaria, evapotranspiración media mensual, temperaturas diarias, además, resultado geomorfológicos como el umbral de escorrentía, tiempo de retardo y número de curva, en un lapso de 20 años, obteniendo valores de caudal diarios desde 1981-2021.

Realizado el modelo precipitación-escorrentía los valores para la microcuenca del río Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata son de 0,382 m³/s, 0,68 m³/s, 1,044 m³/s y 0,276 m³/s respectivamente. La oferta hídrica de las microcuencas brinda la posibilidad, que una parte de su caudal sea aprovechado para satisfacer las necesidades de la población, siempre y cuando se dé un uso adecuado del recurso.

Palabras claves: microcuencas, precipitación – escorrentía, oferta hídrica, capacidad de campo

ABSTRACT

The micro basins of the Ishpi, Daldal, Uldán, and Cachipata streams are located in the sub-basin of the Chambo River, in the Chambo canton and southeast of Riobamba canton. The micro-watersheds play an essential role in the hydrological cycle of the sector, as they are located in a place of high agricultural and livestock demand, so it is essential to know the flow information so that irrigation projects can be carried out in the best possible way. There are no studies on water supply and demand since the micro basins do not have hydrological stations that measure flows in real-time. Therefore, this lack of observed hydrometeorological data makes it necessary to use hydrological models to obtain mathematical approximations to know the amount of water offered by this area of the Chambo River sub-basin, allowing the design of sustainable and sustainable projects that do not affect the flow of these basins. The purpose of this research is to determine the water supply for the Ishpi, Daldal, Uldán, and Cachipata creek micro-basins, using the precipitation-runoff method, as well as field capacity analysis and the geomorphology of the micro-basins, for which sampling points were established in strategic locations depending on the vegetation cover and soil taxonomy using GIS. The analysis of hydraulic parameters indicated percentages of porosity, organic matter, permeability coefficient, infiltration capacity, and the texture of 5 vegetation covers (moorland, grassland, herbaceous-bushy vegetation, and crop). According to the results, it is evident that soil erosion is due to anthropic activities in the area, mainly the advance of the agricultural frontier and overgrazing. Once the described parameters were obtained, we proceeded to the mathematical modeling in the HEC-HMS program, applying the SCS curve number method, using daily precipitation data, monthly average evapotranspiration, daily temperatures, as well as geomorphological results such as runoff threshold, delay time and curve number, over 20 years, obtaining daily flow values from 1981-2021. After the rainfall-runoff model, the Ishpi, Daldal, Uldán, and Cachipata micro basin values are 0,382 m³/s, 0.68 m³/s, 1,044 m³/s, and 0,276 m³/s, respectively. The water supply of the micro-basins offers the possibility that part of its flow can be used to meet the population's needs, provided that the resource is used appropriately.

Keywords: micro-basins, rainfall-runoff, water supply, field capacity.



Firmado electrónicamente por:

**HUGO HERNAN ROMERO
ROJAS**

Reviewed by:

Mgs. Hugo Romero

**ENGLISH
PROFESSOR**

C.C. 0603156258

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

Antecedentes

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es el proceso de circulación del agua entre diferentes partes de la hidrosfera. Es un ciclo biogeoquímico en el que tienen lugar reacciones químicas y el agua se desplaza de un lugar a otro o cambia de estado físico (Sánchez, 2013). El agua es un recurso natural indispensable tanto en la funcionalidad de los ecosistemas, actividades sociales y económicas, por tal razón, es indispensable establecer mecanismos que garanticen una adecuada conservación, distribución y optimizar el uso del recurso (Patiño Vaca, 2021). Las Cuencas Hidrológicas del país en su mayoría, no poseen un manejo apropiado de conservación, en su mayoría son degradadas ocasionando que el ciclo hidrológico del agua se vea afectado lo que ocasiona la erosión, poca retención de humedad, inundaciones en épocas de lluvia y escases en periodos de estiaje (Ojeda García, 2017).

La escorrentía superficial es parte importante de ciclo hidrológico, se da por el exceso de agua sin filtrar, recogido en causas secundarios y posterior llega a un cause primario hasta su desembocadura (Guerra Amán, 2019). Hay que tomar en cuenta que al no darse este proceso de manera adecuada representa un problema crítico en el ambiente, ya que la erosión será mayor, desborda el lecho del río y la contaminación del agua por el aumento de carga de sedimentos y arrastre (UNESCO, 2011).

Tanto la escorrentía superficial como la escorrentía subterránea dependen de la distribución en el subsuelo como puede ser conductividad hidráulica y porosidad del suelo, condiciones geológicas y topografía del suelo (Lee et al., 2015). En Ecuador existen varios factores que afectan y agudizan la cuenca, entre ellos son: calentamiento global, sequia, contaminación, mal manejo de las cuencas ya que la mayoría de ellas no están gestionadas en la conservación y por lo tanto el ciclo hidrológico del agua también se ve afectado, por esta razón genera problemas como la mala retención de la humedad, erosión, inundaciones durante los periodos de lluvia, así también la escasez del agua en los periodos secos (León Castro & Villacís Heredia, 2020).

Un elemento importante que normalmente no ha sido tomado es el cálculo de la escorrentía, que se determina según los eventos de precipitación utilizando correlación entre la cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de estudio, que sirve para determinar el número de curva (Córdova Gutierrez et al., 2017). De esta manera, se precisa obtener información hidrometeorológica de las cuencas hidrográficas, pero la inadecuada retención de información de datos fluviales y pluviales en línea temporal dificulta el estudio (Córdova Gutierrez et al., 2017).

El presente trabajo tiene como finalidad delimitar los parámetros geomorfológicos, hidráulicos en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata de la provincia de Chimborazo, la cobertura vegetal que predomina en estas microcuencas, uso de suelo así dar un valor a los cálculos del CN, lo que permitirá determinar así la oferta hídrica de estas microcuencas usando el método de precipitación-escorrentía.

Planteamiento del Problema

Actualmente la contaminación del recurso hídrico es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad, por lo cual es importante evaluar la calidad y cantidad del agua para poder tomar medidas de control y mitigación para la protección de los recursos hídricos (Martínez Valdés & Villalejo García, 2018). Se puede evidenciar esta situación mediante indicadores estadísticos de grados de erosión de las cuencas hidrográficas, deforestación y destrucción de la biodiversidad (E. Cruz et al., 2001).

La falta de estudios e información actualizada de las zonas con respecto al uso de suelo y el deterioro de la cobertura vegetal en las microcuencas, crea un problema muy grande a la hora de determinar los cálculos del balance hídrico en las cuencas, por esta razón se deberían realizar estudios que abarque los factores de intervención de precipitación y escorrentía en todas las cuencas a nivel nacional (Bravo Morales, 2017).

En la provincia de Chimborazo se encuentra la subcuenca del río Chambo la cual cuenta con las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y la quebrada Cachipata, las cuales no tienen estudios que permitan determinar los diferentes parámetros lo cual representa un problema para la toma de decisiones de prevención o de mitigación por parte de las autoridades pertinentes (Mendoza et al., 2021).

Se puede evidenciar que existe ausencia de estudios en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y la quebrada Cachipata, por medio de esto se determinara parámetros hidráulicos en base a cálculos teóricos y datos de precipitación de estaciones meteorológicas cercanas a las microcuencas, aquellas que no cuentan con estudios hidrológicos previos, lo que ha incentivado al interés para realizar un estudio que contenga los factores que estén interviniendo con la vinculación de la precipitación y escorrentía (Córdova Gutierrez et al., 2017).

Justificación

Tanto la relación entre precipitación y escorrentía han permitido la formulación de modelos de simulación capaces de generar predicciones de comportamiento a futuro de las cuencas estudiadas. Estos modelos juegan un papel importante en la toma de decisiones técnicas como es la prevención y mitigación de inundaciones, ordenación territorial o también el desarrollo fuentes de energías alternativas (Aguilar Gómez & Páez Rivera, 2016).

A nivel nacional no registran acciones o medidas que ayuden a prevenir de manera eficiente los impactos procedentes de manera natural, en las microcuencas de los ríos Ishpi, Río Daldal, Río Uldán y Quebrada Cachipata de la provincia de Chimborazo, no se presentan medidas las cuales ayuden a prevenir los impactos causados en las mismas, los cuales provienen de desastres naturales siendo estos un riesgo latente para la población aledaña; además estas cuencas no cuentan con datos idóneos que permitan realizar medidas de prevención, por tal motivo se da el interés por proporcionar información real y útil, para que sea usada como base de investigaciones futuras que tengan relación con la capacidad de infiltración, el método de número de curva, la corrección de errores durante la modelación

de la escorrentía, los aumentos de precipitación y exactitud de las categorías hidrológicas empleadas posteriormente.

OBJETIVOS

General

- Determinar la oferta hídrica en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, en la provincia de Chimborazo, mediante el método precipitación-escorrentía.

Específicos

- Determinar los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata de la provincia de Chimborazo.
- Calcular el número de curva (CN), utilizando el uso de suelo y la cobertura vegetal en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata.
- Modelar el caudal de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, mediante el método precipitación - escorrentía.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

Estado del arte

A partir de los últimos años se desarrollan estudios de oferta hídrica y recarga subterránea de acuíferos, la permeabilidad del suelo, capacidad de infiltración, es por lo cual se presentan algunas investigaciones realizadas las cuales tienen gran relación con la problemática del trabajo expuesto.

En el año 2019 en Ecuador los ingenieros Iturralde Sandra y Fiallos Manuel presentan su tesis en la universidad nacional de Chimborazo con tema “Determinación de la capacidad de campo de las microcuencas de los ríos Chibunga y Guano”. Los mismos que tienen como propósito de investigación el estudio de la capacidad de campo (saturación del suelo a partir de las características y vegetación con el cambio de precipitación a escorrentía), de las microcuencas antes mencionadas (Iturralde Ruiz & Fiallos Salguero, 2019).

La metodología aplicada en esta investigación es de conocimiento teórico el mismo que fue llevado a la práctica, la cual se establece en tres fases, uno establecer el uso del suelo y cobertura vegetal, la segunda es determinar los parámetros del CN y en la última fase determinar la capacidad de campo con un modelo de precipitación – escorrentía (Iturralde Ruiz & Fiallos Salguero, 2019).

En la investigación determinaron que el suelo se encuentra deteriorado por las malas prácticas agrícolas, en cálculo del se CN hace referencia al potencial máximo de retención estos datos están relacionados con la cobertura vegetal del suelo, esta investigación será de gran ayuda en datos hidráulicos y geomorfología para posteriores investigaciones en este ámbito (Iturralde Ruiz & Fiallos Salguero, 2019).

En el año 2022 los Ingenieros Carlos Maldonado y Alexander Larrea, presentaron ante la Universidad Nacional de Chimborazo una tesis nombrada “Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge en la provincia de Chimborazo”. En dicho trabajo de investigación los autores tienen como objetivo determinar

la oferta hídrica de las microcuencas mediante el método precipitación - escorrentía en el programa HMS (Larrea Berrones & Maldonado Chávez, 2022).

Utilizaron un análisis in situ y ex situ en los cuales por medio de recolección de muestras determinaron posterior en laboratorio mediante análisis la porosidad, materia orgánica, permeabilidad y textura de las muestras, para con esta información y resultados obtenidos conjunto con recolección de información de precipitación de las estaciones cercanas a las microcuencas realizar el modelo precipitación – escorrentía. Determinando que en la zona de estas microcuencas no existe intervención de industrias si no por lo contrario el suelo es de uso agrícola y ganadero, con el modelo de precipitación – escorrentía se conoció la realidad hidrológica presente en las microcuencas antes mencionadas (Larrea Berrones & Maldonado Chávez, 2022).

En el 2016 en Bogotá la ingeniera Paula Estephania Alfonso presento ante la Universidad el Bosque la tesis nombrada “Determinación de la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Machete Cundinamarca”, cuyo objetivo principal es realizar un análisis estadístico de las series de la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas, balance hídrico de las subcuencas, tasa de infiltración en la cuenca del río. Este proyecto integra un análisis estadístico para la complementación de las precipitaciones disponibles en cuya área de estudio, cálculo de evapotranspiración potencial y real para a posterior la determinación de la escorrentía superficial (Alfonso Moreno, 2016).

Marco teórico

Cuenca hidrográfica

Entidad morfológica integral donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce, delimitada por la divisoria de aguas las mismas, que fluyen al mar a través de una red de causes principales. Además, es aquella que incluye la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero conformando el sistema integral (Gaspari et al., 2013).

Geomorfología de la cuenca

Entre los parámetros geomorfológicos de una cuenca están su forma, relieve, características de la red de drenaje y el cauce principal (Yuan et al., 2019).

Características Físicas de las Cuencas

Área de la cuenca (A)

Se define como la proyección horizontal de la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido hacia un mismo cauce natural, siendo esta la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona que estudiamos, este parámetro esta expresado en km^2 (Lux Cardona, 2013).

Perímetro de la cuenca (P)

Representa a la longitud en el plano horizontal, la misma que recorre la divisoria de aguas, el cual se mide en unidades de longitud y esta se encuentra expresada en metros o kilómetros (Mendoza et al., 2021).

Índice de compacidad (Ic)

El índice de compacidad es el cociente entre el perímetro y el área de la cuenca, además podemos definir el Ic de la siguiente manera: $Ic = 1$ cuenca de forma circular, $Ic \approx$ cuenca regular, $Ic \neq$ cuenca irregular (Guerrero et al., 2015).

$$Ic = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (1)$$

Donde:

IC= Índice de compacidad

P=Perímetro

A= Área (m²).

Factor de forma (Ff)

Según Horton, es el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del cauce principal (Guerrero et al., 2015).

$$Ff = \frac{B}{Lc} \quad (2)$$

Ancho promedio de la cuenca

$$B = \frac{A}{Lc} \quad (3)$$

$$Ff = \frac{A}{Lc^2} \quad (4)$$

Donde:

B= Ancho promedio de la cuenca (km)

A=Área de la cuenca (km²)

Lc= Longitud de la cuenca, que se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

Relación de Elongación (Re)

Según Schumm, es la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (Lc) (Guerrero et al., 2015).

$$R_e = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{Lc} \quad (5)$$

Donde:

A= Área de la cuenca

Lc= Longitud de la cuenca

Relación de Circulación (Rci)

Denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca. Si el Rci = 0.785 la cuenca es circular (Chidichimo et al., 2018).

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (6)$$

Donde:

A= Área de la cuenca (km²)

P= Perímetro de la cuenca en km

Parámetros de Relieve

Pendiente de la cuenca

Es la relación con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y contribución del agua subterránea el flujo del cauce (Garay & Agüero, 2018).

Curva Hipsométrica

Definida como la representación gráfica de la distribución de la cuenca (área) de acuerdo con la elevación, la curva se crea con el uso de datos altitudinales (msnm) por lo general de arriba hacia abajo, esta curva indica el porcentaje del área de la cuenca que está por arriba de la cota altitudinal usada. Donde la ordenada es la cota altitudinal presentada en (msnm) y la abscisa es el área sobre la cota utilizada (km o %) (Cruz Romero et al., 2015).

Diagrama de frecuencias altimétricas

Es la representación gráfica de las superficies ocupadas por varias alturas, de la distribución en porcentajes (Garay & Agüero, 2018).

Relación del relieve (Rr)

Según Schumm (1956), tiene una expresión simple para la descripción del relieve en función de su longitud y de la diferencia de altura entre el punto más alto en divisoria de cuencas y salida de la cuenca (Garay & Agüero, 2018).

Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca

Componentes de la red de drenaje

El cauce principal y los cauces tributarios forman parte de la red de drenaje de la cuenca (Garay & Agüero, 2018).

Densidad de drenaje (Dd)

Según Horton (1945), es el coeficiente entre la longitud total de los cauces los mismos que pertenecen a la red de drenaje y superficie de la cuenca (Cruz Romero et al., 2015).

La pendiente media (Sm)

Es aquella que representa la relación entre altura del cauce principal y la longitud (Cruz Romero et al., 2015).

Sistema de información geográfica

Se definen como un conjunto de herramientas y datos los cuales están diseñados para la gestión y el análisis de la información espacial los cuales tienen como objetivo desarrollar la información válida para conocer las características de un territorio (Bravo Morales, 2017).

Sistemas de teledetección

Los sistemas de teledetección ayudan a obtener imágenes de la superficie terrestre obteniendo así imágenes de sensores, dando así resultados imágenes de sensores en plataformas satelitales o aeronaves (Bravo Morales, 2017).

Porosidad del suelo

La porosidad del suelo establece la mayor parte de procesos de infiltración y escurrimiento los mismos que intervienen en la erosión hídrica y el transporte del agua al suelo (González Barrios et al., 2012).

Coefficiente de permeabilidad

Es la capacidad que tiene una roca para conceder el paso a un fluido se puede obtener a partir de una medición in situ y mediante laboratorio. Una técnica para obtener el coeficiente de permeabilidad de los suelos finos es una prueba de carga variable (Camacho López et al., 2020).

Tipos de permeabilidad

La permeabilidad se representa en tres tipos y son:

Absoluta

Esta permeabilidad es aquella que tiene una sola fase, es decir satura el medio poroso al 100% (Carlosama, 2020).

Efectiva

La permeabilidad efectiva es cuando la saturación de un suelo es menor al 100%, es la permeabilidad de cada fluido en presencia de otros (Carlosama, 2020).

Relativa

Esta permeabilidad tiene relación entre la permeabilidad efectiva y la absoluta, está en función de la saturación por lo cual siempre es menor o igual a 1 (Carlosama, 2020).

Capacidad de infiltración

Proceso por el cual el agua de la superficie terrestre entra al suelo. Siendo capaz de absorber la precipitación o irrigación (Úbeda Rivera & Delgado Dallatorre, 2018).

Método número de curva

Es un parámetro hidrológico el cual permite calcular la precipitación efectiva, la misma que es producida en una tormenta en la cuenca determinando el potencial de escorrentía, se determina a partir de varias características físicas como: densidad, tratamiento de las coberturas, así como el grupo hidrológico del suelo (Díaz Carvajal & Mercado Fernández, 2017).

Cálculo del número de curva (CN)

Es un método para calcular la precipitación efectiva producida por una tormenta donde se relaciona el potencial máximo o de retención a través de los grupos hidrológicos del suelo y las coberturas de este (Espinales Cedeño et al., 2021).

Ley de Darcy

Expresa el movimiento del agua en el suelo por el flujo, es decir la cantidad de agua por una determinada área en un tiempo dado, las unidades de medida son expresados en m/s, cm/s o mm/d (Valarezo Manosalvas et al., 2020).

Condición hidrológica para la infiltración

Se conocen tres condiciones que se toman en cuenta, para así determinar debido al porcentaje de cobertura vegetal en una zona de influencia determina que afecta en el recibimiento de precipitación (Altieri & Nicholls, 2013).

- Buena, cobertura > 75 %
- Regular, cobertura 50-75 %
- Malo, cobertura < 50%

Clasificación de coberturas

Según (Espinales Cedeño et al., 2021), los grupos hidrológicos son clasificados en diferentes categorías y son:

- Grupo A: son los suelos cuya composición predominan las partículas arenosas, permitiendo que el agua sea percolada fácilmente derivando un bajo nivel de escorrentía cuando estos están húmedos.
- Grupo B: suelos cuyas partículas son moderadamente gruesas a finas, presentando así un componente moderadamente bajo cuando el mismo se encuentra saturado.
- Grupo C: Suelos con un potencial alto de escorrentía cuando se encuentran saturados, su composición predomina partículas moderadamente finas.
- Grupo D: Sus partículas son mayormente finas, en el cual el nivel freático es alto o pueden ser suelos poco profundos donde la tasa de infiltración es baja, la mayor parte están asentados sobre material impermeable.

HEC- HMS

Es un programa el cual simula la escorrentía de salida de la cuenca o subcuencas, a través de los datos recolectados de condiciones extremas de lluvia en determinados intervalos de tiempo, pudiéndose así conocer la precipitación de años futuros, el agua disponible (Villón , 2015).

Sistemas de teledetección

En el sistema de teledetección ayuda a obtener imágenes de superficies de terrestres, siendo estas las imágenes de sensores o remotos instaladas en plataformas satelitales (Bravo Morales, 2017).

- **Fuentes de Energía:** su origen es viene de la radiación electromagnética que el sensor captura haciéndolo fuente pasiva como la luz solar (Bravo Morales, 2017).
- **Cubierta Terrestre:** es la conversión de los datos en temáticas de agricultura, forestales y catastro (Ortiz Godoy, 2019).
- **Sistema Sensor:** este se encarga de captar la energía que provienen de las cubiertas terrestres, las mismas que son almacenadas y enviadas al sistema (Bravo Morales, 2017).

