



Solutions for the Inclusive Green Development
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

PROYECTO DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**LINEAMIENTOS PARA LA PROTECCIÓN, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE FUENTES
DE AGUA, Y ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA LARATI,
CUENCA DEL RÍO ROCHA, BOLIVIA**

YASIN EDGAR PEREDO RAMIREZ

TURRIALBA, COSTA RICA

2022

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador del estudiante, como requisito para optar por el grado de

División de Educación

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FIRMANTES:



Jose Ney Rios Ramirez

José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.

Codirector Principal del Trabajo de Graduación

Miguel Angel Centellas Levy

Miguel Ángel Centellas Lévy, M.Sc.

Miembro Comité Asesor del Trabajo de Graduación

Roberto Quiroz Guerra

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.

Decano de la Escuela de Posgrado

Yasin Edgar Peredo Ramirez

Yasin Edgar Peredo Ramírez

Candidato

Escuela de Posgrado

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Importancia.....	3
1.4 Objetivo general.....	3
1.5 Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL.....	4
2.1. Cambio climático.....	4
2.1.1. Adaptación al cambio climático.....	4
2.1.2. Resiliencia climática.....	5
2.2. Cuencas hidrográficas.....	5
2.3.1. Cuenca como un ecosistema.....	6
2.4. Ciclo del agua.....	6
2.5. Zonas de recarga hídrica.....	7
2.5.1. Factores que intervienen en la recarga hídrica.....	7
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Ubicación del área de estudio.....	9
3.2. Características de la microcuenca Larati.....	10
3.2.1. Pisos ecológicos.....	10
3.2.2. Precipitación.....	14
3.2.3. Pendiente.....	15
3.2.4. Cobertura y uso de suelo (CUS).....	16
3.2.5. Dinámica social de la microcuenca.....	17
3.3. Metodología.....	18
Etapa 1. Involucramiento de actores en las zonas de recarga hídrica.....	18
Etapa 2. Caracterización biofísica de la microcuenca.....	19
Etapa 3. Zonificación espacial de la probabilidad de recarga hídrica.....	20
Etapa 4. Propuesta de lineamientos de manejo y conservación de ZPRH.....	25
4. RESULTADOS.....	25
PRIMER MOMENTO. CONOCIENDO LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA.....	25
4.1. Primer acercamiento a zonas de recarga hídrica.....	25
4.1.1. Diagnóstico participativo.....	25
4.1.2. Identificación participativa de zonas de recarga hídrica.....	27
4.1.3. Alternativas para la protección y conservación de ZPRH.....	29
SEGUNDO MOMENTO. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA RECARGA HÍDRICA.....	30
4.2.1. Pendiente.....	30
4.2.2. Uso de suelo y cobertura.....	31
4.2.3. Cobertura vegetal.....	32
4.2.4. Geología.....	33
4.2.5. Tipo de suelo.....	34
TERCER MOMENTO. ZONIFICACIÓN ESPACIAL DE LA PROBABILIDAD DE RECARGA HÍDRICA PARA LA MICROCUENCA LARATI.....	35
4.3 Ecuación de recarga hídrica para la subcuenca Larati.....	35
4.3.1. Mapa de probabilidad de recarga hídrica - microcuenca Larati.....	37
CUARTO MOMENTO. PROPUESTA PARA LA ZONIFICACIÓN Y CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA.....	39
4.4. Visión estratégica.....	39