- **Sistema de recepción – comercialización:** es aquella que recibe la información del sensor guardándola y así distribuirla al usuario en un formato adecuado para su respectivo uso (Ortiz Godoy, 2019).
- **Interprete:** se convierten los datos en información de temática agrícola, forestal y catastro (Ortiz Godoy, 2019).
- **Usuario Final:** es aquel beneficiario de la información que se da en la interpretación (Ortiz Godoy, 2019).

Clasificación de imágenes satelitales

En los últimos años las imágenes satelitales han sido de gran ayuda para poder observar la tierra desde el espacio mediante el uso de imágenes satelitales o teledetección, ya que, han alcanzado altos niveles de desarrollo y difusión. Mediante esta herramienta imprescindible para realizar seguimiento y control de fenómenos naturales, con los impactos que genera la tierra y la clasificación de las coberturas del suelo en zonas determinadas (Ferreira, 2016).

Clasificación supervisada

Aquella que utiliza firmas espectrales para la clasificación de una imagen, la lo cual se necesita conocimientos de la zona a estudiar, la mismas que son adquiridas previamente por lo cual si deseamos utilizar esta clasificación debemos tener una familiaridad con el área que se va a clasificar para que la posterior delimitación o interpretación sobre la imagen sea eficiente (Cartaya et al., 2015).

Clasificación no supervisada

Realiza una búsqueda automática agrupa valores uniformes dentro de la imagen creando varios “clúster”, con pixeles que tienen un comportamiento espectral similar. El analista debe indicar cual es el significado temático de las clases espectrales generales ya que el programa no detecta y puede establecer categorías de poco interés (Monterroso Tobar, 2013).

Mínima distancia

Los datos de entrenamiento solo se utilizan para determinar la media de las clases seleccionadas (Borrás et al., 2017). Puesto que el programa efectuara la clasificación ubicando cada píxel no identificado en la clase cuya media se encuentra la más cerca para lo cual pudiere utilizar la distancia euclidiana entre píxel y el centro de cada clase (Bravo Morales, 2017). Este algoritmo presenta ciertas limitaciones, una de ellas la insensibilidad a los diferentes grados de varianza en las respuestas espectrales de las diferentes clases (Borrás et al., 2017).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicativo, ya que tenemos como finalidad llevar una problemática teórica a la práctica, una vez realizados los cálculos respectivos tanto geomorfológicos e hidráulicos, para la determinación de los parámetros se realiza el levantamiento de información primaria y secundaria en las microcuencas de los ríos Ishpi,

Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, esto se desarrolló en 3 fases, con sus respectivos procesos experimentales de campo (*in situ*) para lograr la obtención de muestras y actividades de laboratorio (*ex situ*), las mismas que serán detalladas.

Diseño de Investigación

Se usa un diseño de investigación experimental el mismo que será realizado para dar soluciones en cualquier campo de la ingeniería debido a las variables utilizadas:

GE: $x = y_1$ (7)

X = Variable independiente

Y1= observación de la variable independiente

Técnicas de recolección de Datos

La observación directa es uno de los métodos primordiales que se usó, con esto se seleccionó información necesaria y se registró resultados de cada estudio en formatos vigentes, para obtener un orden preciso de los datos.

Población de estudio y tamaño de muestra

Población

Las muestras de sustratos obtenidas de acuerdo con las clases de cobertura vegetal y taxonomía del suelo, se consideró como población de muestra investigación.

Muestra

En la investigación se tomó 5 clases texturales que predominan en las microcuencas (tabla 1), además se extrajo sustratos de acuerdo con su profundidad, para recolectar el primer estrato se limpia la zona de muestreo para recabar con un barreno una profundidad de 0- 20 cm, el segundo estrato va de 0,20- 0,40 cm, el tercer estrato de 0,40 – 0,60 cm y finalmente de 0,60 – 0,80 cm. Para la recolección de muestras se tomó en cuenta vías de acceso y facilidad de ingreso hasta los puntos correspondientes.

Tabla 1. Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Cobertura vegetal	Taxonomía Ishpi	Taxonomía Daldal	Taxonomía Uldán	Taxonomía Cachipata
Bosque	Inceptisol	Andisol Molisol	/ Andisol/ Molisol	Andisol
Pastizal	Molisol	Andisol Molisol	/ Andisol /Inceptisol	Inceptisol
Vegetación herbácea/ arbustiva	Molisol	Andisol Molisol	/ Andisol /Inceptisol	Andisol

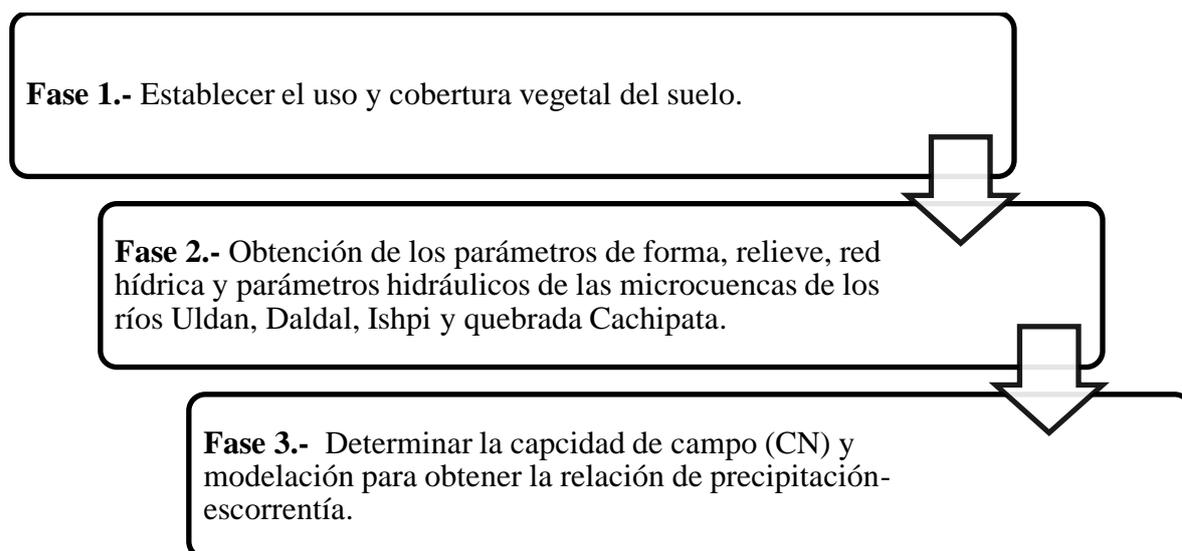
Cultivo	Inceptisol	Andisol Molisol	/ Andisol /Inceptisol	Inceptisol
Páramo	Andisol	Andisol	Andisol	-

Fuente: Autoras

Métodos de análisis

Al haber realizado el geoprocesamiento de datos para obtener los parámetros geomorfológicos de las cuencas, se los interpretó y evaluó presentándolos en tablas de análisis, mientras que los parámetros hidrográficos serán presentados en gráficos de barras, tablas de validación, gráficos de dispersión y mapas de verificación. Como resultado final utilizaremos un modelo precipitación-escorrentía el mismo que nos indicara la oferta hídrica en las microcuencas antes señaladas. Tomando en cuenta siempre en todo el proceso el respeto hacia las personas y al lugar donde nos encontramos para así lograr obtener resultados efectivos.

Procesamiento de datos



Fuente: Autoras

In situ

- Barreno
- Infiltrómetro
- Flexómetro
- Canecas de agua
- Cronometro

Ex situ

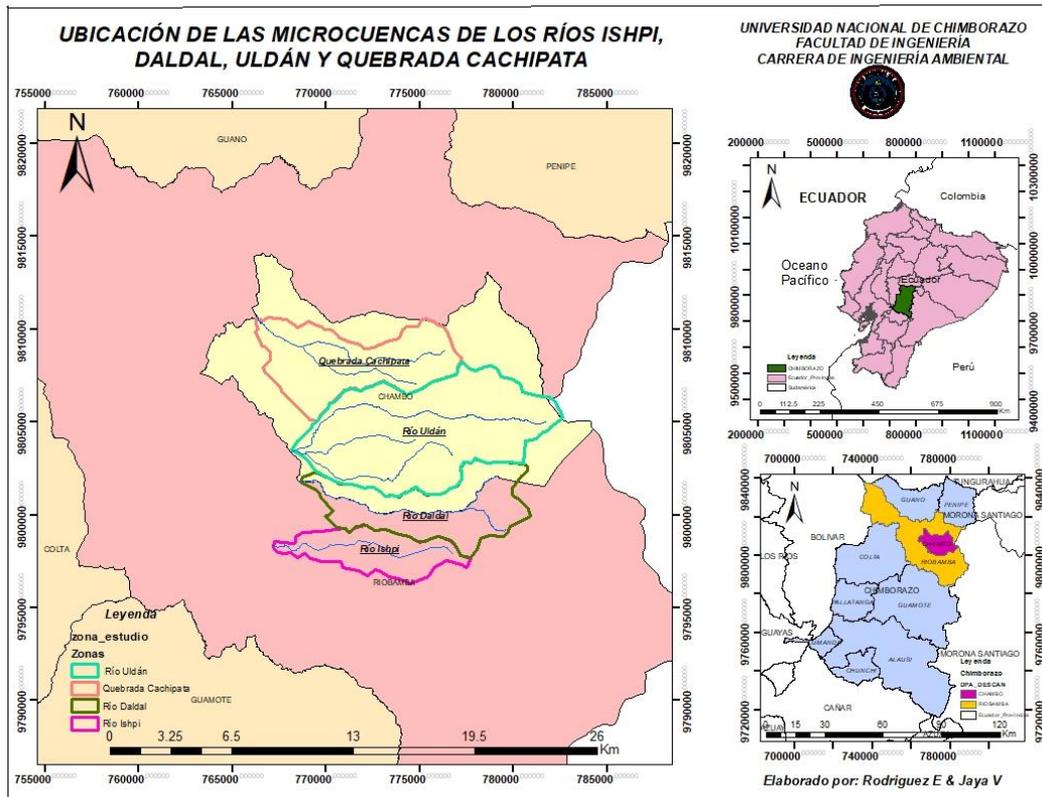
- Vasos de precipitación
- Pinzas de laboratorio
- Crisoles
- Mufla
- Estufa
- Permeámetro
- Probeta
- Guantes

- Pisetas

Área de estudio

Las microcuencas para estudiar forman parte de la subcuenca del río Chambo en la Provincia de Chimborazo, las microcuencas de la quebrada Cachipata y el río Uldán están ubicados en el cantón Chambo, mientras que el río Daldal comparte su ubicación con el cantón Chambo y Riobamba, finalmente el río Ishpi ubicado en el cantón Riobamba parroquia Pungalá.

Mapa 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Autoras

FASE 1

Establecer el uso de suelo y cobertura vegetal

En la fase uno se determinará la ubicación geográfica y el área de cada microcuenca y de la quebrada del sitio donde se realizaron los puntos de muestreo y toma de las muestras.

Identificación de los puntos de muestreo

Una vez realizado un reconocimiento previo de la zona de estudio en las microcuencas y quebrada, se escoge los puntos de muestreo, a través de imágenes satelitales en las mismas que se realizó una clasificación supervisada y no supervisada, en la clasificación supervisada se utilizó imágenes satelitales actualizadas para la determinación de la capa geológica y elevación para identificar el uso y categoría de suelo y ponerlas, en la clasificación no supervisada se verificara datos de shapes publicados en el estudio realizado.

FASE 2

Obtención de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Determinación de parámetros geomorfológicos

Los cálculos morfológicos de las microcuencas y quebrada se realizarán con las ecuaciones descritas en el marco teórico, mediante la utilización de herramientas geoespaciales tales como: análisis espacial en 3D, hidrología, pendiente, red de drenaje y calculadora de superficies, completando así la base de datos en el sistema de información geográficas.

En esta fase realizaremos actividades de campo (in situ) y del laboratorio (ex situ), en el mismo que determinaremos la capacidad de infiltración además de la caracterización del suelo como es textura, porosidad y materia orgánica.

Análisis in situ

De los puntos de muestreo establecidos con la ayuda de imágenes satelitales, se procederá a desarrollar pruebas de infiltración usando un infiltrómetro de doble anillo. Se deberá recoger un total de 4 muestras por cada punto de muestreo según los estratos correspondientes de suelo, con una excavación de 0.40 m a los 1.5 m de profundidad con un diámetro de 0.50m, con la ayuda del barreno, posterior etiquetamos las muestras llevándolas cerradas para que no se contaminen.

Análisis ex situ

Una vez obtenidas las muestras de suelo se procederá a realizar pruebas de permeabilidad, textura, porosidad y materia orgánica en el laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo.

- **Permeabilidad**, también conocida como conductividad hidráulica (k), se calculará con la ayuda de un permeámetro, el cual se medirán los valores de h para diversos valores de tiempo transcurridos, desde el comienzo de la prueba para finalmente calcular la permeabilidad del suelo (k) se calculará con la ley de Darcy (Duarte & Gallegos, 2019).

$$Q = \frac{H_3 - H_4}{L} * A * L \quad (8)$$

Donde:

Q=flujo (m/s^3).

L=Longitud de la muestra (m).

A= superficie de la muestra (m^2).

H₃=Altura, por encima del nivel del agua en el tubo de referencia colocado a la entrada de la capa filtrante.

H₄= Altura, por encima del nivel de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

$$K = \frac{Q * L}{(H_3 - H_4) * A} \quad (9)$$

Donde:

K=Coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función de la muestra (m/s).

Q=flujo (m/s³).

L=Longitud de la muestra (m).

A= superficie de la muestra (m²).

H₃=Altura, por encima del nivel del agua en el tubo de referencia colocado a la entrada de la capa filtrante.

H₄= Altura, por encima del nivel de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

- La **textura** del suelo será identificada mediante el triángulo de clases texturales del USDA (Departamento de Agricultura de EE. UU), por la aplicación del método organoléptico, basándose en el uso y cobertura vegetal definiendo la granulometría (Mendoza et al., 2021).
- La **porosidad** también conocida como método del cilindro en el cual se relaciona la densidad real y el suelo donde se obtienen a través de la diferencia del peso tomando en cuenta el volumen del material húmedo y seco en cada muestra y calculando el volumen del cilindro.

$$P[\%] = \left[1 - \frac{Da \left[\frac{g}{cm^3} \right]}{Dr \left[\frac{g}{cm^3} \right]} \right] * 100 \quad (10)$$

Donde:

P= Porosidad total de la muestra del suelo, [%]

Da= Densidad aparente del suelo, [g/cm³]

Dr= Densidad real de partículas, [g/cm³]

La **materia orgánica** se determinará por medio de la calcinación de las muestras obtenidas, en las que se calculará la pérdida de peso (compuestos orgánicos presentes). Las muestras serán sometidas por 2 horas a una temperatura de 105 °C, pasado este tiempo se elevará la temperatura a 550 °C en una mufla por 2 horas y se enfriará en el interior de la mufla por 2 horas. Las muestras se llevarán al horno a 105 °C por 30 min y finalmente se enfriarán en un desecador, este proceso sirve para estabilizar la temperatura y eliminar la humedad de la muestra (Mendoza et al., 2021). Para el cálculo se usará la siguiente ecuación:

$$SOM = \left[\frac{(\text{peso a } 105^\circ\text{C}) - (\text{peso de calcinacion a } 550^\circ\text{C})}{\text{peso a } 105^\circ\text{C}} \right] * 100 \quad (11)$$

FASE 3

Determinar la capacidad de campo (CN)

En esta fase se calcula el número de curva (CN), capacidad de campo (S) además de la relación precipitación – escorrentía.

Calculo y asignación de numero de curva (CN)

Para obtener el CN, se utilizará el método de NRCS, una técnica desarrollada para valorar la infiltración dependiendo del grupo hidrológico del suelo (HGS), la condición previa de humedad, el uso de tierra y el tratamiento, estas son propiedades generadoras de escorrentía (Diaz Carvajal & Mercado Fernández, 2017), estos dentro de las cuencas hidrográficas darán un valor que se estime las condiciones del suelo de acuerdo con su utilidad, y se calcula a través de la siguiente ecuación.

$$CN = \left[\frac{25\ 400}{254 + S} \right] \quad (12)$$

Donde:

CN: número de curva

S: capacidad de campo

Capacidad de campo o potencial máximo de retención (S)

Precedente al cálculo de CN se deberá determinar los valores de la capacidad de campo (S), este es la cantidad de agua que contiene el suelo saturado después de 48 horas de drenaje (Wróbel & Boczoń, 2021). Se relación así el suelo y las condiciones de cobertura dentro de las microcuencas mediante los valores de CN y se aplica la siguiente formula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

Donde:

S= Capacidad de campo

CN= Número de curva

Modelación para obtener la relación de precipitación – escorrentía

Usando Sistemas de información geográfica (HEC-HMS) se realizará el modelamiento donde se analizará y simulará el proceso de conversión de precipitación con datos obtenidos de estaciones meteorológicas cerca de las zonas de estudio a escorrentía (Espinales Cedeño et al., 2021).

$$P_{sb}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n P_{em}(i,j)w(j)}{\sum_{j=1}^n w(j)} \quad (14)$$

Donde:

$P_{sb}(i)$ = Precipitación media uniforme sobre una subcuenca de intervalo i

$P_{em}(i,j)$ = precipitación registrada en el intervalo i y estación j

$w(j)$ = Área de influencia de la estación J en la microcuenca

n = número de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca

Pérdidas o abstracciones

Para el cálculo de estas pérdidas, HEC-HMS presenta diferentes métodos, para este estudio se lo realizará con el método del número de la curva (CN), pues se contará con información de cobertura vegetal y uso del suelo, para su cálculo se utilizará la siguiente ecuación (Diaz Carvajal & Mercado Fernández, 2017):

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (15)$$

Circulación de la lluvia efectiva a través de la microcuenca

En este proceso se generará el hidrograma en el punto de drenaje de las microcuencas por motivo de la circulación de la lluvia efectiva a través de toda la superficie de las microcuencas, este componente representa la escorrentía superficial directa por lo cual HEC-HMS comprende diferentes métodos para determinar este hidrograma, para esta investigación se empleará la técnica del hidrograma unitario (HU) para su cálculo se utilizara la siguiente ecuación (Diaz Carvajal & Mercado Fernández, 2017):

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (16)$$

Donde:

Q_p = Caudal punta en m^3/s por cm de lluvia efectiva.

A = Superficie de la cuenca en km^2 .

T_p = Tiempo al máximo en horas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros geomorfológicos de las microcuencas Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Ishpi se muestran en la siguiente tabla (tabla 5). Según los valores obtenidos nos dice que la microcuenca es pequeña, con una forma poco achatada, con una pendiente fuertemente accidentada y pronunciadas, siendo así una cuenca irregular, posee un drenaje de tercer orden.

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Daldal, es una cuenca pequeña con forma alargada con relieves fuertes y pendientes pronunciadas, presenta una red de drenaje de cuarto orden.

La microcuenca del río Uldán es una cuenca irregular pequeña, con pendientes pronunciadas, tiene forma alargada, presenta una red de drenaje de cuarto orden.

La microcuenca de la quebrada Cachipata su área representa que es una cuenca pequeña, esta cuenca es ligeramente achatada tiene una endiente fuertemente accidentado, posee fuertes relieves y pendientes pronunciadas tiene un drenaje de tercer orden.

Tabla 2. Parámetros geomorfológicos de las microcuencas del río Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Nombre	Sigla	Unidad	Ishpi	Daldal	Uldán	Cachipata
Área	A	km ²	17,41	31,63	63,11	17,75
Perímetro	P	km	24,68	33,99	37,31	38,53
Índice de compacidad	Ic	Adimensional	1,67	1,70	1,32	2,58
Ancho medio	B	Adimensional	2,55	3,58	6,90	2,12
Longitud media	Lc	km	6,82	8,83	9,14	8,37
Factor de forma	Ff	Adimensional	0,11	0,41	0,76	0,25
Relación de elongación	Re	Adimensional	0,69	0,72	0,98	0,57
Relación de circularidad	Rci	Adimensional	0,36	0,34	0,57	0,15
Área sobre la curva	AS	km ²	432301,51	469961,41	560997,8	537488,52
Área bajo la curva	Ab	km ²	335698,49	388328,30	376002,2	459404,45
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	43,47	49,00	46,03	34,92
Longitud del cauce principal	Lc	km	12,67	13,45	17,32	13,81
Orden de la red hídrica	Or	Adimensional	3	4	4	3
Sumatoria de las longitudes de la red	Lt	km	23,99	43,54	102,25	31,41
Densidad de drenaje	Dd	km ⁻¹	1,38	1,377	1,62	1,77
Número de canales	Nt	Adimensional	55	96	188	52

Densidad hidrográfica	Dh	km ⁻¹	3,16	3,04	2,98	2,93
Altura Máxima del río	Hmax	Msnm	4241,5	4024	4303,25	4331,5
Altura mínima del río	Hmin	Msnm	2783,0	2730	2707	2590
Pendiente media del cauce principal	Sm	%	13	11	10	14
Tiempo de concentración	Tc	H	0,96	1,07	1,05	0,93
Relación hipsométrica	Rh	Adimensional	0,78	0,82	1,71	0,85

Fuente: Autoras

La curva hipsométrica (gráfico 1) muestra que la cuenca se encuentra en etapa de madurez o etapa de equilibrio relativo, siendo un potencial erosivo en la parte alta de la zona de estudio.

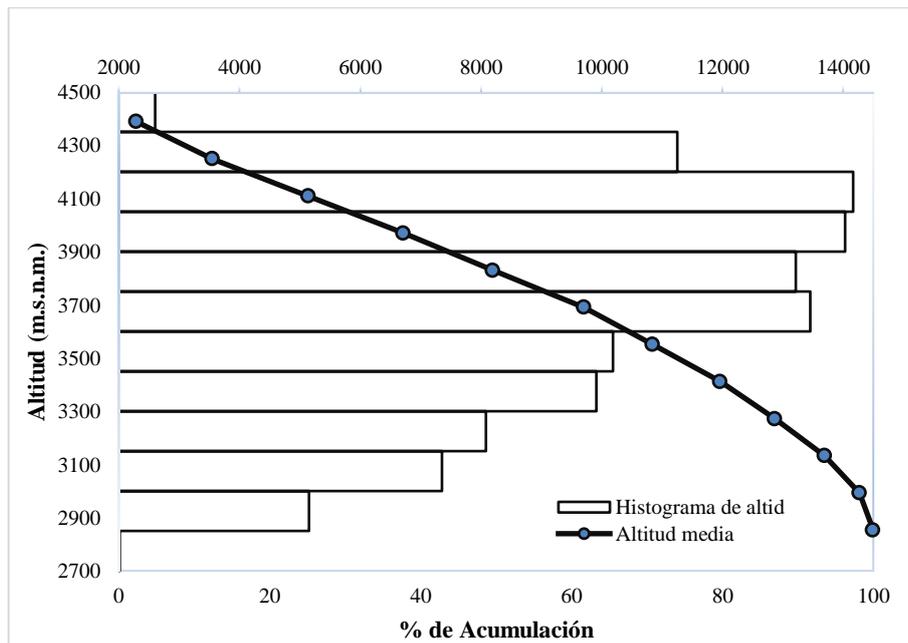


Gráfico 1. Curva Hipsométrica del río Ishpi

Fuente: Autoras

La curva hipsométrica (gráfico 2), muestra una curva de tipo B, es decir una cuenca en etapa de equilibrio o madurez, donde atraviesa procesos de estabilización de erosión que se produce en la parte alta de la cuenca, con esta relación viene a ser una cuenca de pie de montaña con pendientes significativas.

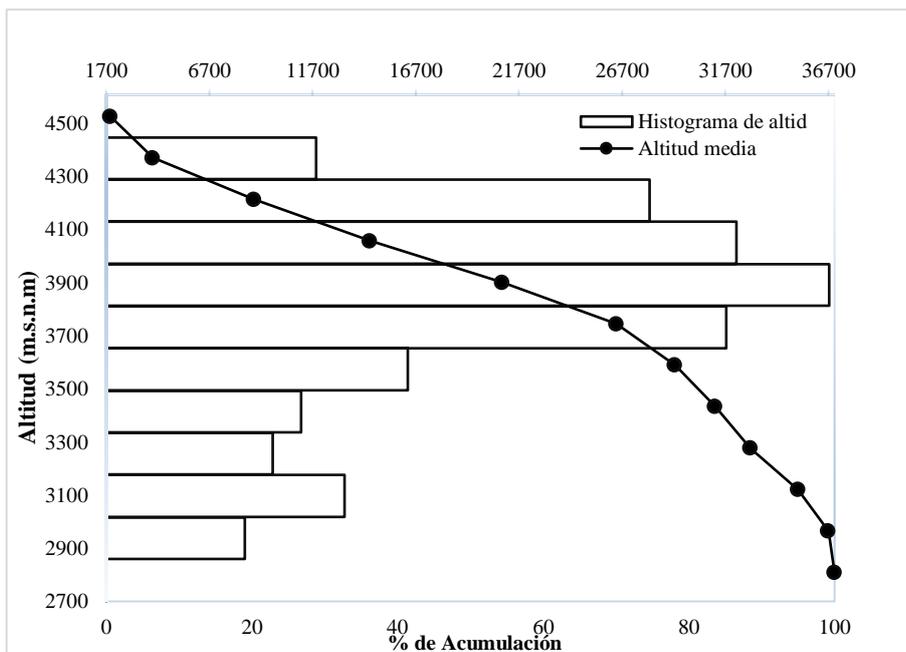


Gráfico 2. Curva Hipsométrica del río Daldal

Fuente: Autoras

La curva hipsométrica (gráfico 3), muestra una curva de tipo B, es decir una cuenca en etapa de equilibrio o madurez, donde atraviesa procesos de estabilización de erosión que se produce en la parte alta de la cuenca, con esta relación viene a ser una cuenca de pie de montaña con pendientes significativas, además presenta valores altitudinales elevados des de los 2700 hasta los 4700.

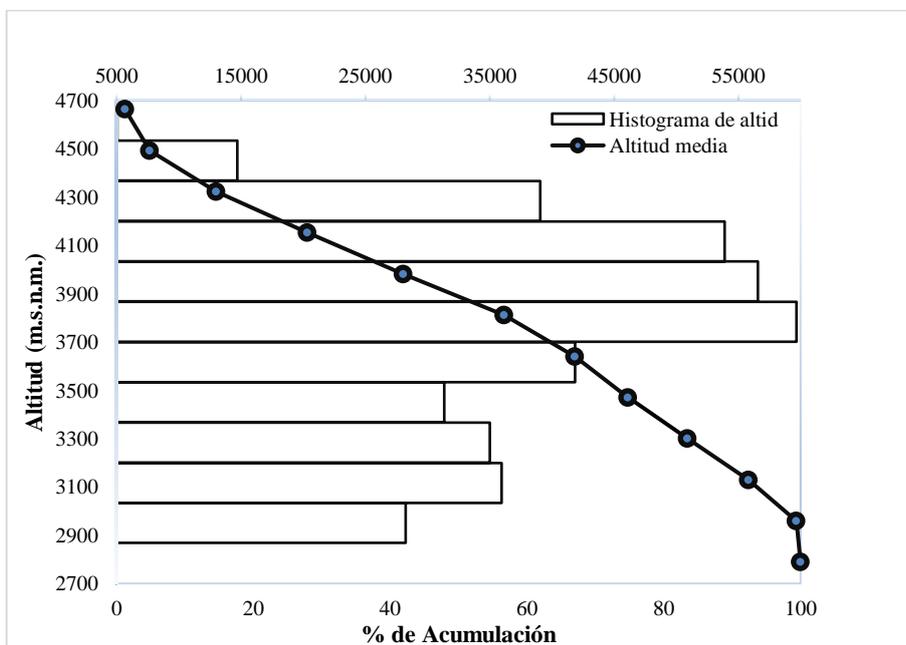


Gráfico 3. Curva Hipsométrica del río Uldán

Fuente: Autoras

La curva hipsométrica (gráfico 4), muestra una curva de tipo B, es decir una cuenca en etapa de equilibrio o madurez, donde atraviesa procesos de estabilización de erosión que se produce en la parte alta de la cuenca, con esta relación viene a ser una cuenca de pie de

montaña con pendientes significativas, además presenta valores altitudinales elevados des de los 2550 hasta los 4350.

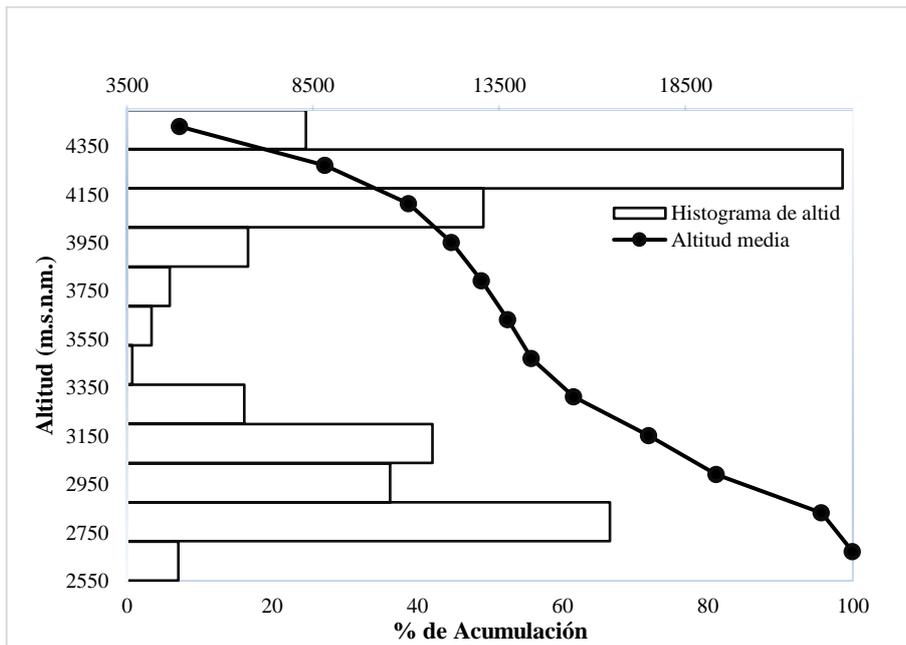


Gráfico 4. Curva Hipsométrica de la Quebrada Cachipata

Fuente: Autoras

Parámetros hidráulicos en la microcuenca Ishpi

Análisis de textura M.R.I

Para la determinación de la textura se asignó valores numéricos que van desde 1 hasta 12 de acuerdo con su granulometría, la granulometría fina valor de 1, seguidos de suelos franco-limosos de granulometría media y finalmente arenas con valores de 10 a 12 (anexo 2).

Por consiguiente, la (tabla 3), detalla las medidas texturales de cada cobertura vegetal en la cuenca del río Ishpi, teniendo así valores compartidos entre páramo y vegetación herbácea-arbustiva con una textura franco limo arcilloso, pastizal posee un valor de 6 presentando una textura franco arcilloso, cultivo con un valor de 8 textura franco limoso y finalmente bosque con un valor de 10 con textura franco arenoso.

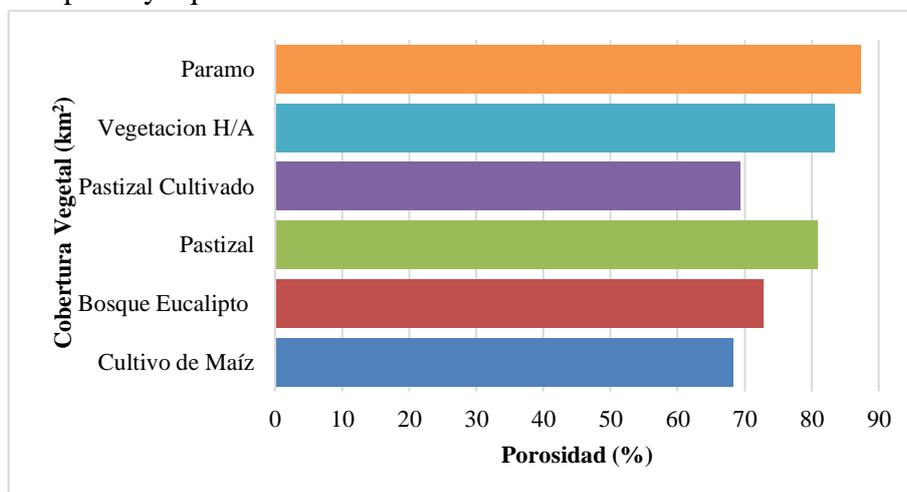
Tabla 3. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Ishpi.

Clase	Textura	Valor de textura media
Bosque	Franco arenoso	10
Pastizal	Franco arcilloso	6
Vegetación herbácea arbustiva	Franco limo arcilloso	4
Cultivo	Franco limoso	8
Páramo	Franco limo arcilloso	4

Fuente: Autoras

Cálculo de la porosidad M.R.I

Según el (gráfico 5) muestra las porosidades con relación a la cobertura vegetal que existen en la cuenca del río Ishpi, en la misma que se observa valores que van desde 68.22 % a 87.23% siendo cultivo de maíz y páramo respectivamente, la composición del suelo de cultivo es Inceptisol ya que son suelos con horizontes desarrollados.



Fuente: Autoras

Gráfico 5. Porcentaje de porosidad de acuerdo con la cobertura vegetal de la M.R.I

Cálculo de Materia Orgánica M.R.I

La materia orgánica juega un papel fundamental en el suelo, en la cuenca del río Ispi principalmente es ganadera y agrícola con una extensión amplia de paramo y vegetaciones herbáceas y arbustiva en la parte alta de la misma, en el (gráfico 6) se observa mayor cantidad de materia orgánica paramo y similar a este la vegetación herbácea arbustiva entre el 20% estos valores corresponden a muestras en la parte alta, estos suelos son molisoles los mismos que se caracterizan por contener altos valores de MO, mientras que el valor más bajo es de 3.81% en un bosque de eucalipto se debe a que estas plantas absorben gran cantidad de materia orgánica y por ende el suelo sufre desgaste y a su vez este bosque se encuentra en la parte baja de la cuenca.

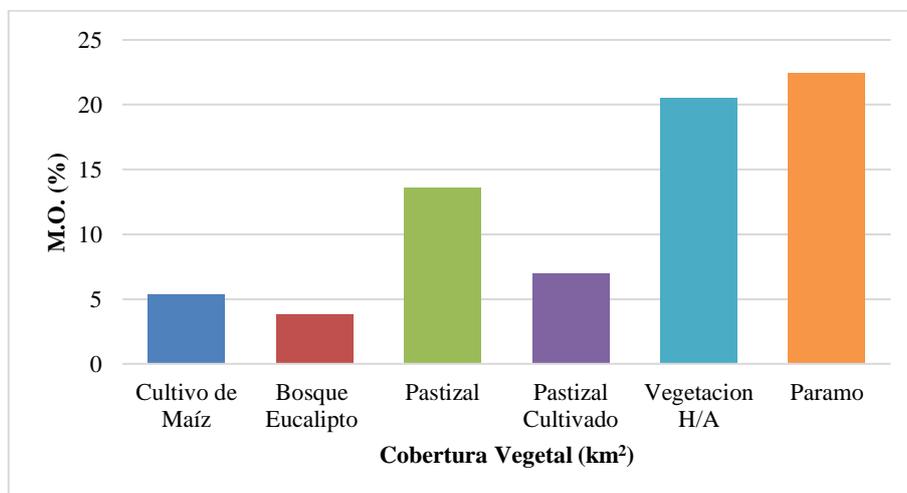


Gráfico 6. Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de M.R.I

Fuente: Autoras

Cálculo de Permeabilidad M.R.I

La permeabilidad al ser la facilidad por la que en este caso agua transfiere un medio poroso, en el (gráfico 7) se evidencia la permeabilidad de acuerdo con la cobertura vegetal, obteniendo valores de 0.00297m/s en cultivo de maíz seguido por 0.00288m/s en bosque de eucalipto, en este caso el hecho de que el agua se trasfiere con mayor rapidez debido a la conexión de los poros y el tamaño de estos, dando así el valor más bajo la cobertura de pastizal con 0.00112m/s.

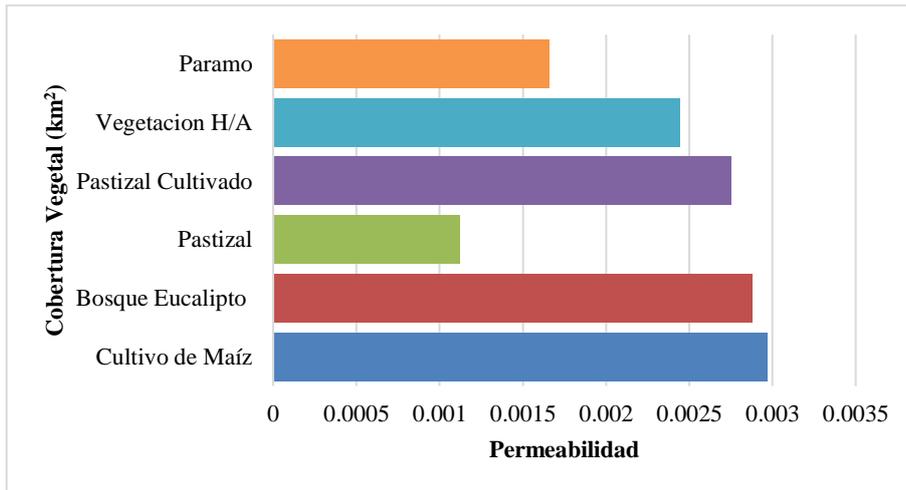


Gráfico 7. Permeabilidad según la cobertura vegetal de M.R.I

Fuente: Autoras

Capacidad de infiltración M.R.I

La capacidad de infiltración es analizada en el (gráfico 8), la misma que presenta una relación con la cobertura vegetal de la zona de estudio, en la curva de infiltración refleja que va desde los 0 hasta 7 mm/h en un tiempo de 17 minutos resultando una capacidad de infiltración de 6.8 mm/h en la cobertura vegetal de páramo y la menor capacidad en cultivo con 3.7 mm/h.

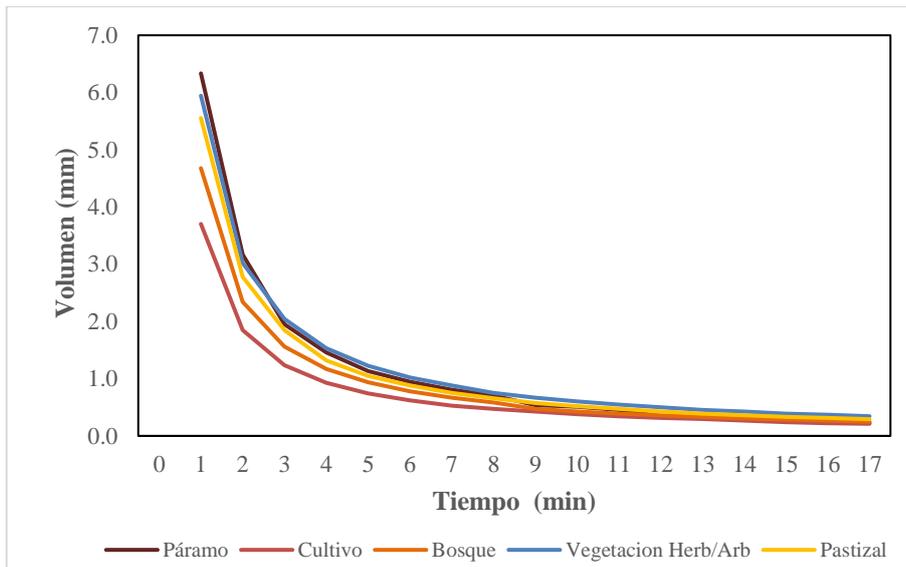


Gráfico 8. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.I

Fuente: Autoras

Parámetros hidráulicos en la microcuenca Daldal

Análisis de textura M.R.D

En la (tabla 4), se muestran los valores de las medidas texturales de cada cobertura vegetal y textura de la cuenca del río Daldal, expresando valores con similitud entre paramos y vegetación herbáceo-arbustiva con textura arcillo limoso de valor textural 2, los valores de cultivo y pastizal son de textura arcillo arenoso con un valor de 3 y finalmente tenemos la textura franco limo arcilloso de valoración textural 4 que pertenece a la cobertura vegetal de Bosque.

Tabla 4. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Daldal

Clase	Textura	Valor de textura media
Bosque	Franco limo arcilloso	4
Pastizal	Arcilloso arenoso	3
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	2
Cultivo	Arcilloso arenoso	3
Páramo	Arcillo limoso	2

Fuente: Autoras

Cálculo de la porosidad M.R.D

El (gráfico 9) presenta la porosidad de la microcuenca del río Daldal con relación a la cobertura vegetal en la misma, presenta valores que van desde 60.11% correspondiente a Bosque de Eucalipto, la cobertura páramo tiene un 73.38 %, los valores intermedios tienen similitud debido a que esta cuenca presenta texturas similares por ende los poros se relacionan.