4.4.1 Objetivo	40
4.4.2 Componentes de la propuesta	40
COMPONENTE 1. NUEVA CULTURA DEL AGUA "ACCIÓN PARTICIPATIVA PARA LA CONSERVACIÓN DE ZPRH"	40
Acción participativa para la conservación de áreas de recarga hídrica	40
COMPONENTE 2. MEJORAMIENTO DE LA CAPTACIÓN, INFILTRACIÓN Y ACCESO AL AGUA "CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA"	41
Mejoramiento de la captación, infiltración y acceso al agua "conservación de zonas de recarga hídrica.....	41
COMPONENTE 3. FORTALECIMIENTO DE ECONOMÍA COMUNITARIA Y RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	44
Fortalecimiento de economía comunitaria y resiliencia al cambio climático.....	44
4.4.3. Actores clave para su implementación	47
5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN	52
6. LITERATURA CITADA.....	54
7. Anexos.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Cuenca Hidrográfica</i>	5
<i>Figura 2 Ciclo Hidrológico</i>	6
<i>Figura 3. Mapa de la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco</i>	10
<i>Figura 4. Mapa de pisos ecológicos, en la la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco</i>	11
<i>Figura 5. Mapa de Precipitación en la la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco</i>	15
<i>Figura 6. Mapa de pendientes de la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco</i>	16
<i>Figura 7. Mapa de uso y cobertura de suelo en la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco</i>	17
<i>Figura 8. Esquema para el primer acercamiento a las ZPRH</i>	19
<i>Figura 9. Interpretación grafica</i>	23
<i>Figura 10. Identificación de parámetros relevantes para las ZPRH (izquierda), y zonas potenciales de recarga hídrica (derecha)</i>	29
<i>Figura 11. Mapa de PRH según pendiente</i>	31
<i>Figura 12. Mapa de PRH según uso y cobertura de suelo</i>	32
<i>Figura 13. Mapa de PRH según cobertura vegetal empleando el índice FVC</i>	33
<i>Figura 14. Mapa de PRH según geología</i>	34
<i>Figura 15. Mapa de PRH según tipo de suelo</i>	35
<i>Figura 16. Mapa de probabilidad de recarga hídrica “microcuenca Larati”</i>	38
<i>Figura 17. Esquema de la propuesta para la conservación de áreas de recarga hídrica</i> ..	39
<i>Figura 18. Mapa de los resultados promedio de los ensayos de infiltración según unidad homogénea</i>	60
<i>Figura 19. Actores locales participan del curso de formación de siembra y cosecha de agua para abordar la temática de zonas de recarga hídrica.</i>	61
<i>Figura 20. Testimonios de los actores locales sobre las alternativas para la conservación de zonas de recarga</i>	61
<i>Figura 21. Actores locales trabajan en la identificación de zonas de recarga y la aplicación de medidas para su protección.</i>	62
<i>Figura 22. Testimonio de especialista Tulia García de la institución CEDAP sobre la importancia de la vegetación nativa y los pajonales altoandinos</i>	62
<i>Figura 23. Espacio multiactor para encaminar el dialogo sobre las zonas de recarga y la construcción de propuestas para su conservación.</i>	63
<i>Figura 24. Testimonio del encuentro “necesidad de trabajar en políticas públicas para la protección de zonas de recarga hídrica.</i>	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grupo hidrológicos del suelo	9
Cuadro 2. Características climáticas fundamentales del piso altoandino	12
Cuadro 3. Características climáticas fundamentales del piso altimontano	13
Cuadro 4. Características climáticas fundamentales del piso montano	14
Cuadro 5. Ponderación: Pendiente y microrelieve	21
Cuadro 6. Ponderación: Tipo de suelo	21
Cuadro 7. Ponderación: Tipo de roca	22
Cuadro 8. Ponderación: Cobertura vegetal	22
Cuadro 9. Ponderación: Uso de suelo.....	23
Cuadro 10. Mediciones para el cálculo de infiltración.....	24
Cuadro 11. Pasos para la elaboración de la propuesta.....	25
Cuadro 12. Identificación de impactos enfocados en la recarga hídrica	27
Cuadro 13. Percepciones sobre la importancia de parámetros en la recarga hídrica	27
Cuadro 14. Frecuencia e importancia según parámetro para la recarga hídrica	28
Cuadro 15. Alternativas para conservar la cuenca y zonas de recarga hídrica	30
Cuadro 16. Lineamientos estratégicos para el componente 1.....	41
Cuadro 17. Lineamientos estratégicos para el componente 2.....	44
Cuadro 18. Lineamientos estratégicos para el componente 3.....	46
Cuadro 19. Actores clave para la implementación del plan	51
Cuadro 20. Resultados de las pruebas de infiltración P1 en unidad homogénea Fluventic Dystrocryepts.....	56
Cuadro 21. Resultados de las pruebas de infiltración P2 en unidad homogénea Fluventic Dystrocryepts.....	56
Cuadro 22. Resultados de las pruebas de infiltración P3 en unidad homogénea Fluventic Dystrocryepts.....	57
Cuadro 23. Resultados de las pruebas de infiltración P4 en unidad homogénea Lithic cryorthents.	57
Cuadro 24. Resultados de las pruebas de infiltración P5en unidad homogénea Lithic cryorthents.	58
Cuadro 25. Resultados de las pruebas de infiltración P6 en unidad homogénea Lithic cryorthents).....	58
Cuadro 26. Resultados de las pruebas de infiltración P7, en unidad homogenea Psammentic Haplustalfs Typic Us.	59
Cuadro 27. Resultados de las pruebas de infiltración P8, en unidad homogenea Ustic Ustochrepts.....	59
Cuadro 28. Resultados de las pruebas de infiltración P9, en unidad homogenea Ustic Haplustalfs.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ZPRH	Zonas Potenciales de Recarga Hídrica
CENDA	Centro de Comunicación y Desarrollo Andino
OTB	Organizaciones Territoriales de Base
AULL	Asociación de Usuarios Laguna Larati
CPE	Constitución Política del Estado
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
SERNAP	El Servicio Nacional de Áreas Protegidas
GAMS	Gobierno Autónomo Municipal de Sacaba
FEDECOR	Federación Departamental Cochabambina de Organizaciones de Regantes
SERGIMIN	Servicio Geológico minero