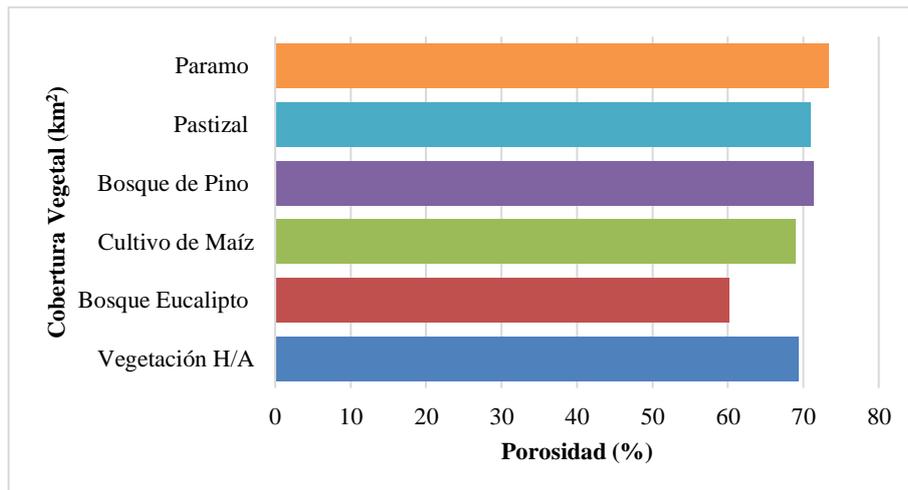


Gráfico 9. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de M.R.D

Fuente: Autoras

Cálculo de Materia Orgánica M.R.D

La materia orgánica de la cuenca del río Daldal se presenta en el (gráfico 10), los valores van desde 4.21% Bosque Eucalipto, este valor es menor debido a que los árboles absorben la reserva de materia orgánica, la cobertura vegetal que tiene mayor porcentaje de materia orgánica es 11.81% Pastizal debido a que la muestra fue tomada en la parte alta de la cuenca en terrenos donde antes eran páramo y la concentración de M.O. aun no es absorbida por el pasto las demás coberturas vegetales tienen valores similares entre 7.99 y 9.94 % estos valores mantienen debido a que la cuenca no tiene alteraciones antropológicas.

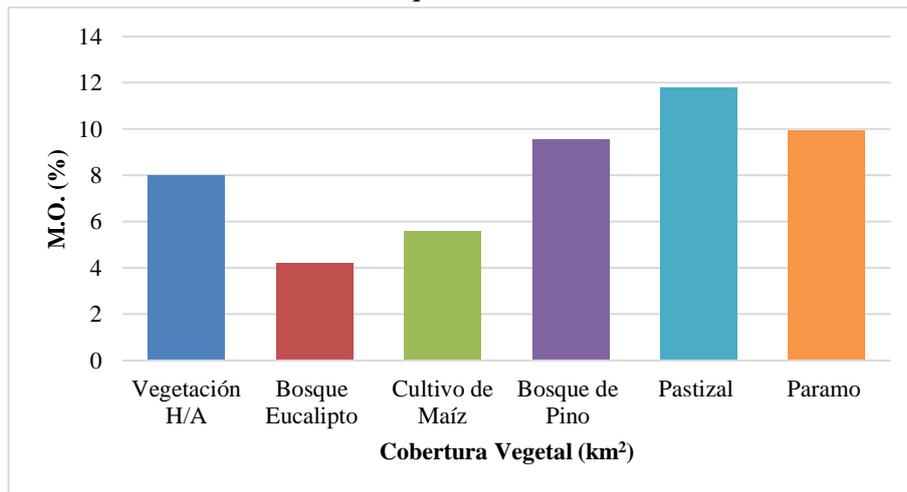


Gráfico 10. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de M.R.D

Fuente: Autoras

Cálculo de Permeabilidad M.R.D

La permeabilidad de la cuenca del río Daldal con relación a la cobertura vegetal se muestra en el (gráfico 11), la vegetación herbáceo-arbustiva posee un 0.00447 m/s de permeabilidad debido a sus poros y el tamaño de estos, seguido de Pastizal con un 0.002 m/s

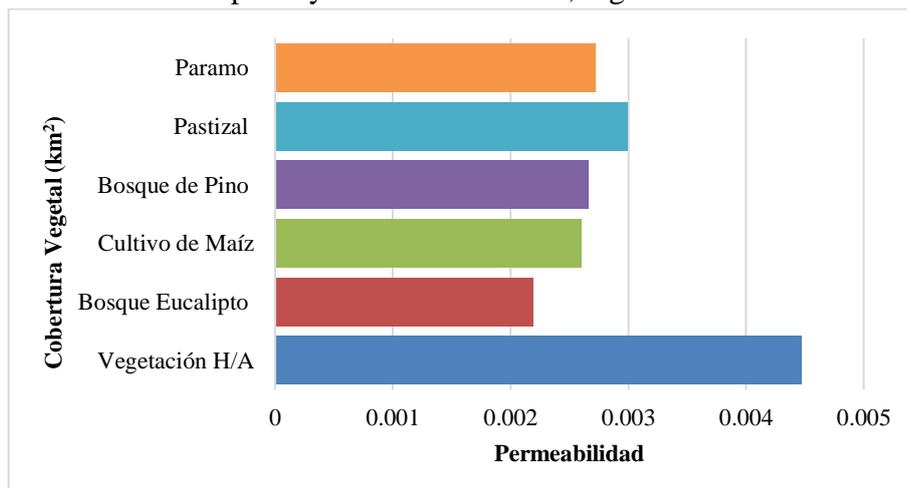


Gráfico 11. Permeabilidad según la cobertura vegetal de M.R.D

Fuente: Autoras

Capacidad de infiltración M.R.D

La microcuenca del río Daldal presenta datos de capacidad de infiltración que se visualiza en el (gráfico 12), la cobertura vegetal de páramo posee la capacidad máxima de infiltración con un valor de 6.8 mm/h en un periodo de 17 minutos, obteniendo a su vez la capacidad mínima de infiltración en la cobertura vegetal cultivo con 3.4 mm/h, valor más bajo debido a la zona y textura de suelo que posee.

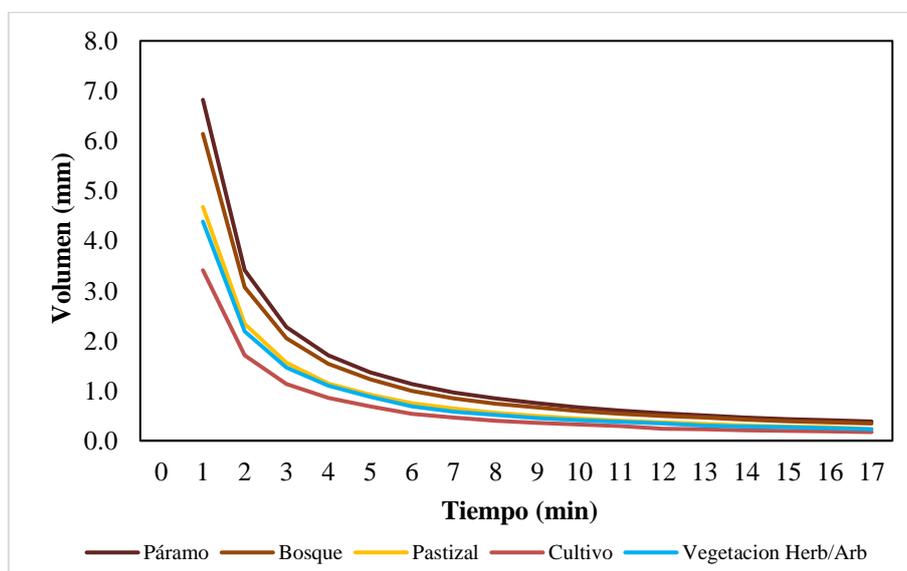


Gráfico 12. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.D

Fuente: Autoras

Parámetros hidráulicos en la microcuenca Uldán

Análisis de textura M.R.U

En la siguiente (tabla 5), registra la textura de acuerdo con la cobertura vegetal del río Uldán, de esta manera páramo y vegetación herbáceo-arbustiva comparte un valor numérico textural de 2 demostrando así que posee una textura arcillo limoso, cultivo con valor de 3 y textura arcillo arenoso, la cobertura vegetal pastizal presenta un valor de 4 con una textura Franco limo arcilloso por último tenemos Bosque el cual tiene un valor de 5 de textura franco areno arcilloso.

Tabla 5. Validación numérica textural de acuerdo con la cobertura vegetal de la cuenca del río Uldán

Clase	Textura	Valor de textura media
Bosque	Franco areno arcilloso	5
Pastizal	Franco limo arcilloso	4
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	2
Cultivo	Arcillo arenoso	3
Páramo	Arcillo limoso	2

Fuente: Autoras

Cálculo de la porosidad M.R.U

El resultado de la porosidad en la cuenca del río Uldán según el (gráfico 13), representa que los de bosque de eucalipto con un 74.26% contiene mayor porcentaje de poros debido a su textura franco areno arcilloso, cultivo de col con un valor de 59.19% con un menor porcentaje de porosidad de una textura arcillo arenoso, mientras que páramo, vegetación arbustiva y bosque de coníferas se mantienen en un margen de 73 % de textura arcillo limoso.

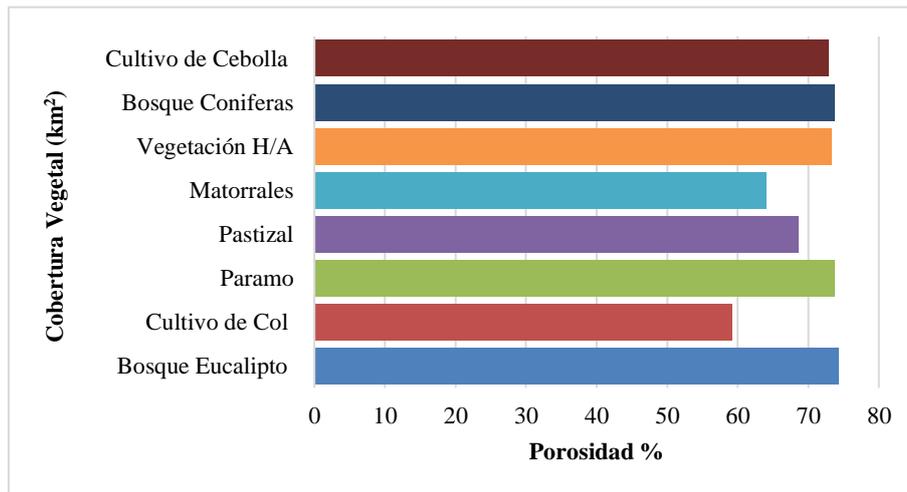


Gráfico 13. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de M. R. U

Fuente: Autoras

Cálculo de Materia Orgánica M.R.U

La (gráfica 14), muestra la cantidad de materia orgánica de la microcuenca del río Uldán en donde el cultivo de cebolla posee mayor porcentaje de M.O. con un valor de 15.75%, el aumento de materia orgánica en el cultivo se debe a que el terreno se encontraba con restos de humus, seguido de bosque coníferas, vegetación herbácea arbustiva y matorrales con valores de 15.39%, 14.53%, 14.03% correspondientes a cada uno, por último, el cultivo de col con un porcentaje de 9.76% de M.O.

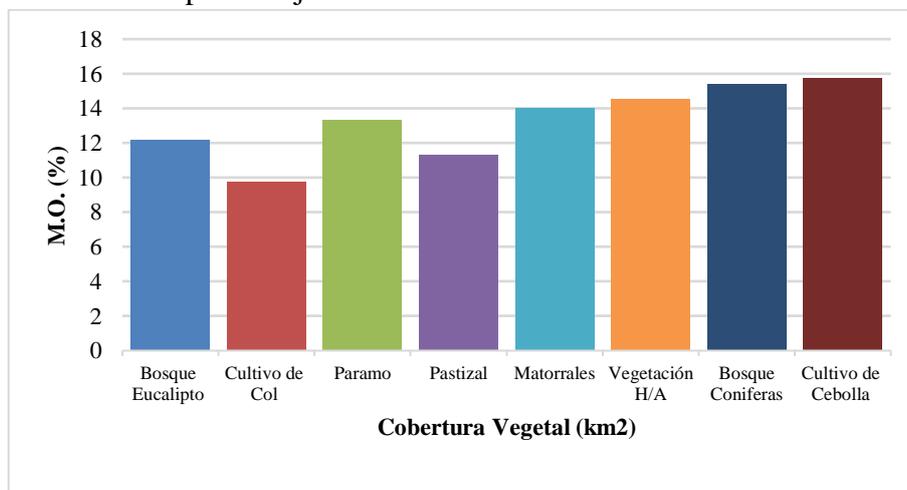


Gráfico 14. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de M.R. U

Fuente: Autoras

Cálculo de Permeabilidad M.R.U

El resultado de los análisis de permeabilidad se ven reflejados en el (gráfico 15), donde el páramo con un valor de 0.00305 m/s el cual tiene un espacio mayor de poros, pastizal con 0.00298, bosque coníferas posee un valor de 0.00295 m/s, bosque de eucaliptos con un 0.00291 m/s, matorrales con un valor menor de 0.00276 m/s.

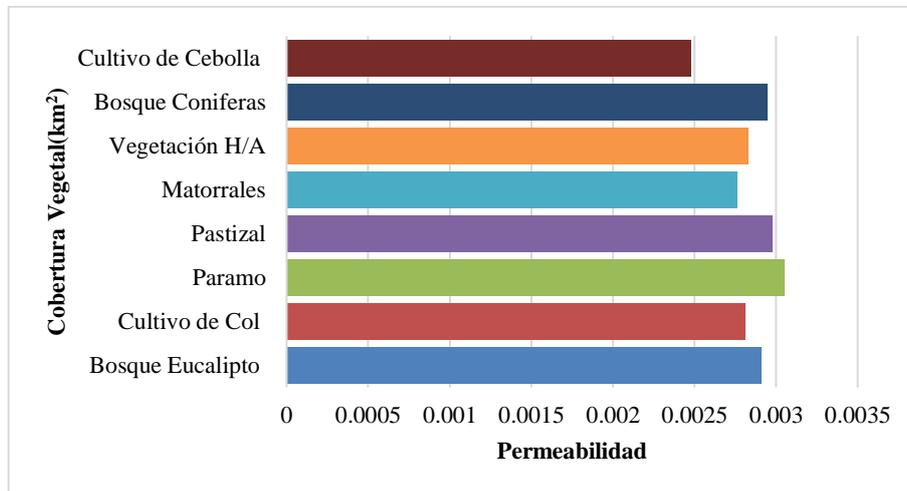


Gráfico 15. Permeabilidad según cobertura vegetal de M.R.U

Fuente: Autoras

Capacidad de infiltración M.R.U

La microcuenca del río Uldán muestra la capacidad de infiltración con relación a la cobertura vegetal en el (gráfico 16), obteniendo así bosque con la máxima capacidad de infiltración 6.6 mm/h en 17 minutos, la capacidad de infiltración mínima es de 2.4 mm/h en los cultivos, estos valores se asemejan a los resultados obtenidos en porosidad.

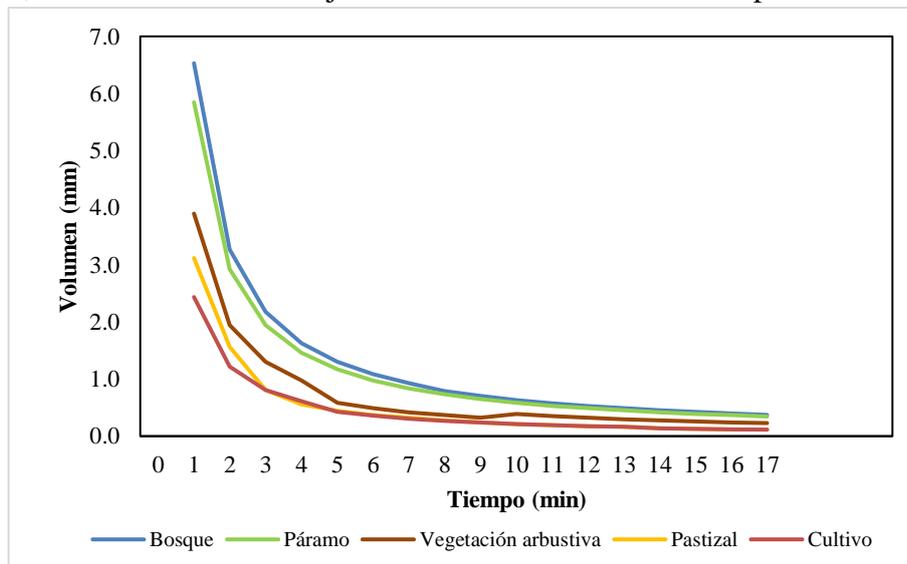


Gráfico 16. Capacidad de infiltración según cobertura vegetal en la M.R.U

Fuente: Autoras

Parámetros hidráulicos en la Quebrada Cachipata

Análisis de textura Q.C

En la (tabla 6), se evidencia la textura y valoración numérica que pertenece a la Quebrada teniendo a la vegetación herbácea arbustiva con valoración de 2 que pertenece a una textura arcillo limoso mientras que cultivo tiene una textura franca areno arcilloso con un valor de 5, seguido de bosque con una textura franco arcilloso de valoración 6 y finalmente la cobertura bosque con valoración 6 perteneciente a una textura franco arcilloso.

Tabla 6. Validación numérica textural de la cuenca de la Quebrada Cachipata

Clase	Textura	Valor de textura media
Bosque	Franco arcilloso	6
Pastizal	Franco limoso	8
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	2
Cultivo	Franco areno arcilloso	5

Fuente: Autoras

Cálculo de la porosidad Q.C

Los resultados obtenidos del porcentaje de porosidad se muestran en la (gráfica 17), donde la cobertura vegetal de pasto cultivado tiene un porcentaje de 64.5 %, seguido de cultivo de maíz con un 61.34%, estos porcentajes son altos debido a la concentración de raíces, la cobertura q tiene menor porcentaje de poros es la vegetación herbácea arbustiva, los valores obtenidos en si son altos debido a la textura que presentan y en la zona que se encuentran.

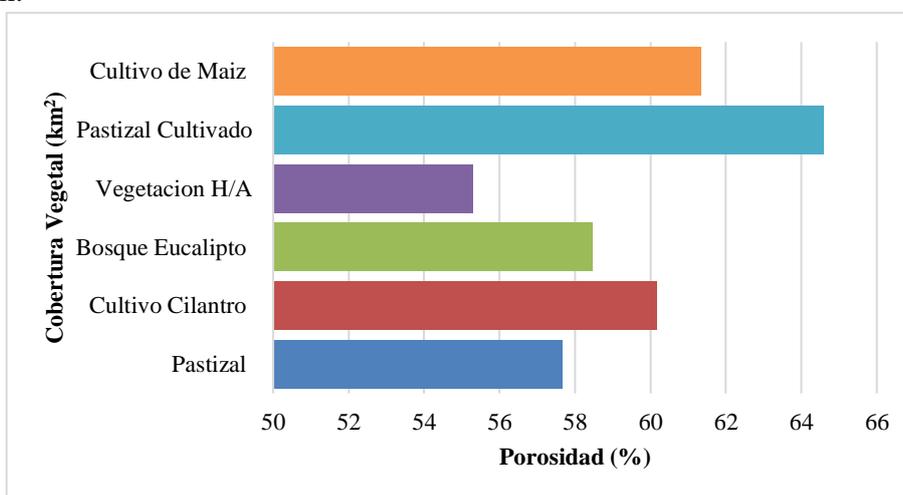


Gráfico 17. Porcentaje de porosidad según cobertura vegetal de Q.C

Fuente: Autoras

Cálculo de Materia Orgánica Q.C

La materia orgánica analizada se encuentra en el (gráfico 18), obteniendo así al pastizal cultivado un 10.29% de M.O. seguido por vegetación herbácea arbustiva con un 9.74% y valores intermedios entre 7 y 8 que corresponde a bosque y cultivos, el valor de materia orgánica bajo es de 4.98% perteneciente a pastizal esto se debe al sobre pastoreo.