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El uso racional del agua supone uno de los mayores retos a nivel global para esta y futuras generaciones, principalmente por la creciente demanda del recurso. Según datos del Programa Ambiental de Naciones Unidas, América latina cuenta con el 65% de agua dulce del mundo (Wilfrido, 2016). Claro está, la distribución espacial del recurso hídrico no es homogénea y depende de diversos factores, entre ellos, aspectos biofísicos y dinámicas sociales que condicionan cada vez más la cantidad y calidad de agua disponible tanto en fuentes superficiales como subterráneas.

La microcuenca Larati, ubicada en el municipio de Sacaba, forma parte del departamento de Cochabamba, uno de los departamentos que forman parte del eje troncal de Bolivia, célebre además, porque impulsó la lucha contra la monopolización del agua el año 2000, en el conflicto denominado “Guerra del agua”, suceso histórico, pues marca un antes y un después en la gestión del agua en Bolivia, donde, la actual Constitución Política del Estado (CPE), reconoce que el agua es un derecho fundamental para la vida, e integra en su estructura las diversas formas de gestión del recurso (cooperativas, comunitarias y públicas).

A lo largo de la microcuenca Larati, se desarrollan diferentes actividades económicas, como la agricultura, ganadería, comercio, transporte, aprovechamiento de madera, avicultura y el turismo, siendo la agricultura a pequeña escala y familiar, la actividad más representativa de la zona (CENSO Agropecuario, 2013). Respecto a la distribución del agua, la microcuenca destaca por numerosas lagunas naturales y artificiales localizadas en la parte alta de la cuenca (piso altoandino), fuente principal para consumo humano y riego en comunidades cuenca abajo. A nivel territorial, la Asociación de Regantes Laguna Larati (AULL) compuesta por 12 organizaciones territoriales de base (OTBs), y la subcentral Larati, que aglutina a ocho comunidades campesinas, juegan un papel determinante en la gestión del agua y el territorio.

Respecto a las dinámicas socioambientales, debemos destacar la creciente demanda de los recursos hídricos, ligada a conflictos por el uso y aprovechamiento del agua en la cuenca, recurso cada vez más limitado debido principalmente a los efectos del cambio climático, la degradación de fuentes de agua por uso de agroquímicos, el crecimiento desmedido de la población hacia los abanicos aluviales, y la impermeabilización de zonas de recarga hídrica; factores que ponen en riesgo la distribución del recurso en cantidad y

calidad suficiente para esta y futuras generaciones. En la actualidad, esta situación está generando tensiones entre los diferentes actores de la cuenca, tanto en cuenca alta, media, como baja.

En este marco, el presente documento busca contribuir desde un enfoque técnico/participativo, con la construcción de lineamientos para una correcta gestión territorial con énfasis en el manejo y la conservación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca Larati. El estudio toma en cuenta estudios similares como el de Matus (2007) y contempla una fase de validación y adaptación a las características bioclimáticas de los valles interandinos, la posterior identificación de las zonas de recarga y finalmente, la construcción participativa de lineamientos para su manejo y conservación.

1.2 Justificación

La cuenca del río Rocha, conformada por tres unidades hidrográficas de menor dimensión (subcuenca Rocha, Suty y Maylanco), y 187 microcuencas (entre ellas la microcuenca Larati), es una de las cuencas más importantes y representativas del valle Cochabambino puesto que aglutina al 76% de la población que vive en el departamento (Servicio Departamental de Cuencas, 2014). En la última década, debido al crecimiento desmedido de la población sobre antiguas zonas agrícolas y abanicos aluviales, el incremento en la demanda de agua y la generación de contaminantes y desechos líquidos, se ha generado un fuerte impacto en la cuenca y un incremento del deterioro ambiental hacia la cabecera (subcuenca Maylanco – municipio de Sacaba).

Asimismo, con más de 700 pozos de extracción en la subcuenca Maylanco que representa un 90% del consumo total, el municipio de sacaba se constituye como un municipio dependiente del aprovechamiento de aguas subterráneas, situación que con el tiempo ha desencadenado una sobreexplotación de las mismas y una disminución considerable en los caudales base, de 3 l/s en el año 2000 a 0.5 l/s en 2020 (CENDA, 2020). En suma, ligado a la expansión de la mancha urbana, se ha podido evidenciar que el 59% de las zonas de recarga presentes en los abanicos aluviales han sido impermeabilizadas, condicionando fuertemente la disponibilidad de agua en calidad y cantidad suficientes (CENDA, 2020).

Es importante mencionar que Bolivia cuenta con estudios limitados que permitan identificar con precisión la disposición de las zonas potenciales de recarga hídrica para establecer normativas claras de la protección y conservación de las mismas. En este sentido, el presente estudio pretende contribuir con elementos técnicos y sociales – a partir de una experiencia piloto en la microcuenca Larati – con la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, orientado a establecer lineamientos para su conservación y manejo.

1.3 Importancia

El presente estudio pretende contribuir con el fortalecimiento de capacidades para la gestión del territorio de los actores de la microcuenca a partir de la construcción colectiva de lineamientos para la conservación y manejo las zonas de recarga hídrica como mecanismo de adaptación a los efectos del cambio climático. Desde una mirada estratégica, y de largo aliento, el estudio pretende establecer lineamientos para garantizar la producción de agua en la microcuenca a través del correcto manejo de las zonas de recarga hídrica.

En el ámbito departamental y municipal, el estudio aportará directamente al objetivo macro del Plan Director de la Cuenca del Rocha: “Establecer lineamientos estratégicos, marco institucional y estrategia financiera para desarrollar planes, programas y proyectos de ordenamiento y recuperación de la Cuenca del río Rocha con participación, empoderamiento social, y esfuerzos conjuntos de los tres niveles del Estado” (Servicio Departamental de Cuencas, 2014). A nivel nacional, es importante reconocer que el trabajo está orientado a fortalecer las líneas estrategias del Plan Plurinacional de los Recursos Hídricos, donde se prioriza la protección de las cabeceras de cuenca y zonas de recarga hídrica.

1.4 Objetivo general

Desarrollar lineamientos para la protección, el manejo, y conservación de fuentes de agua y zonas de recarga hídrica en la microcuenca Larati, enfocado en la adaptación a los efectos del cambio climático.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar los factores biofísicos y antrópicos que influyen en la recarga hídrica en la microcuenca Larati.
- Realizar un análisis espacial de la probabilidad de recarga hídrica en la microcuenca Larati, mediante la integración de datos geoespaciales y modelización.
- Desarrollar una zonificación espacial de la microcuenca Larati que permita identificar y priorizar las zonas críticas de recarga hídrica.
- Proponer estrategias y medidas de conservación y manejo para las zonas de recarga hídrica identificadas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL

2.1. Cambio climático

La variabilidad climática es un fenómeno natural de la tierra que incide en el cambio de la temperatura y los patrones de comportamiento climático. No obstante, es un hecho que, las actividades humanas han contribuido de manera directa o indirecta con la aceleración de este fenómeno, y que se suma a la variabilidad natural del clima (Naciones Unidas, 1992). Según el reporte especial del IPCC (2019), las proyecciones indican que los aumentos de temperatura y la variación de fenómenos extremos (periodos de sequía y crecidas) tendrán incidencia sobre la calidad del agua debido a la acumulación de sedimentos, nutrientes, plaguicidas y patógenos. Asimismo, los cambios en la calidad y cantidad de agua por efecto del cambio climático tendrán incidencia directa con la inseguridad alimentaria, y la vulnerabilidad de los agricultores rurales.