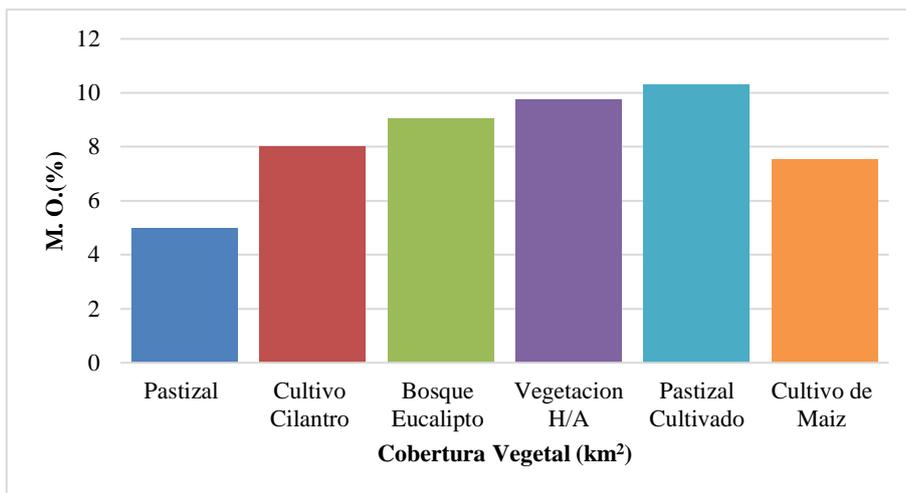


Gráfico 18. Porcentaje de materia orgánica según cobertura vegetal de Q.C

Fuente: Autoras

Cálculo de Permeabilidad Q.C

En el (gráfico 19), se observa la permeabilidad de la quebrada Cachipata en la cual el cultivo de cilantro presenta mayor permeabilidad con un 0.00297 m/s seguido de pastizal con un valor de 0.00295 m/s y valores intermedios entre bosque de eucalipto, cultivo de maíz y pasto cultivado, la vegetación arbustiva es la cobertura que menor permeabilidad presenta con 0.00194 m/s.

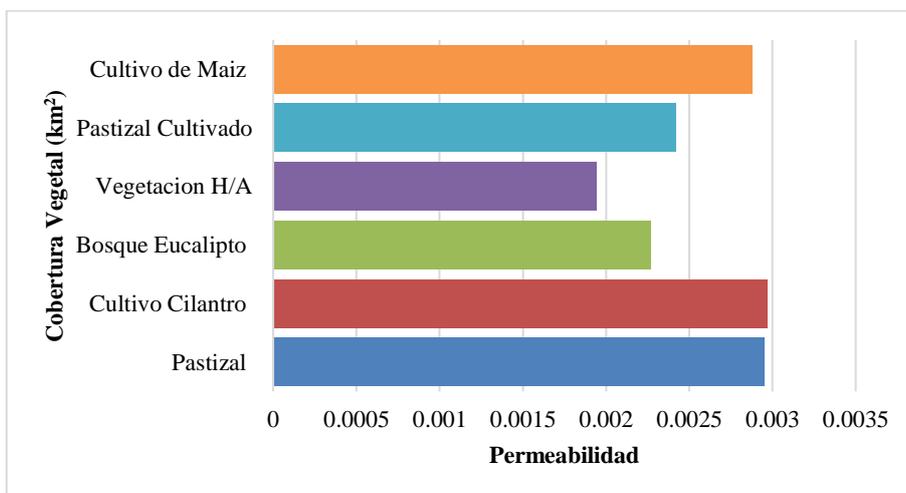


Gráfico 19. Permeabilidad según cobertura vegetal de Q.C

Fuente: Autoras

Capacidad de infiltración Q.C

En la Quebrada Cachipata contamos con cuatro coberturas vegetales con su respectiva capacidad de infiltración las mismas que presentan en el (gráfico 20), la capacidad máxima de infiltración obtenida pertenece a la cobertura pastizal con un valor de 5.7 mm/h, mientras que la capacidad mínima de infiltración es de 3.4 mm/h en la cobertura vegetal de tipo herbáceo arbustiva, la capacidad de infiltración tiene relación tanto con porosidad del suelo, la textura que presenta.

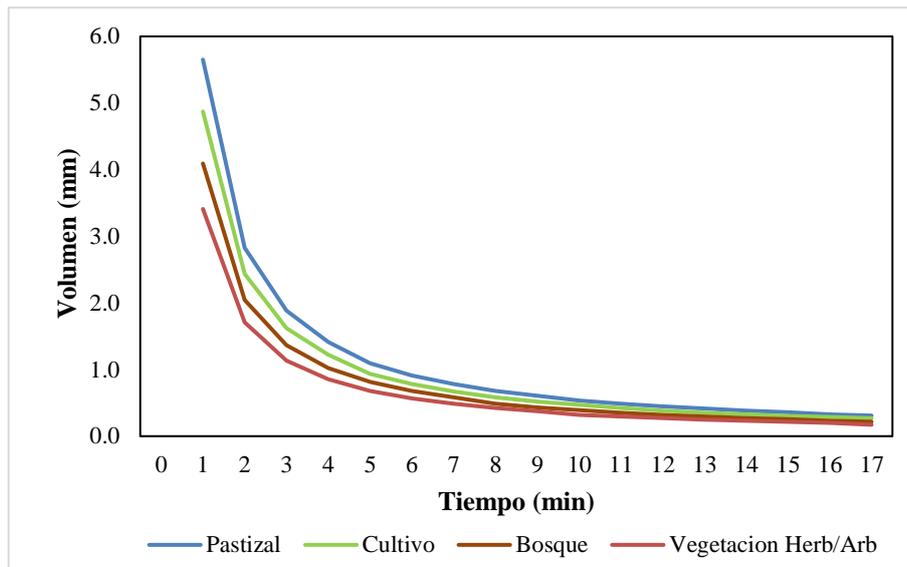


Gráfico 20. Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal de Q.C.

Fuente: Autoras

Capacidad de campo de las microcuencas del río Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Al determinar la capacidad de campo se debe tener en cuenta la relación que tiene con la cobertura vegetal, textura y taxonomía del suelo, a su vez la porosidad y la tasa de infiltración del suelo varían de acuerdo con la permeabilidad del subsuelo, para esto al suelo se lo clasifica en 4 HSG (A, B, C, D), según el porcentaje de infiltración mínima resultado del suelo desnudo después de la humidificación extendida.

Para asignar los grupos hidrológicos (tabla 7), se estableció de acuerdo con el uso y cobertura vegetal de la zona de estudio, asignando un rango numérico del 1 a 100 donde 100 son lugares que no son permeables como humedales, zonas urbanas, agua y nieve, etc., y 1 zonas con muy buena permeabilidad, además, para cultivo, páramo, pasto, vegetación herbáceo-arbustiva y bosque el CN se asignó en base a la vegetación y condición hidrológica.

Tabla 7. Asignación de HSG y CN para las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata

Microcuenca del río Ishpi			
Clase	Textura	HSG	CN
Bosque	Franco arenoso	B	60
Pastizal	Franco arcilloso	B	61
Vegetación herbácea arbustiva	Franco limo arcilloso	B	71
Cultivo	Franco limoso	B	75
Páramo	Franco limo arcilloso	B	61
Agua/ Nieve		D	99
Zona Urbana		D	99
Microcuenca río Daldal			
Bosque	Franco limo arcilloso	B	60

Pastizal	Arcilloso arenoso	B	59
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	C	65
Cultivo	Arcilloso arenoso	B	75
Páramo	Arcillo limoso	C	74
Agua/Nieve		D	99
Zona Urbana		D	99
Microcuenca río Uldán			
Bosque	Franco areno arcilloso	B	60
Pastizal	Franco limo arcilloso	B	59
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	C	65
Cultivo	Arcillo arenoso	B	75
Páramo	Arcillo limoso	C	74
Agua/Nieve		D	99
Zona Urbana		D	99
Microcuenca Quebrada Cachipata			
Bosque	Franco arcilloso	B	52
Pastizal	Franco limoso	B	59
Vegetación herbácea arbustiva	Arcillo limoso	B	65
Cultivo	Franco areno arcilloso	B	75
Agua/Nieve		D	99
Zona Urbana		D	99

Fuente: Autoras

Modelación para obtener la relación precipitación - escorrentía

Para determinar la relación que existe entre precipitación – escorrentía se usó el método SCS, utilizando datos de precipitación y temperatura diarios desde 1981 hasta el 2021, los datos fueron obtenidos de (Mendoza B. F., 2021), determinando la precipitación efectiva perdida y exceso, a su intervienen otros factores como tiempo de retardo, numero de curva y umbral de escorrentía. Este método nos dice que la abstracción inicial es de 20% en relación con la abstracción máxima del suelo, obteniendo así el 0.2 de las mismas.

Relación precipitación – escorrentía M.R.I

La relación de precipitación escorrentía en la microcuenca del río Ishpi (gráfico 21), muestra los valores de precipitación desde los años 1981 al 2021 en un lapso de 20 años, en el lapso de 2001 a 2021 con una precipitación de 22mm y una escorrentía de 35 en el año 2020.

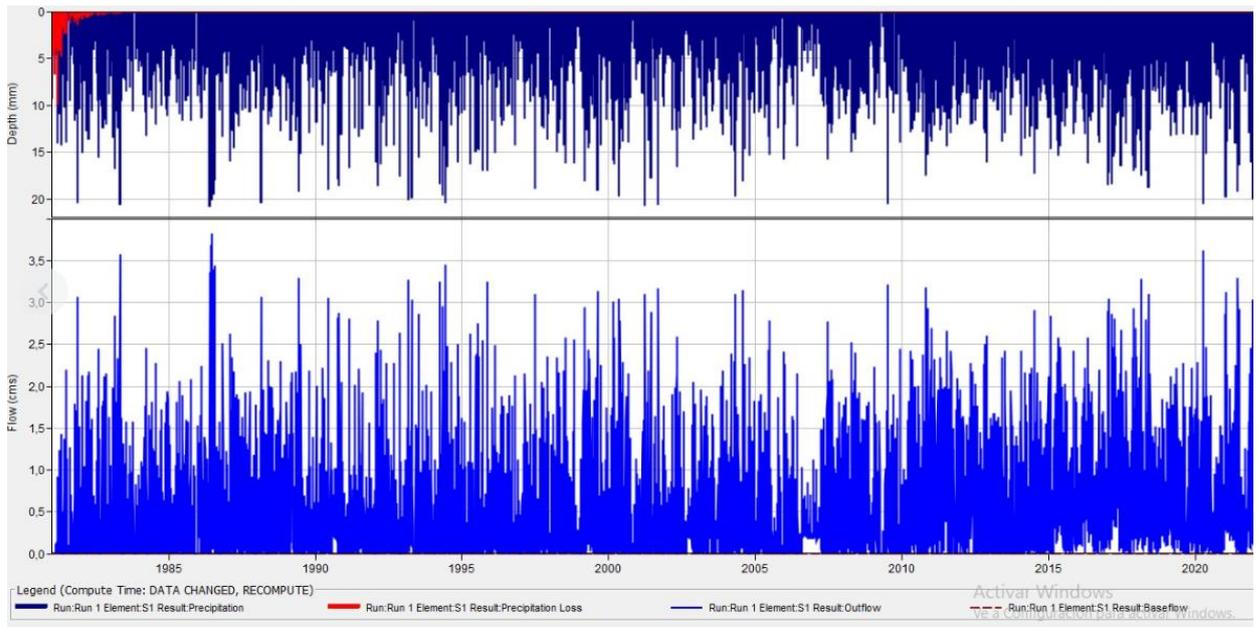


Gráfico 21. Relación precipitación - escorrentía año 1981 al 2021 M.R.I

Fuente: Autoras

Relación precipitación – escorrentía M.R.D

En la microcuenca del río Daldal la relación de precipitación - escorrentía se presenta en el siguiente (gráfico 22),

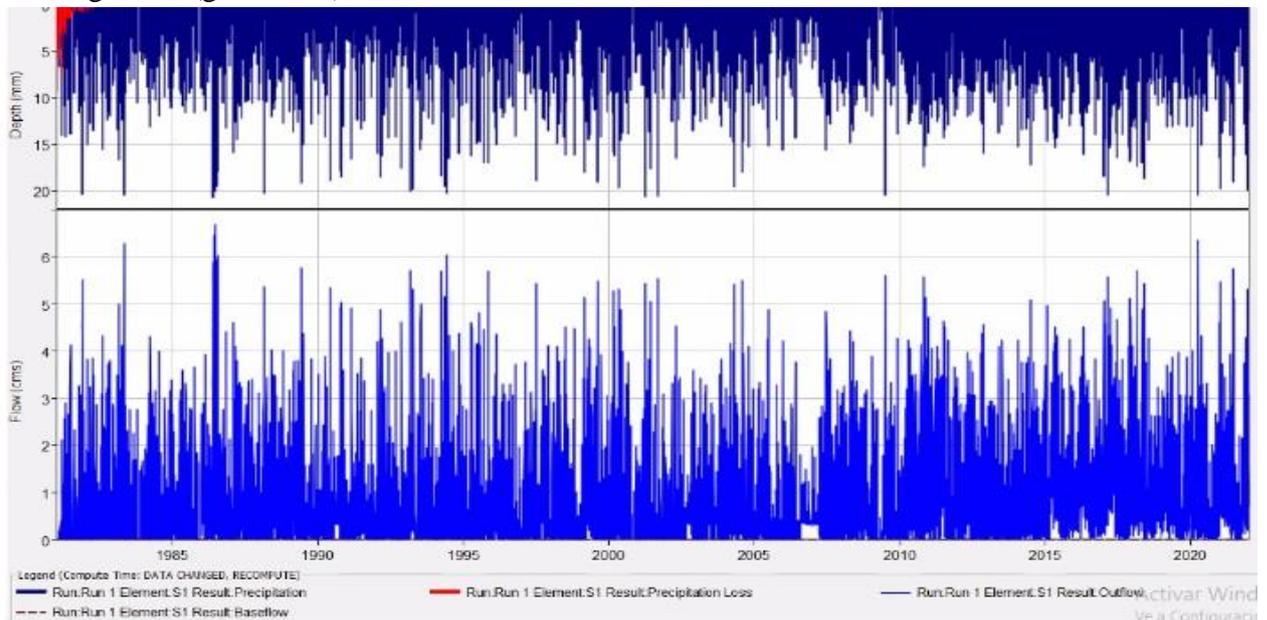


Gráfico 22. Relación precipitación – escorrentía año 1981 al 2021 M.R.D

Fuente: Autoras

Relación precipitación – escorrentía M.R.U

Mediante la metodología aplicada se determinó la relación precipitación - escorrentía de esta microcuenca demostrando que existen valores de precipitación mayores a 20 mm, y de escorrentía cercanos a 40mm (gráfico 23), los valores presentados son de un lapso de 20 años 1981-2021.

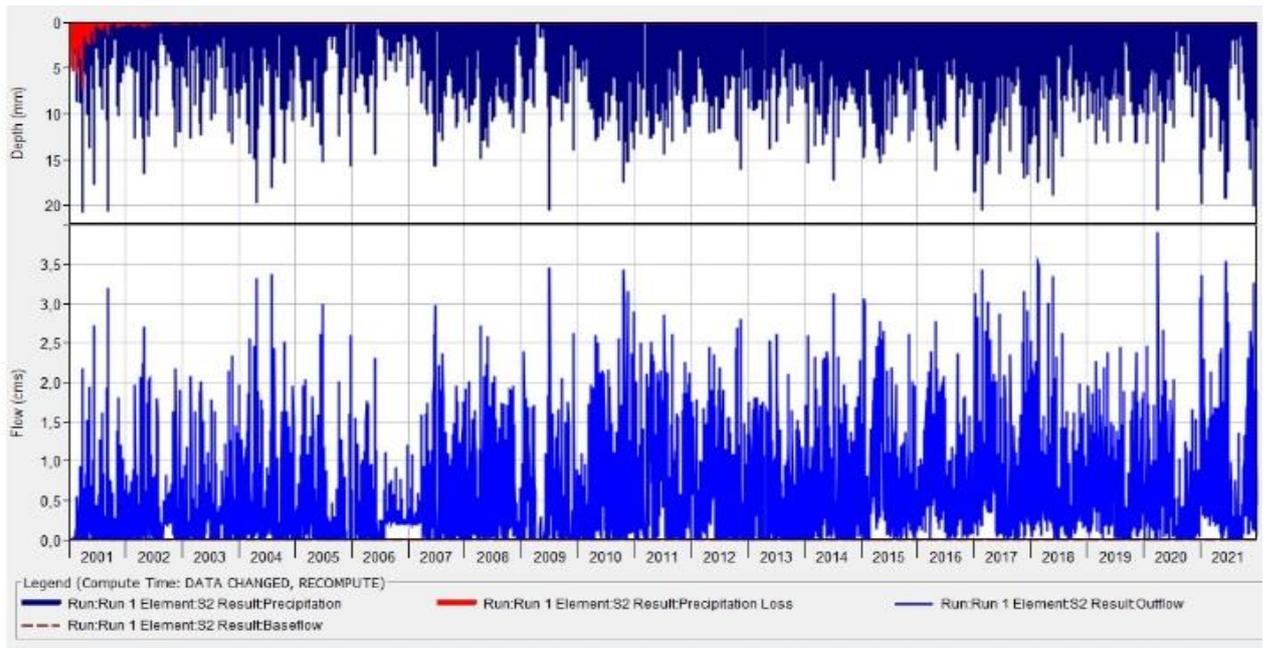


Gráfico 23. Relación precipitación - escorrentía año 1981 al 2021 M.R.U

Fuente: Autoras

Relación precipitación – escorrentía Q.C.

La relación precipitación - escorrentía determinadas mediante el método antes descrito demuestra que la quebrada Cachipata tiene valores de precipitación máximos superiores a 25 mm dando así una relación de escorrentía de 50 mm, estos valores fueron determinados desde el año 1981 al 2021, es decir lapso de 20 años.

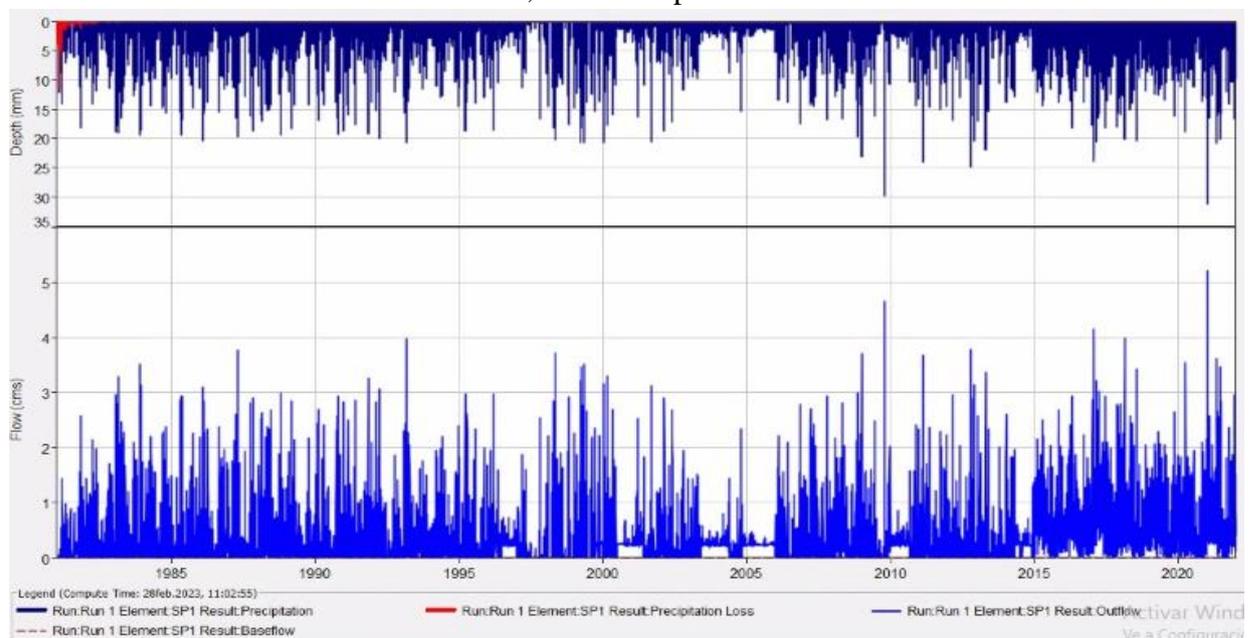


Gráfico 24. Relación precipitación – escorrentía año 1981 al 2021 Q.C.

Fuente: Autoras

Curva de duración de M.R.I

Obteniendo la curva de duración de la microcuenca del río Ishpi (gráfico 25), se observa el comportamiento del caudal en un tiempo de 20 años, la gráfica muestra el valor de caudal máximo en los primeros días siendo de $3.82 \text{ m}^3/\text{s}$ y su valor mínimo en los últimos días con un valor de $0.0021 \text{ m}^3/\text{s}$.

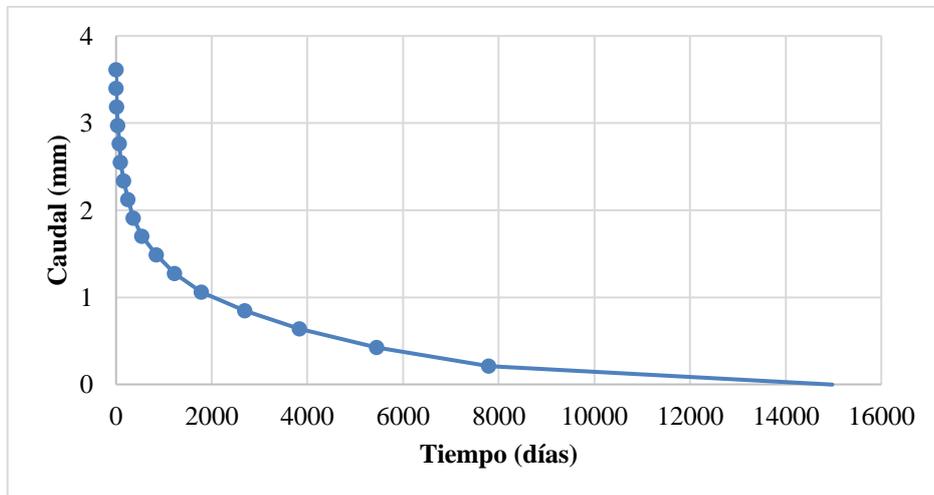


Gráfico 25. Curva de duración M.R.I

Fuente: Autoras

Curva de duración de M.R.D

La probabilidad de ocurrencia de caudales que se den de acuerdo con los días en la microcuenca del río Daldal (gráfico 26), en los primeros días del año se muestra el valor máximo de caudal con $6.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y en los últimos días un valor mínimo de $0.000037 \text{ m}^3/\text{s}$.

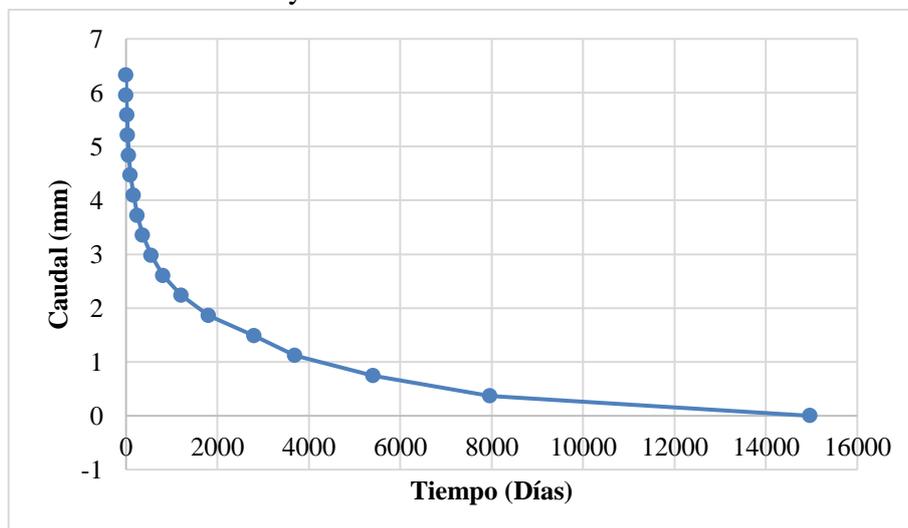


Gráfico 26. Curva de duración M.R.D

Fuente: Autoras

Curva de duración de M.R.U

La curva de duración de la microcuenca del río Uldán presenta un caudal de $13.1 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo este el valor máximo, con la obtención de un caudal de $0.00007 \text{ m}^3/\text{s}$ en el día 14 975.

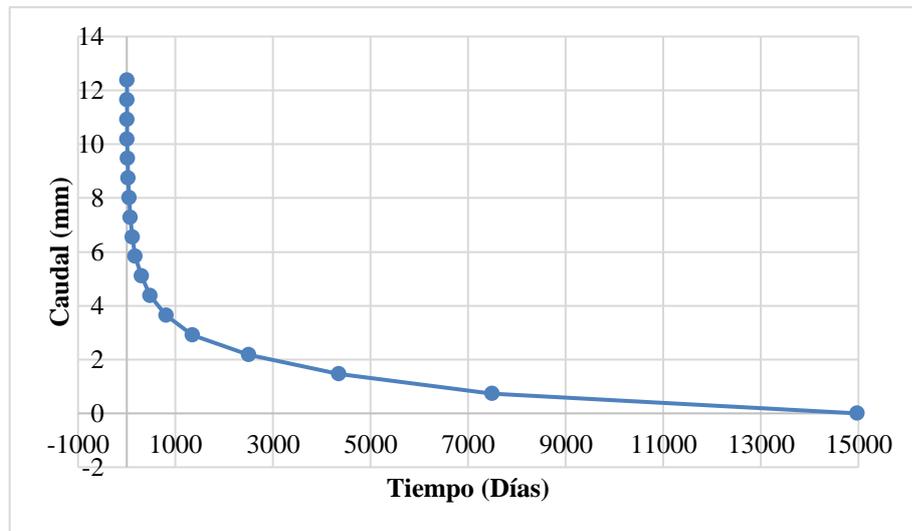


Gráfico 27. Curva de duración M.R.U

Fuente: Autoras

Curva de duración de Q.C

En la quebrada Cachipata (gráfica 28), proporciona información referente a la curva de duración en la que en los primeros días del año contamos con un caudal máximo de $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta obtener un valor de caudal mínimo 14 975 de $0.00002 \text{ m}^3/\text{s}$.

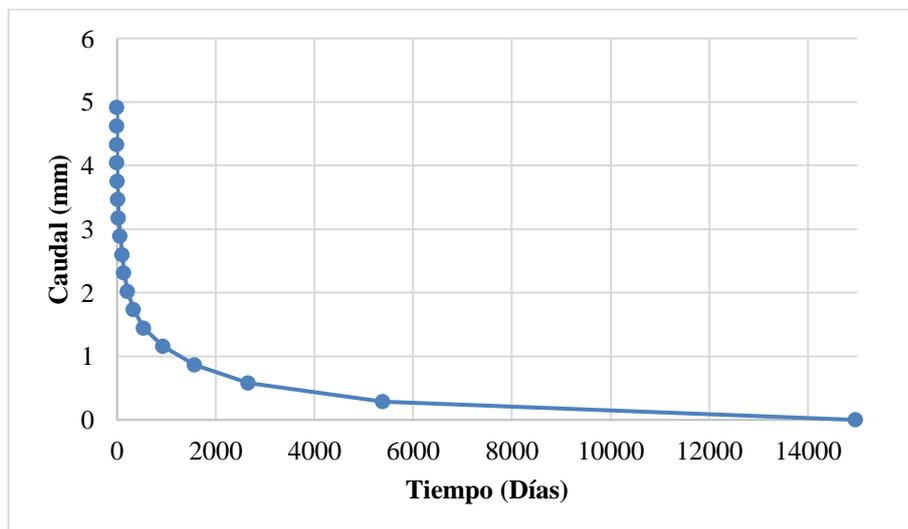


Gráfico 28. Curva de duración Q.C.

Fuente: Autoras

Oferta hídrica para la M.R.I

La oferta hídrica indica la cantidad de agua que puede ser aprovechada por una localidad, por la flora o fauna del sector, para esto mediante el modelo de precipitación - escorrentía determinamos el caudal máximo en la zona (anexo 5), con la metodología que se

aplicó calculamos el caudal ecológico, caudal autorizado, obteniendo así la oferta hídrica real de la microcuenca del río Ishpi con un valor de 0.388 m³/s.

Tabla 8. Oferta hídrica M.R.I

Años	Oferta hídrica calculada	Caudal ecológico	Caudal autorizado	Oferta hídrica real
1981	0,200210959	0,020021096	0,00015845	0,180031413
1982	0,330587397	0,03305874	0,00015845	0,297370208
1983	0,364252055	0,036425205	0,00015845	0,327668399
1984	0,361622404	0,03616224	0,00015845	0,325301714
1985	0,374550685	0,037455068	0,00015845	0,336937166
1986	0,585525205	0,058552521	0,00015845	0,526814235
1987	0,434874521	0,043487452	0,00015845	0,391228618
1988	0,470551913	0,047055191	0,00015845	0,423338271
1989	0,375864384	0,037586438	0,00015845	0,338119495
1990	0,326410137	0,032641014	0,00015845	0,293610673
1991	0,259757534	0,025975753	0,00015845	0,233623331
1992	0,291911202	0,02919112	0,00015845	0,262561632
1993	0,372423836	0,037242384	0,00015845	0,335023002
1994	0,406367945	0,040636795	0,00015845	0,365572701
1995	0,313779726	0,031377973	0,00015845	0,282243303
1996	0,302010929	0,030201093	0,00015845	0,271651386
1997	0,337665479	0,033766548	0,00015845	0,303740482
1998	0,342661644	0,034266164	0,00015845	0,308237029
1999	0,445349589	0,044534959	0,00015845	0,40065618
2000	0,395656011	0,039565601	0,00015845	0,35593196
2001	0,322416438	0,032241644	0,00015845	0,290016345
2002	0,305365205	0,030536521	0,00015845	0,274670235
2003	0,308098082	0,030809808	0,00015845	0,277129824
2004	0,403213115	0,040321311	0,00015845	0,362733353
2005	0,311229041	0,031122904	0,00015845	0,279947687
2006	0,24811726	0,024811726	0,00015845	0,223147084
2007	0,413733151	0,041373315	0,00015845	0,372201386
2008	0,553592077	0,055359208	0,00015845	0,498074419
2009	0,392292055	0,039229205	0,00015845	0,352904399
2010	0,643583014	0,064358301	0,00015845	0,579066262
2011	0,741123014	0,074112301	0,00015845	0,666852262
2012	0,573397541	0,057339754	0,00015845	0,515899337
2013	0,418330959	0,041833096	0,00015845	0,376339413
2014	0,561397534	0,056139753	0,00015845	0,505099331
2015	0,651427945	0,065142795	0,00015845	0,586126701
2016	0,604506557	0,060450656	0,00015845	0,543897452

2017	0,69649589	0,069649589	0,00015845	0,626687851
2018	0,600460822	0,060046082	0,00015845	0,54025629
2019	0,578734795	0,057873479	0,00015845	0,520702865
2020	0,452519399	0,04525194	0,00015845	0,407109009
2021	0,621010685	0,062101068	0,00015845	0,558751166
Promedi	0,431538491	0,043153849	0,00015845	0,388226192

Fuente: Autoras

Oferta hídrica para la M.R.D

En la microcuenca del río Daldal tenemos una oferta hídrica real (caudal ofertado) de 0,680 m³/s, obtenido mediante una resta entre los caudales medio ecológico y autorizado (tabla 9), la oferta hídrica real que se oferta podrá ser aprovechada por la zona de estudio tanto para actividades agrícolas, pecuarias y consumo humano.

Tabla 9. Oferta hídrica M.R.D

Años	Oferta hídrica calculada	Caudal ecológico	Caudal autorizado	Oferta hídrica real
1981	0,38273973	0,03827397	0,000166012	0,34429974
1982	0,58383562	0,05838356	0,000166012	0,52528604
1983	0,64109589	0,06410959	0,000166012	0,57682029
1984	0,63497268	0,06349727	0,000166012	0,5713094
1985	0,65780822	0,06578082	0,000166012	0,59186139
1986	1,02630137	0,10263014	0,000166012	0,92350522
1987	0,75945205	0,07594521	0,000166012	0,68334084
1988	0,82103825	0,08210383	0,000166012	0,73876841
1989	0,65753425	0,06575342	0,000166012	0,59161481
1990	0,57150685	0,05715068	0,000166012	0,51419015
1991	0,45260274	0,04526027	0,000166012	0,40717645
1992	0,51010929	0,05101093	0,000166012	0,45893235
1993	0,65232877	0,06523288	0,000166012	0,58692988
1994	0,70876712	0,07087671	0,000166012	0,6377244
1995	0,54767123	0,05476712	0,000166012	0,4927381
1996	0,52814208	0,05281421	0,000166012	0,47516186
1997	0,59041096	0,0590411	0,000166012	0,53120385
1998	0,59808219	0,05980822	0,000166012	0,53810796
1999	0,77945205	0,07794521	0,000166012	0,70134084
2000	0,69125683	0,06912568	0,000166012	0,62196514
2001	0,56493151	0,05649315	0,000166012	0,50827234
2002	0,5369863	0,05369863	0,000166012	0,48312166
2003	0,53534247	0,05353425	0,000166012	0,48164221
2004	0,70737705	0,0707377	0,000166012	0,63647333
2005	0,54410959	0,05441096	0,000166012	0,48953262
2006	0,43260274	0,04326027	0,000166012	0,38917645

2007	0,72191781	0,07219178	0,000166012	0,64956002
2008	0,9715847	0,09715847	0,000166012	0,87426022
2009	0,68739726	0,06873973	0,000166012	0,61849152
2010	1,12520548	0,11252055	0,000166012	1,01251892
2011	1,29643836	0,12964384	0,000166012	1,16662851
2012	1,00519126	0,10051913	0,000166012	0,90450612
2013	0,73178082	0,07317808	0,000166012	0,65843673
2014	0,98246575	0,09824658	0,000166012	0,88405317
2015	1,14246575	0,11424658	0,000166012	1,02805317
2016	1,06147541	0,10614754	0,000166012	0,95516186
2017	1,21890411	0,12189041	0,000166012	1,09684769
2018	1,07287671	0,10728767	0,000166012	0,96542303
2019	1,01534247	0,10153425	0,000166012	0,91364221
2020	0,79234973	0,07923497	0,000166012	0,71294874
2021	1,0860274	0,10860274	0,000166012	0,97725865
Promedio	0,75677758	0,07567776	0,000166012	0,68093381

Fuente: Autoras

Oferta hídrica para la M.R.U

La microcuenca del río Uldán muestra una oferta hídrica real de 1,04 m³/s (tabla 10), la cual es aprovechada por el sector para sus labores diarias, este caudal ofertado se obtuvo de la sustracción del caudal de la oferta calculada, caudal ecológico y caudal autorizado (anexo 5).

Tabla 10. Oferta hídrica M.R.U

Años	Oferta hídrica calculada	Caudal ecológico	Caudal autorizado	Oferta hídrica real
1981	0,66821918	0,06682192	0,00086469	0,60053257
1982	0,83287671	0,08328767	0,00086469	0,74872435
1983	0,86876712	0,08687671	0,00086469	0,78102572
1984	0,93551913	0,09355191	0,00086469	0,84110252
1985	0,95643836	0,09564384	0,00086469	0,85992983
1986	0,7969863	0,07969863	0,00086469	0,71642298
1987	1,10931507	0,11093151	0,00086469	0,99751887
1988	1,52759563	0,15275956	0,00086469	1,37397138
1989	0,94109589	0,09410959	0,00086469	0,84612161
1990	1,40547945	0,14054795	0,00086469	1,26406682
1991	1,40027397	0,1400274	0,00086469	1,25938189
1992	1,10874317	0,11087432	0,00086469	0,99700416
1993	0,85315068	0,08531507	0,00086469	0,76697093
1994	1,23972603	0,1239726	0,00086469	1,11488873
1995	2,28109589	0,22810959	0,00086469	2,05212161
1996	2,15355191	0,21535519	0,00086469	1,93733203

1997	2,53232877	0,25323288	0,00086469	2,2782312
1998	2,24986301	0,2249863	0,00086469	2,02401202
1999	2,13424658	0,21342466	0,00086469	1,91995723
2000	1,6489071	0,16489071	0,00086469	1,4831517
2001	2,32356164	0,23235616	0,00086469	2,09034079
2002	0,5369863	0,05369863	0,00086469	0,48242298
2003	0,53534247	0,05353425	0,00086469	0,48094353
2004	0,70737705	0,0707377	0,00086469	0,63577465
2005	0,54410959	0,05441096	0,00086469	0,48883394
2006	0,43260274	0,04326027	0,00086469	0,38847778
2007	0,72191781	0,07219178	0,00086469	0,64886134
2008	0,9715847	0,09715847	0,00086469	0,87356154
2009	0,68739726	0,06873973	0,00086469	0,61779284
2010	1,12520548	0,11252055	0,00086469	1,01182024
2011	1,29643836	0,12964384	0,00086469	1,16592983
2012	1,00519126	0,10051913	0,00086469	0,90380744
2013	0,73178082	0,07317808	0,00086469	0,65773805
2014	0,98246575	0,09824658	0,00086469	0,88335449
2015	1,14246575	0,11424658	0,00086469	1,02735449
2016	1,06147541	0,10614754	0,00086469	0,95446318
2017	1,21890411	0,12189041	0,00086469	1,09614901
2018	1,07287671	0,10728767	0,00086469	0,96472435
2019	1,01534247	0,10153425	0,00086469	0,91294353
2020	0,79234973	0,07923497	0,00086469	0,71225006
2021	1,0860274	0,10860274	0,00086469	0,97655997
Promedio	1,16184348	0,11618435	0,00086469	1,04479444

Fuente: Autoras

Oferta hídrica para la Q. C.

En la quebrada Cachipata tenemos un caudal ofertado de $0,27\text{m}^3/\text{s}$, este caudal es el agua que se encuentra disponible para satisfacer la demanda generada en la zona, los valores se obtuvieron mediante la aplicación del modelo precipitación – escorrentía.

Tabla 11. Oferta hídrica Q.C

Años	Oferta hídrica calculada	Caudal ecológico	Caudal autorizado	Oferta hídrica real
1981	0,15643836	0,01564384	0,00024471	0,14054981
1982	0,24931507	0,02493151	0,00024471	0,22413885
1983	0,36438356	0,03643836	0,00024471	0,3277005
1984	0,29234973	0,02923497	0,00024471	0,26287004
1985	0,21205479	0,02120548	0,00024471	0,19060461
1986	0,25315068	0,02531507	0,00024471	0,22759091

1987	0,19753425	0,01975342	0,00024471	0,17753611
1988	0,33469945	0,03346995	0,00024471	0,3009848
1989	0,22493151	0,02249315	0,00024471	0,20219365
1990	0,22767123	0,02276712	0,00024471	0,2046594
1991	0,24164384	0,02416438	0,00024471	0,21723474
1992	0,18852459	0,01885246	0,00024471	0,16942742
1993	0,29479452	0,02947945	0,00024471	0,26507036
1994	0,24109589	0,02410959	0,00024471	0,21674159
1995	0,20876712	0,02087671	0,00024471	0,1876457
1996	0,24043716	0,02404372	0,00024471	0,21614873
1997	0,08219178	0,00821918	0,00024471	0,07372789
1998	0,26547945	0,02654795	0,00024471	0,2386868
1999	0,37123288	0,03712329	0,00024471	0,33386488
2000	0,3204918	0,03204918	0,00024471	0,28819791
2001	0,22164384	0,02216438	0,00024471	0,19923474
2002	0,20958904	0,0209589	0,00024471	0,18838543
2003	0,21342466	0,02134247	0,00024471	0,19183748
2004	0,19453552	0,01945355	0,00024471	0,17483726
2005	0,22630137	0,02263014	0,00024471	0,20342652
2006	0,20958904	0,0209589	0,00024471	0,18838543
2007	0,26575342	0,02657534	0,00024471	0,23893337
2008	0,3795082	0,03795082	0,00024471	0,34131267
2009	0,21616438	0,02161644	0,00024471	0,19430324
2010	0,28054795	0,02805479	0,00024471	0,25224844
2011	0,24520548	0,02452055	0,00024471	0,22044022
2012	0,2079235	0,02079235	0,00024471	0,18688644
2013	0,16931507	0,01693151	0,00024471	0,15213885
2014	0,25287671	0,02528767	0,00024471	0,22734433
2015	0,63561644	0,06356164	0,00024471	0,57181008
2016	0,60382514	0,06038251	0,00024471	0,54319791
2017	0,72328767	0,07232877	0,00024471	0,65071419
2018	0,63424658	0,06342466	0,00024471	0,57057721
2019	0,60821918	0,06082192	0,00024471	0,54715255
2020	0,46775956	0,04677596	0,00024471	0,4207389
2021	0,67835616	0,06783562	0,00024471	0,61027584
Promedio	0,30758236	0,03075824	0,00024471	0,27657941

Fuente: Autoras

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, se realizó una clasificación supervisada mediante el uso de imágenes satelitales, las mismas permitieron identificar tipos de coberturas vegetales en las zonas de estudio: bosques,

páramo, vegetación herbáceo arbustiva, cultivos, pastizal, nieve y agua, zona urbana, determinando la ubicación de los puntos de muestreo de las microcuencas antes mencionadas, las coberturas vegetales muestreadas fueron bosque, paramo, vegetación herbáceo arbustiva, cultivos, pastizal, para el trabajo in situ con las muestras obtenidas analizamos porosidad, materia orgánica, permeabilidad, textura e infiltración, donde se evidenció desgaste de suelos debido a las actividades antrópicas de la zona y los altos porcentajes de pendiente presentes.