En consecuencia, podemos ver como muchas regiones se ven afectadas por el cambio de los patrones del comportamiento climático; desde lluvias extremas que ocasionan desastres naturales y pérdidas económicas considerables, hasta, sequías como la suscitada el año 2014 en la cuenca endorreica del altiplano, contribuyendo con la desaparición de uno de los espejos más emblemáticos de Bolivia, el Lago Poopó (Richard, E., & Contreras Zapata, 2016).

2.1.1. Adaptación al cambio climático

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2013) define adaptación al cambio climático como: “Un proceso de ajustes al clima y sus efectos actuales o esperados. En sistemas humanos, la adaptación busca moderar o evitar impactos negativos o aprovechar los efectos beneficiosos. En algunos sistemas naturales, intervenciones del hombre podrían facilitar los ajustes al clima y sus efectos esperados”.

La aplicación práctica de este concepto es de vital importancia, ya que la adaptación no solo pretende mitigar o prevenir los impactos de los eventos climáticos, sino también aprovechar las oportunidades que surgen en este proceso. Un ejemplo concreto se observa en zonas de altas latitudes, como las áreas montañosas, donde el aumento de la temperatura, resultado del cambio climático, ha propiciado el desarrollo de actividades agrícolas (Ministerio de Medio Ambiente, 2014).

2.1.2. Resiliencia climática

El IPCC (2018) se refiere a la resiliencia como la capacidad de los sistemas sociales, económicos, y ambientales de afrontar un suceso adverso (impactos del cambio climático) de manera propositiva, es decir, mantener su función esencial, su identidad y estructura, conservando al mismo tiempo su capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación. Por su parte, la Unión de Científicos Conscientes (2022), resalta que la resiliencia climática no solo se trata de hacer frente a los impactos del cambio climático, sino de evitar que esos impactos empeoren. En otras palabras, para construir una sociedad resiliente, es fundamental no solo adaptarse a las condiciones adversas de esta situación, sino también abordar de manera activa la problemática a través de medidas concretas, como políticas públicas efectivas y el desarrollo de capacidades técnicas, sociales y económicas.

2.2. Cuencas hidrográficas

Basado en Davie (2008) las cuencas hidrográficas se constituyen como unidades territoriales delimitadas naturalmente por los parteaguas – línea divisoria imaginaria que une los puntos de mayor elevación del terreno – que orientan las aguas superficiales y aquellas provenientes de la precipitación pluvial hacia un punto común, formando ríos, arroyos, lagos o lagunas. Asimismo, no podemos dejar de lado que una cuenca es una unidad geográfica natural que cuando tiene un tejido social, asentado sobre una base de recursos naturales, este se articula por sus formas de producción, dinámicas económicas, cultura y sus formas de organización (Birkel, Curso. Hidrología para el manejo de cuencas, 2021).



Figura 1. Cuenca Hidrográfica

Fuente: Birkel, 2021

2.3.1. Cuenca como un ecosistema

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales sumamente importantes para garantizar agua de calidad y en cantidad suficiente para las personas que habitan en ella y los diferentes sistemas de vida que la componen, por ende, desde un enfoque ecosistémico, la cuenca es un sistema dinámico formado por diversos componentes en constante interacción, y cuyo producto resultante es el agua (Levy, 2022). Al interior de la cuenca existen diferentes subsistemas que interrelacionan entre sí, como, por ejemplo, el sistema social, demográfico, económico y biofísico; la interrelación entre los diferentes sistemas condicionará disponibilidad de agua y recursos en la cuenca (Manejo y Gestión de Cuencas Hidrograficas, 2016).

2.4. Ciclo del agua

El ciclo del agua en una cuenca se conoce como el proceso de transporte, recirculado e indefinido, del agua en la tierra, en sus diferentes estados: líquido, gaseoso y sólido (Aranda, 1984). Sin duda una ilustración grafica representa de manera efectiva el ciclo hidrológico del agua (Figura 2), donde, el agua de la superficie terrestre, que por efecto de la radiación solar, se evapora y transporta a la atmosfera formando nubes. Una serie de procesos condensan las nubes que retornan el agua en forma de precipitación hacia la superficie terrestre, al mismo tiempo, parte de la misma se vuelve a evaporar, y otra, es interceptada por la vegetación y otros elementos de la superficie, naturales o artificiales. Es importante mencionar que la vegetación devuelve el agua a la atmósfera como parte de un proceso natural denominado evapotranspiración. Asimismo, una parte del agua interceptada, dependiendo las características del terreno, se infiltra en el subsuelo alimentando las aguas subterráneas para su posterior descarga en manantiales o vertientes.

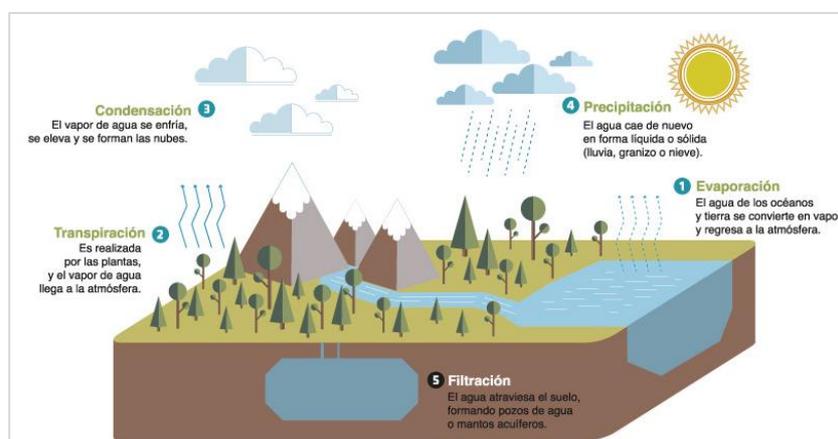


Figura 2 Ciclo Hidrológico
Fuente: semanat.gob.mx (2005)

2.5. Zonas de recarga hídrica

En términos generales, una zona de recarga se refiere al proceso mediante el cual se incorpora agua a un acuífero desde fuera del contorno que lo limita (Custodio, 1998, citado por Matus, 2007). Existen diversos factores que influyen en la capacidad de recarga de un área específica, tales como la capacidad de infiltración, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal. Por tanto, es fundamental identificar aquellas zonas que, debido a sus características, facilitan la infiltración y aportan en mayor medida a la recarga hídrica.

Por su parte, Rodríguez y Pérez (2014), complementan sustentando que la recarga hídrica puede ser natural y es concebida por el volumen de agua que penetra a un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo a causa de la infiltración proveniente de la precipitación o de un curso de agua. Según Rodas Velásquez (2008), no existe una metodología exclusiva para esta identificación, todo dependerá de los ecosistemas donde se realice el trabajo, no obstante, se pueden considerar los siguientes parámetros relevantes:

- Configuración topográfica del terreno (plano o cóncavo)
- Vegetación permanente (especies de raíces pivotantes y profundas en ramificación, follaje verde en épocas de sequía)
- Uso de la tierra con prácticas que favorecen la infiltración del agua en el suelo (prueba práctica de infiltración)
- Situación geológica (permeabilidad de los estratos, depósitos de agua subterránea),
- Distribución de las precipitaciones
- Condiciones del suelo (textura franca, alta porosidad, alta infiltración y permeables)

2.5.1. Factores que intervienen en la recarga hídrica

Existen varios factores que inciden en la recarga hídrica, y estos tendrán mayor o menor relevancia dependiendo del ecosistema donde se realice el estudio en concreto. Por ejemplo, el régimen de precipitación, la escorrentía superficial, caudal de los ríos, la permeabilidad y humedad del suelo, y la duración del patrón de drenaje de la cuenca son aspectos importantes a considerar. Asimismo, Oscar Matus (2007) recalca que la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que superficies muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, aquellas menos inclinadas, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración.