Los valores obtenidos del CN fueron analizados dependiendo la textura y cobertura vegetal de las zonas muestreadas, pudimos evidenciar que las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata se encuentran en parte de la zona rural, los suelos de esta zona son utilizada para la agricultura y ganadería, en las coberturas vegetales de nieve y agua, zona urbana no poseen capacidad para la retención de agua ya que serían suelos impermeables.

El modelo realizado en el programa HEC-HMS (precipitación – escorrentía), es una manera de conocer la realidad hidrológica que se da en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y la quebrada Cachipata donde intervienen variables como es la temperatura, evapotranspiración, precipitación efectiva, infiltración, perdidas y excesos, a su vez el uso de anuarios meteorológico mismos que permitieron la calibración del modelo y su optimización donde mostro valores que se asemejan más a la realidad para determinar la oferta hídrica de cada cuenca estudiada.

Las zonas urbanas, cuerpo de agua y nieven son las coberturas vegetales que poseen una permeabilidad nula de retención dando así valores directos de precipitación escorrentía, mientras que para las otras coberturas donde hay un potencial máximo de retención la escorrentía disminuye, siendo así el potencial máximo de retención afectado directamente por la retención de agua en el subsuelo.

Al analizar los periodos de retorno en 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años de cada una de las cuencas se demostró que las interacciones y % de tolerancia afectan de manera directa a la transformación precipitación – escorrentía dados en largos periodos de tiempo.

Finalmente, los valores calculados en la modelación de HEC-HMS se obtuvo la oferta hídrica de cada una de las cuencas, siendo la cuenca del río Uldán quien tiene un valor de caudal ofertado más alto debido a su extensión en área 1,004 m³/s, seguido de la microcuenca del río Daldal con 0,68 m³/s, microcuenca del río Ishpi con 0,38 m³/s, por último, la Quebrada Cachipata con 0,27 m³/s.

RECOMENDACIONES

Para el trabajo de imágenes satelitales es recomendable que éstas tengan una buena resolución y que sean imágenes actuales para no presentar errores a posterior durante la realización de la clasificación supervisada.

Se debe dar información a la población sobre la importancia de los cuidados de caudales para que las malas prácticas agrícolas y ganaderas para que no sigan afectando a las microcuencas de las zonas de estudio.

Realizar estudios en ciertos periodos de tiempo para analizar cómo va la evolucionando la zona en el pasar del tiempo debido a ciertas actividades que son desarrolladas en la misma.

Al momento de usar el programa Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System se recomienda tener conocimientos básicos para poder realizar el modelo precipitación – escorrentía con una buena optimización que nos den valores más cercanos a la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Gómez, D. A., & Páez Rivera, L. N. (2016). Evaluación temporal del método Número de Curva de Escorrentía en una hoya hidrográfica sub-urbana a través de modelos ARIMA: Estudio de caso quebrada La vieja [UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS]. En *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4571>
- Alfonso Moreno, P. E. (2016). Determinación de la oferta hídrica superficial de la cuenca del río machetá cundinamarca (jurisdicción car), como parte de la evaluación regional del agua (era). *Universidad El Bosque*, 1–116.
- Altieri, M., & Nicholls, I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático. *Agroecología*, 8(1), 7–20. [https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921/152421%0Afile:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto del artículo-664981-1-10-20130923 \(3\).pdf%0Afile:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto del artículo-664981-1-10-20130923 \(1\).pdf](https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921/152421%0Afile:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto%20del%20articulo-664981-1-10-20130923(3).pdf%0Afile:///C:/Users/PC/Downloads/182921-Texto%20del%20articulo-664981-1-10-20130923(1).pdf)
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48, 55–66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Bravo Morales, N. F. (2017). Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER LIT y MODIS. *Geomática ambiental S.R.L.*, 105. <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>
- Camacho López, C., Zabala Alarcón, N., & Flores Carpio, Y. (2020). Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas - Ecuador utilizando permeámetro de carga variable. *Dominio de las ciencias*, 6(3), 78–94.
- Carlosama, D. (2020). *Análisis de la relación entre permeabilidad efectiva y permeabilidad absoluta en el reservorio Hollín del campo XI, mediante la interpretación de pruebas de presión y correlación con pruebas de núcleos* (Número Figura 1) [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20924/1/T-UCE-0012-FIG-195.pdf>
- Cartaya, S., Zurita, S., & Rodríguez, E. (2015). Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre , Marino y Costero Pacoche , provincia de Manabí , Ecuador Supervised classification for selection of sampling areas the cinegetic spe. *Revista de Investigación*, 39(85), 51–62. <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376143541004.pdf>
- Chidichimo, F., Mendoza, B. T., De Biase, M., Catelan, P., Straface, S., & Di Gregorio, S. (2018). Hydrogeological modeling of the groundwater recharge feeding the Chambo aquifer, Ecuador. *AIP Conference Proceedings*, 2022(November 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5060683>
- Córdova Gutierrez, D., Paredes Méndez, D., & Alulema del Salto, R. (2017). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 31–41. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.53>

- Cruz Romero, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., & Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 26–34. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2015643592>
- Cruz, E., Chela, E., Monar, C., Valverde, F., & Cartagena, Y. (2001). X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. *Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, XII*, 1–10.
- Diaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determination of curve number in Betancí subwatershed (Córdoba, Colombia) through remote sensing and GIS. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452–470. <https://doi.org/10.14482/inde.35.2.10171>
- Garay, D., & Agüero, J. (2018). Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón. *Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio*, 1–9. <https://inta.gob.ar/documentos/delimitacion-hidrografica-y-caracterizacion-morfometrica-de-la-cuenca-del-rio-anzulon-1>
- Espinales Cedeño, F., Alulema del Salto, R., & Caicedo Toro, M. (2021). Determinación del Número de Curva (CN) de la cuenca del Río Portoviejo. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, February, 6.
- Ferreira, A. (2016). La observación de la tierra desde el espacio. imágenes satelitales: un recurso disponible. *Imágenes Satelitales*, 10(31), 57–61. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_la_observacion_de_la_tierra_desde_el_espacio._imagenes_satelitales_un_recurso_disponible.pdf
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Sinisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas Libros de Cátedra* (Universidad Nacional de La Plata, Ed.; Primera ed). https://www.researchgate.net/publication/346250745_Elementos_metodologicos_para_el_manejo_de_cuencas_hidrograficas/related
- González Barrios, J. L., González Cervantes, G., & Chávez Ramírez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 21–32.
- Guerra Amán, M. J. (2019). Estimación de la variabilidad espacial y temporal de la escurrimiento en microcuencas que drenan los páramos del Ecuador [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. En *Facultad de Ingeniería química y Agroindustrial*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>
- Guerrero, R., David, S., & Vazquez, D. (2015). Análisis geomorfológico de la cuenca del río mazán. *Researchgate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3101.0165>
- Iturralde Ruiz, S., & Fiallos Salguero, M. (2019). *Determinación de la capacidad de campo de las microcuencas de los ríos Chibunga y Guano* [Universidad Nacional De Chimborazo]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>
- Larrea Berrones, A., & Maldonado Chávez, C. (2022). *Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge , en la provincia de Chimborazo*. Universidad Nacional De Chimborazo.

- Lee, B. J., Lee, J. H., Yoon, H., & Lee, E. (2015). Hydraulic experiments for determination of in-situ hydraulic conductivity of submerged sediments. *Scientific Reports*, 5, 1–5. <https://doi.org/10.1038/srep07917>
- León Castro, M., & Villacís Heredia, C. (2020). Análisis de correlación de las variables identificadas en las cuencas hidrográficas de Pichincha y Sucumbíos , Ecuador . Correlational analysis of the variables identified in the hydrographic basins of Pichincha and Sucumbíos , Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 10(1), 83–91.
- Lux Cardona, B. (2013). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *Maestría en Energía y Ambiente diferentes*, 5.
- Duarte, M., & Gallegos, R. (2019). Diseño de un permeámetro líquido. *Escuela Politécnica Del Litoral*, 27(2), 58–66.
- Martínez Valdés, Y., & Villalejo García, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos The integrated water resources management: a nowadays need. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XXXIX(1), 58–72.
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., Lowy, D., Vágó, I., & Sándor, Z. (2021). Determination of field capacity in the Chibunga and Guano rivers micro-basins. *F1000Research*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.28143.1>
- Monterroso Tobar, M. (2013). Guía Práctica: Clasificación De Imágenes Satelitales. *Software*, 31.
- Ojeda García, F. C. (2017). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1–55. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14598/1/UPS-QT12240.pdf>
- Ortiz Godoy, M. G. (2019). *Análisis de los efectos de la erupción del volcán Tungurahua a través del procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, para tomar medidas de protección civil*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Patiño Vaca, N. E. (2021). Caracterización hidrológica y análisis de escenarios de cambio climático de la unidad Cebadas ubicada en la cuenca del río Chambo, (Ecuador) con el programa hydrobid. *Universidad de Alcalá*, 10.
- Sánchez, S. R. J. (2013). El ciclo hidrológico. *Gestión y planificación hidrológica : cursos de verano 2001*, 19(1), 29–37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=1432788>
- Úbeda Rivera, J. S., & Delgado Dallatorre, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 4(7), 889–896. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>
- UNESCO. (2011). Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas. *Programa Hidrológico Internacional (PHI)*, 2, 1–23.
- Valarezo Manosalvas, L., Valarezo manosalvas, C., & Mancino Valdivieso, M. (2020). Producción Agropecuaria Sostenible En Suelos Arcillosos Del Piso Templado Andino Del Sur Del Ecuador. En *Universidad Nacional de Loja* (Vol. 7, Número 2). EDILOJA Cía. Ltda.

- Wróbel, M., & Boczoń, A. (2021). Determining the potential retention of a forest catchment based on the CN parameter. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 2145–2148. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00938-z>
- Yuan, W., Liu, M., & Wan, F. (2019). Calculation of Critical Rainfall for Small-Watershed Flash Floods Based on the HEC-HMS Hydrological Model. *Water Resources Management*, 33(7), 2555–2575. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02257-0>

ANEXOS

Anexo 1.-Números de curva de escorrentía según su cobertura

Tabla 12. Número de curva según la cobertura de pastizales áridos y semiáridos

TIPO DE COBERTURA	Condición	Grupo Hidrológico del Suelo			
		Hidrológica A	B	C	D
Herbácea: mezcla de hierba, maleza y cepillo de bajo crecimiento, con el cepillo Elemento menor.	Pobre	-----	90	80	93
	Medio	-----	71	81	89
	Bueno	-----	62	74	85
Roble-aspen - mezcla de cepillo de montaña de álamo de roble álamo temblón, caoba de montaña, pincel amargo, arce, otros cepillos.	Pobre	-----	66	74	79
	Medio	-----	48	57	63
	Bueno	-----	30	41	48
Pinyon-enebro (Pino): pinyon, enebro o ambos; sotobosque de hierba	Pobre	-----	75	85	89
	Medio	-----	58	73	80
	Bueno	-----	41	61	71
Artemisa con sotobosque de hierba	Pobre	-----	67	80	85
	Medio	-----	51	63	70
	Bueno	-----	35	47	55
Arbusto del desierto, las plantas más importantes incluyen el saltbush, Greasewood, Creosotebush, Blackbrush, Bursage, palo verde, mezquite y cactus	Pobre	63	77	85	88
	Medio	55	72	81	86
	Bueno	49	68	79	84

Fuente (Mendoza B. F., 2021)

Tabla 13. Número de curva para la escorrentía

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN	TIPO DE SUELO				
		HIDROLÓGICA	A	B	C	D	
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94	
	CR	Pobre	76	85	90	93	
	CR	Buena	74	83	88	90	
	R	Pobre	72	81	88	91	
	R	Buena	67	78	85	89	
	R + CR	Pobre	71	80	87	90	
	R + CR	Buena	64	75	82	85	
Cultivos alineados	C	Pobre	70	79	84	88	
	C	Buena	65	75	82	86	
	C + CR	Pobre	69	78	83	87	
	C + CR	Buena	64	74	81	85	
	C + T	Pobre	66	74	80	82	
	C + T	Buena	62	71	78	81	
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81	
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80	
	R	Pobre	65	76	84	88	
	R	Buena	63	75	83	87	
	R + CR	Pobre	64	75	83	86	
	R + CR	Buena	60	72	80	84	
	C	Pobre	63	74	82	85	
	Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84	
	C + CR	Buena	60	72	80	83	
	C + T	Pobre	61	72	79	82	
C + T	Buena	59	70	78	81		
C + T + CR	Pobre	60	71	78	81		
C + T + CR	Buena	58	69	77	80		
R	Pobre	66	77	85	89		
R	Buena	58	72	81	85		
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	C	Pobre	64	75	83	85	
	C	Buena	55	69	78	83	
	C + T	Pobre	63	73	80	83	
	C + T	Buena	51	67	76	80	
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89	
	-	Regulares	49	69	79	84	
	-	Buenas	39	61	74	80	
	C	Pobres	47	67	81	88	
Pastizales	C	Regulares	25	59	75	83	
	C	Buenas	6	35	70	79	
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78	
	-	Pobres	48	67	77	83	
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Regulares	35	56	70	77	
	-	Buenas	≤30	48	65	73	
	-	Pobres	57	73	82	86	
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Regulares	43	65	76	82	
	-	Buenas	32	58	72	79	
	-	Pobres	45	66	77	83	
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Regulares	36	60	73	79	
	-	Buenas	25	55	70	77	
	-	I Muy pobre	56	75	86	91	
	-	II Pobre	46	68	78	84	
	-	III Regular	36	60	70	76	
Bosques	-	IV Buena	26	52	63	69	
	-	V Muy buena	15	44	54	61	
	-	-	59	74	82	86	
Caseríos	-	-	72	82	87	89	
Caminos en tierra	-	-	74	84	90	92	
Caminos en firme	-	-	-	-	-	-	

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Fuente (Mendoza B. F., 2021)

Anexo 2. Asignación numérica general para texturas de acuerdo con el tipo de suelo

Tabla 14. Clase textural

Tipo de suelo	Valor
Arenoso	12
Arenoso franco	11
Franco arenoso	10
Franco	9
Franco limoso	8
Limoso	7
Franco arcilloso	6
Franco areno arcilloso	5
Franco limo arcilloso	4
Arcilloso arenoso	3
Arcilloso limoso	2
Arcilloso	1

Fuente: Autoras

Anexo 3. Modelo relación escorrentía 2001 – 2021

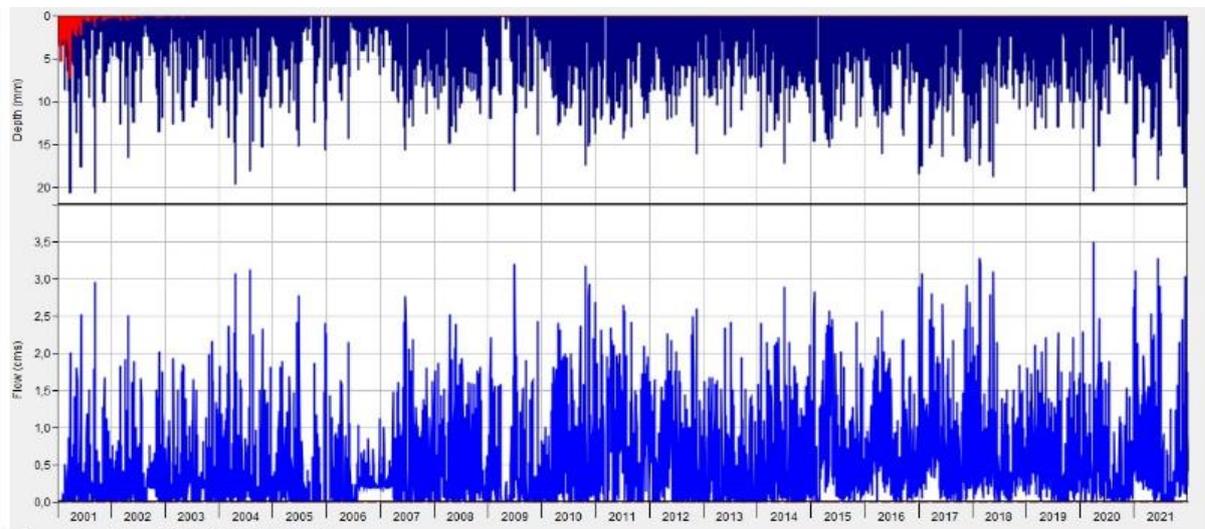


Gráfico 29. Relación precipitación escorrentía (SI, 2001 – 2021) de la M.R.I

Fuente: Autoras

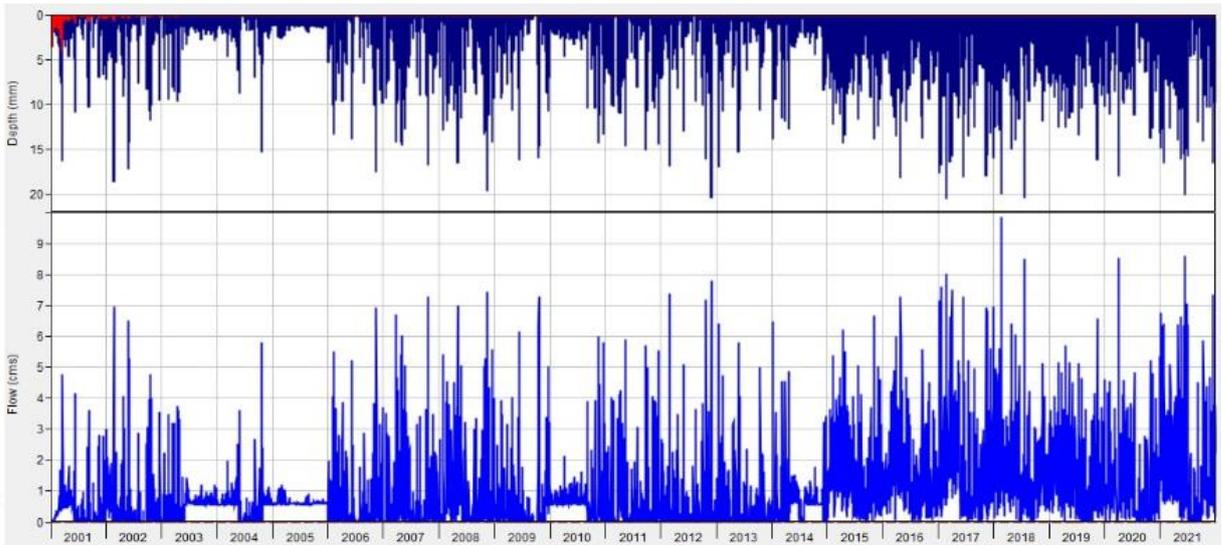


Gráfico 30. Relación precipitación escorrentía (S1, 2001 – 2021) de la M.R.U

Fuente: Autoras

Fuente: Autoras

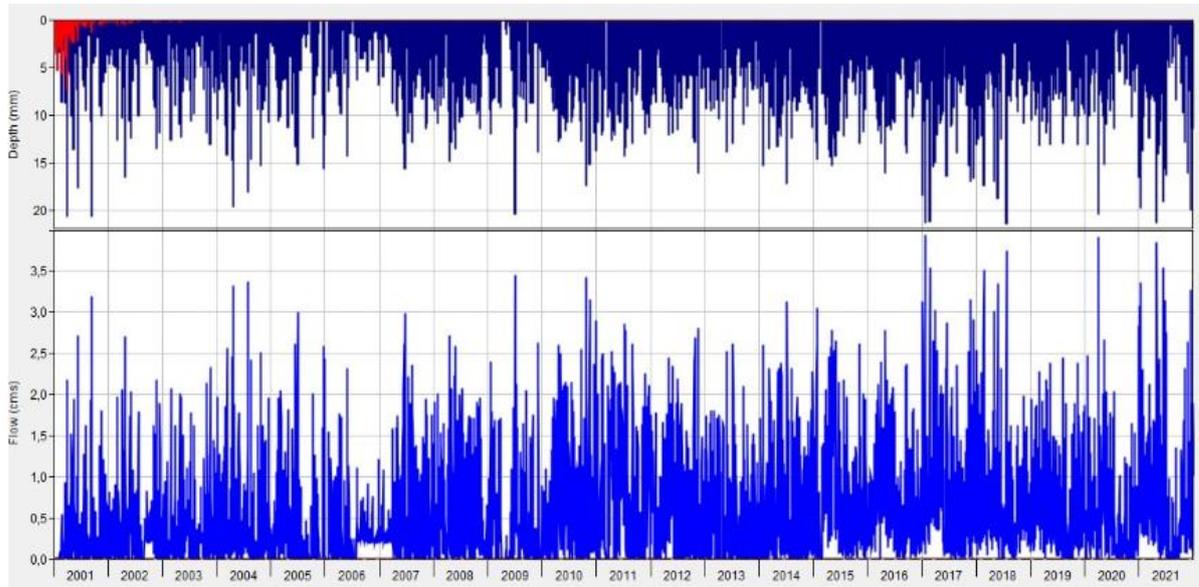


Gráfico 31. Relación precipitación escorrentía (S2, 2001 – 2021) de la M.R.U

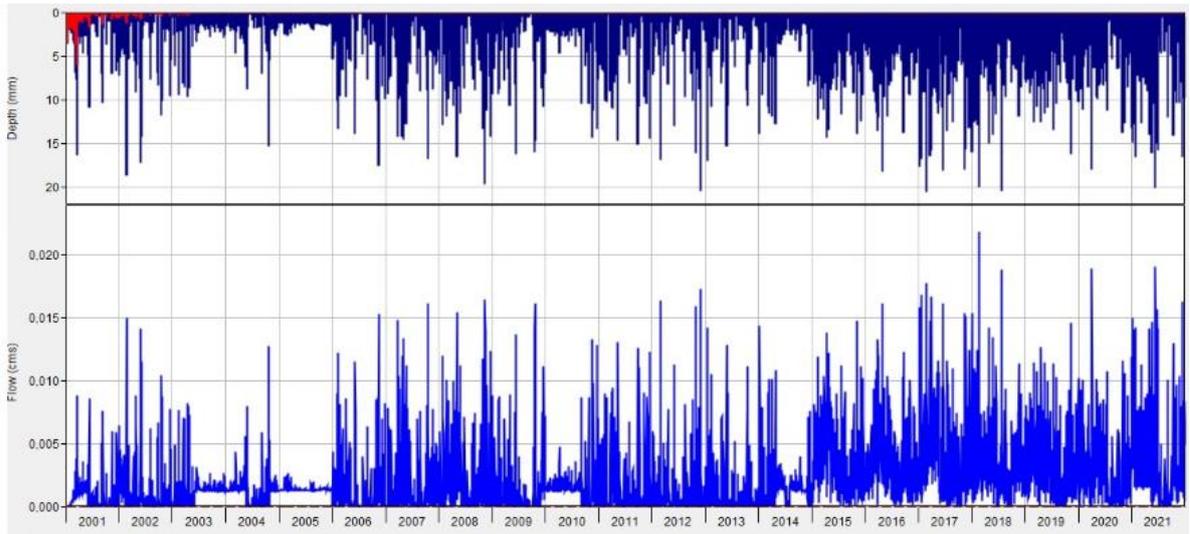


Gráfico 32. Relación precipitación escorrentía (S3, 2001 – 2021) de la M.R.U

Fuente: Autoras

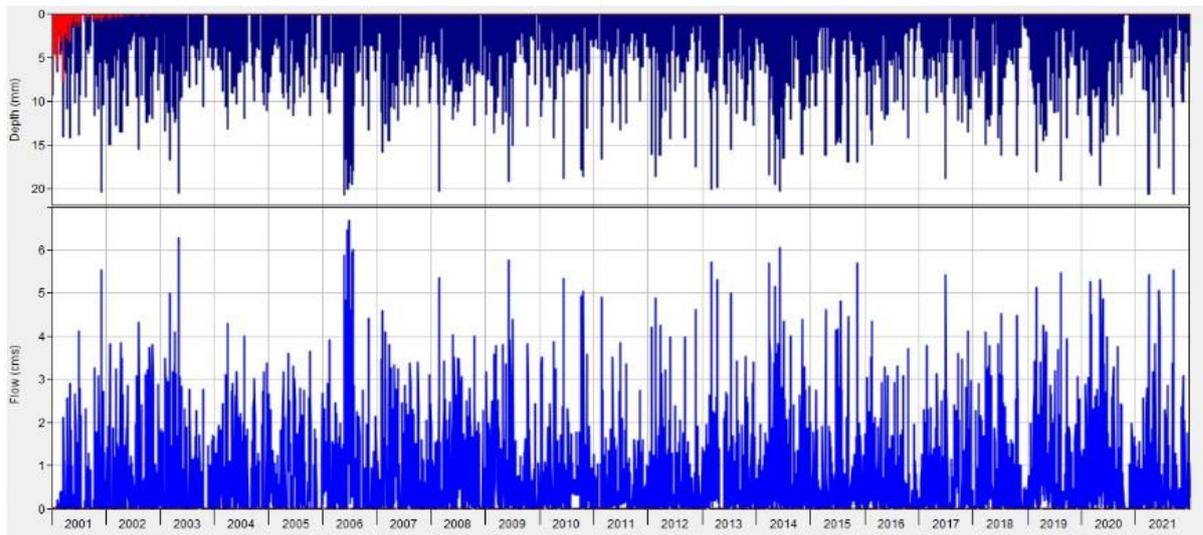


Gráfico 33. Relación precipitación escorrentía (S1, 2001 – 2021) de la M.R.D

Fuente: Autoras

Anexo 4. Parámetros hidráulicos

Tabla 15. Parámetros hidráulicos de la M.R.I

Punto	X	Y	Muestra	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	M.O %	Conductividad
1	774507.589	9796398.41	1	Cultivo de maíz	Franco Limoso	70.195	4.53506903	0.00073736
			2	Cultivo de maíz	Franco limoso	67.707	4.68670836	0.00073327
			3	Cultivo de maíz	Franco Limoso	68.483	5.68654501	0.00075775
			4	Cultivo de maíz	Franco limoso	66.515	6.37652689	0.00073972
2	774086.9	9797081.04	1	Bosque Eucalipto	Areno francos	69.8551814	4.16580838	0.00071538
			2	Bosque Eucalipto	Areno francos	71.5316741	4.09796338	0.00074562
			3	Bosque Eucalipto	Areno francos	74.0485894	3.45447339	0.00073773
			4	Bosque Eucalipto	Areno francos	75.3313813	3.50895235	0.00067996
4	767781.669	9798286.96	1	Pastizal	Arcillo limoso	82.211451	17.6352873	0.0001829
			2	Pastizal	Franco	81.9075693	15.293919	0.00011543
			3	Pastizal	Franco	79.3803664	11.7682322	0.00010336
			4	Pastizal	Franco arenoso	80.0474815	9.51	0.00072087
5	768408.715	9798808.78	1	Pastizal cultivado	Arcillo limoso	69.1002255	7.21423689	0.00069537
			2	Pastizal cultivado	Arcillo limoso	70.7699917	6.17320103	0.00073814
			3	Pastizal cultivado	Arcillo limoso	67.8427571	7.44925415	0.00059508
			4	Pastizal cultivado	Arcillo limoso	69.4951134	7.11288711	0.00071907
6	769542.474	9797841.7	1	Vegetación H/A	Franco	85.2660943	23.806271	0.00045811
			2	Vegetación H/A	Franco	84.8518181	23.0065368	0.00069975
			3	Vegetación H/A	Arcillo limoso	83.1143909	19.7980124	0.00070721
			4	Vegetación H/A	Franco	80.358881	15.5206992	0.00057381
7	768627.808	9798024.93	1	Paramo	Franco	87.9313892	23.4399047	0.00021463
			2	Paramo	Arcillo limoso	87.4189847	23.4932481	0.00016642

	3	Paramo	Arcillo limoso	86.6818344	21.8013063	0.00059039
	4	Paramo	Franco	86.8927314	21.1352265	0.00069328

Fuente: Autoras

Tabla 16. Parámetros hidráulicos de la M.R.D

Punto	X	Y	Muestra	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	M.O %	Conductividad
1	771891.183	9799973.18	1	Vegetación H/A	Arcillo limoso	72.7444308	13.95	0.00232712
			2	Vegetación H/A	Arcillo limoso	66.8887746	7.58	0.00072144
			3	Vegetación H/A	Arcillo limoso	69.7455783	5.08	0.00069617
			4	Vegetación H/A	Arcillo limoso	68.1268547	5.34	0.00072677
2	771533.995	9799926.88	1	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	61.8501959	3.90	0.00051044
			2	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	63.8701381	4.42	0.00057758
			3	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	57.6844854	4.26	0.00065593
			4	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	57.0676216	4.26	0.00044862
3	771891.183	9799973.18	1	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	72.5897203	6.04	0.00069732
			2	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	67.8866775	5.56	0.00070433
			3	Cultivo de maíz	Franco limoso	68.5945475	5.44	0.00071815
			4	Cultivo de maíz	Franco limoso	66.914098	5.28	0.00047759
4	769803.934	9801828.79	1	Bosque Pino	Franco limoso	70.9587307	11.25	0.00058951
			2	Bosque Pino	Arcillo limoso	71.3318561	8.05	0.00064873
			3	Bosque Pino	Arcillo limoso	70.4617576	9.53	0.00072866
			4	Bosque Pino	Franco limoso	72.6241443	9.48	0.00069194
5	769652.592	9801740.95	1	Pastizal	Arcillo limoso	71.4608475	8.11	0.00073775
			2	Pastizal	Arcillo limoso	70.2314723	23.72	0.00073104
			3	Pastizal	Arcillo limoso	69.1880663	7.67	0.0007469

6	770523.827	9801454.18	4	Pastizal	Arcillo limoso	72.6787481	7.75	0.00077522
			1	Paramo	Arcillo limoso	73.8072251	10.82	0.00062047
			2	Paramo	Arcillo limoso	74.8648756	9.73	0.00069661
			3	Paramo	Arcillo limoso	73.2117279	9.96	0.0007102
			4	Paramo	Arcillo limoso	71.6733273	9.25	0.00069051

Fuente: Autoras

Tabla 17. Parámetros hidráulicos de la M.R.U

Punto	X	Y	Muestra	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	M.O %	Conductividad
1	772802.937	9802089.38	1	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	74.7881138	13.17	0.00073378
			2	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	75.8691093	12.32	0.00072714
			3	Bosque Eucalipto	Arcillo limoso	68.9866656	11.61	0.00070817
			4	Bosque Eucalipto	Arcilla	77.4130495	11.68	0.00073735
2	770024.807	9804642.62	1	Cultivo de col	Arcillo limoso	63.5322281	8.73	0.00072657
			2	Cultivo de col	Arcillo limoso	57.0138092	8.76	0.00067654
			3	Cultivo de col	Arcillo limoso	58.8778538	8.03	0.00072483
			4	Cultivo de col	Arcilla	57.334705	13.53	0.0006816
3	773265.959	9801189.8	1	Paramo	Arcillo limoso	73.7478732	15.75	0.00076496
			2	Paramo	Arcillo limoso	76.647806	13.91	0.00075143
			3	Paramo	Arcillo limoso	71.8505915	11.77	0.0007575
			4	Paramo	Arcillo limoso	72.4302615	11.84	0.0007747
4	770805.329	9802380.43	1	Pastizal	Arcilla	65.258972	14.39	0.00076321
			2	Pastizal	Arcillo limoso	67.8324694	8.16	0.00073139
			3	Pastizal	Arcilla	69.4990702	11.46	0.00073885

5	770912.816	9805727.74	4	Pastizal	Arcilla	72.0124243	11.33	0.00074399
			1	Matorrales	Arcilla	68.166027	18.29	0.00071342
			2	Matorrales	Arcilla	62.3653702	15.36	0.00075179
			3	Matorrales	Arcilla	61.1783326	12.63	0.000644
6	772962.79	9804737.01	4	Matorrales	Arcilla	64.5795909	9.86	0.00064831
			1	Vegetación H/A	Arcillo limoso	75.2427492	15.98	0.00072003
			2	Vegetación H/A	Arcillo limoso	73.7945634	14.62	0.00072045
			3	Vegetación H/A	Arcillo limoso	70.7842361	13.73	0.00075725
7	772406.423	9804526.74	4	Vegetación H/A	Arcillo limoso	73.4966169	13.80	0.00063222
			1	Bosque coníferas	Arcillo limoso	71.8885767	16.51	0.00074525
			2	Bosque coníferas	Arcillo limoso	73.8254263	15.94	0.00075689
			3	Bosque coníferas	Arcillo limoso	72.9359395	13.95	0.00074196
8	772216.646	9804526.62	4	Bosque coníferas	Arcillo limoso	76.1065168	15.18	0.00070744
			1	Cultivo de cebolla	Arcillo limoso	72.7598623	14.93	0.00065064
			2	Cultivo de cebolla	Arcillo limoso	65.0472837	14.00	0.00060564
			3	Cultivo de cebolla	Arcillo limoso	75.0741898	16.05	0.00077797
			4	Cultivo de cebolla	Arcillo limoso	78.3298382	18.03	0.00044525

Fuente: Autoras

Tabla 18. Parámetros hidráulicos de la Q.C.

Punto	X	Y	Muestra	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	M.O %	Conductividad
1	766555.696	9810281.91	1	Pastizal	Arcillo limoso	61.4600562	6.02	0.0006976
			2	Pastizal	Franco	58.7381791	4.64	0.0007524
			3	Pastizal	Arcillo limoso	56.6066553	4.48	0.0007465
			4	Pastizal	Franco	53.8234479	4.79	0.0007579
2	769344.773	9808447.88	1	Cultivo culantro	Franco	63.1333835	9.68	0.0008125

			2	Cultivo culantro	Franco limoso	60.8317176	7.99	0.0007387
			3	Cultivo culantro	Franco	58.6048352	7.76	0.00071298
			4	Cultivo culantro	Franco limoso	58.1300202	6.64	0.00071024
3	766320.844	9810383.31	1	Bosque Eucalipto	Franco	59.9786333	8.84	0.00067111
			2	Bosque Eucalipto	Franco	58.8588612	9.38	0.00066609
			3	Bosque Eucalipto	Franco	57.2690223	9.17	0.00061296
			4	Bosque Eucalipto	Franco limoso	57.765204	8.85	0.00031925
4	767819.892	9810453.26	1	Vegetación H/A	Arcillo limoso	59.240296	11.08	0.00051151
			2	Vegetación H/A	Arcillo limoso	55.0144423	10.76	0.00038406
			3	Vegetación H/A	Arcilla	54.066395	8.88	0.0005298
			4	Vegetación H/A	Arcillo limoso	52.8382068	8.24	0.00051076
5	767383.621	9810018.13	1	Pastizal Cultivado	Franco limoso	64.7034385	11.18	0.00066738
			2	Pastizal Cultivado	Franco limoso	70.9721838	9.27	0.00067168
			3	Pastizal Cultivado	Franco	58.8988248	9.91	0.0006805
			4	Pastizal Cultivado	Franco limoso	63.7577652	10.80	0.00039659
6	767719.794	9809684.34	1	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	64.7805959	7.32	0.00072105
			2	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	64.6800934	7.72	0.00071715
			3	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	58.5759506	7.45	0.0007254
			4	Cultivo de maíz	Arcillo limoso	57.3319353	7.61	0.00071942

Fuente: Autoras

Anexo 5. Concesiones de uso de agua para la provincia de Chimborazo

Tabla 19. Uso y caudal de las concesiones para la M.R.I

Fid	Nom_Uso	Caudal l/s	Sectores
1	Riego	27	Agrícola
3	Consumo Humano	1	Social
4	Riego	2.02	Agrícola
5	Riego	2.37	Agrícola
6	Riego	69.84	Agrícola
7	Consumo Humano	2	Social
9	Riego	29	Agrícola
10	Riego	27	Agrícola
11	Consumo Humano	0.4	Social
13	Riego	1	Agrícola
14	Consumo Humano	0.6	Social
15	Consumo Humano	0.14	Social
16	Riego	3.642	Agrícola
	Promedio	0.000166012	

Fuente: Autoras

Tabla 20. Uso y caudal de las concesiones para la M.R.D

Fid	Nom_Uso	Caudal l/s	Sectores
0	Consumo Humano	0.56	Social
5	Riego	3.64	Agrícola
7	Consumo Humano	1.16	Social
8	Consumo Humano	6.18	Social
9	Consumo Humano	0.7	Social
10	Riego	24.5	Agrícola
12	Consumo Humano	0.46	Social
13	Consumo Humano	0.51	Social
14	Riego	55.2	Agrícola
15	Riego	2.23	Agrícola
16	Consumo Humano	0.05	Social
18	Riego	12.08	Agrícola
19	Riego	2.38	Agrícola
20	Riego	3.6	Agrícola
22	Consumo Humano	2.7	Social
23	Riego	42.5	Agrícola
	Promedio	0.00015845	

Fuente: Autoras

Tabla 21. *Uso y caudal de las concesiones para la M.R.U*

Fid	Nom_Us	Caudal l/s	Sectores
0	Consumo Humano	3	Social
2	Riego	312.65	Agrícola
3	Consumo Humano	8.7	Social
4	Consumo Humano	21.2	Social
5	Riego	35	Agrícola
6	Riego	1.83	Agrícola
7	Riego	7.2	Agrícola
8	Riego	2.7	Agrícola
10	Consumo Humano	3.35	Social
11	Riego	124	Agrícola
12	Consumo Humano	0.4	Social
13	Riego	2	Agrícola
15	Riego	0.5	Agrícola
16	Riego	7.2	Agrícola
17	Consumo Humano	0.02	Social
19	Consumo Humano	1.12	Social
21	Riego	22	Agrícola
22	Consumo Humano	0.23	Social
23	Riego	30.68	Agrícola
24	Consumo Humano	12.78	Social
25	Riego	20	Agrícola
26	Consumo Humano	0.2	Social
28	Riego	7.86	Agrícola
29	Consumo Humano	1.22	Social
30	Riego	6.25	Agrícola
31	Riego	38	Agrícola
32	Riego	7.35	Agrícola
33	Consumo Humano	0.01	Social
34	Riego	13.32	Agrícola
36	Riego	2	Agrícola
37	Riego	5.96	Agrícola
38	Riego	17.4	Agrícola
39	Consumo Humano	6.78	Social
40	Riego	53.78	Agrícola
41	Riego	88	Agrícola
	Promedio	0.00086469	

Fuente: Autoras

Tabla 22. *Uso y caudal de las concesiones para la Q.C*

Fid	Nom_Us	Caudal l/s	Sectores
0	Riego	0.99	Agrícola
1	Riego	1.32	Agrícola
2	Consumo Humano	0.1	Social
4	Consumo Humano	0.5	Social
5	Riego	50.36	Agrícola
7	Consumo Humano	0.03	Social
9	Riego	0.16	Agrícola
10	Riego	4.99	Agrícola
11	Riego	0.466	Agrícola
13	Riego	14.8	Agrícola
14	Consumo Humano	3.8	Social
15	Riego	9.87	Agrícola
16	Riego	3.99	Agrícola
17	Riego	0.14	Agrícola
18	Consumo Humano	0.02	Social
22	Consumo Humano	2.55	Social
23	Consumo Humano	0.68	Social
24	Consumo Humano	2.1	Social
25	Consumo Humano	0.07	Social
27	Consumo Humano	0.05	Social
28	Riego	105.43	Agrícola
29	Riego	12.34	Agrícola
31	Consumo Humano	1.4	Social
32	Riego	27.62	Agrícola
	Promedio	0.00024471	

Fuente: Autoras

Anexo 6. Anexo fotográfico

Toma de muestras en las cuencas de estudio



Fotografía 1. Toma de muestra en la microcuenca de la quebrada Cachipata



Fotografía 2. Toma de muestra en la microcuenca del río Uldán



Fotografía 3. Toma de muestras en la microcuenca dl río Daldal



Fotografía 4. Toma de muestras en la microcuenca del río Ishpi

Actividades realizadas en laboratorio



Fotografía 5. Pesado de muestras para porosidad



Fotografía 6. Peso seco de las muestras a utilizar



Fotografía 7. Análisis de materia orgánica



Fotografía 8. Tamizado de muestras



Fotografía 9. Muestras para realizar los parámetros



Fotografía 10. Pruebas de permeabilidad