Por su parte Ríos (2006), a partir de un estudio relacionado con el comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoriles, ha

demostrado que la cobertura vegetal es un factor importante en procesos de recarga. La escorrentía superficial disminuye cuando existe una mayor presencia de cobertura arbórea, mientras que la capacidad de infiltración resulta favorable en presencia de pasturas nativas con árboles. En otras palabras, los sistemas silvopastoriles favorecen a la recarga hídrica en relación con los sistemas convencionales, disminuyen la escorrentía superficial, incrementan la infiltración y, en consecuencia, favorecen la conservación del agua en el suelo.

Zapata-Sierra, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2008), identificaron que, para tener una infiltración con valores óptimos, es necesario tomar en cuenta la densidad de los árboles y las diferentes especies al momento de afirmar que estas pueden aportar en términos de infiltración. Según la investigación, la infiltración decrece conforme aumenta la distancia en relación con el tronco del árbol durante el ensayo de infiltración (para las especies estudiadas). Así pues, no se debe generalizar el aporte de la cobertura arbórea en la infiltración, esta dependerá de la especie arbórea, la distancia al tronco, la altura del árbol y su manejo (cultivado o no).

A continuación, se detallan aquellos factores que inciden en la recarga hídrica de manera general según INAB (2003) y Oscar Matus (2007).

Clima. La evapotranspiración es un factor importante que incide en la recarga hídrica, debido a las pérdidas por transpiración de las plantas, la evaporación del agua y la precipitación pluvial. Este último es sumamente importante, puesto que una cantidad dada de precipitación durante la época de crecimiento vegetal producirá la máxima recarga si la lluvia persiste en intensidad, induciendo a que el agua se infiltre con la misma rapidez que va cayendo. Por el contrario, si el agua cae distribuida en lluvias intermitentes a lo largo de un periodo de tiempo considerable, puede ser más beneficiosa para las plantas, pero muy poca o ninguna cantidad de agua podrá atravesar el suelo vegetal para llegar al acuífero (Maldonado , 2018).

Topografía. Contempla el tiempo de contacto entre el agua con la superficie; pendientes fuertes favorecerán la escorrentía superficial, mientras que pendientes poco pronunciadas o planas favorecerán de manera significativa el tiempo de contacto con la superficie y, por ende, la infiltración.

Tipo de suelo. Suelos impermeables y compactos dificultan significativamente la infiltración, mientras que suelos permeables podrían garantizar una recarga más efectiva. Las características del suelo que influyen en la recarga son, la textura, densidad aparente,

contenido de humedad y la capacidad de infiltración. Este último, hace referencia al grupo hidrológico del suelo. A continuación, se presenta la clasificación de los grupos de suelo en función de su mayor o menor capacidad de infiltración:

GRUPO	CARACTERÍSTICAS
Grupo A	Suelos de mayor permeabilidad y menor escorrentía. Suelos profundos texturas gruesas (arenoso o arenoso - limoso)
Grupo B	Suelos de permeabilidad moderada. Terrenos de textura franco - arenosa de mediana profundidad y suelos francos profundos.
Grupo C	Suelos con poca permeabilidad, de texturas franco – arcillosos e incluso arcillosos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados, o con algún estrato impermeable.
Grupo D	Se trata de suelos con gran impermeabilidad, arcillosos y también se incluyen terrenos que presentan una capa de arcilla.

Cuadro 1. Grupo hidrológicos del suelo

Elaboración propia con base en (Prieto , Farias, & Amarilla, 2013)

Estratigrafía geológica. Es muy importante conocer el estrato o formación geológica del terreno, esto permitirá comprender si estamos ante formaciones de capas permeables, semipermeables o impermeables.

Cobertura vegetal. La cobertura vegetal reduce la escorrentía superficial proveniente de las precipitaciones. Debe existir condiciones idóneas para que parte del agua de escorrentía superficial se infiltre efectivamente hasta llegar a los acuíferos: tiempo de exposición, densidad de la vegetación y profundidad radicular.

Escurrimiento. También incide en la recarga hídrica, pues el escurrimiento proveniente de las precipitaciones puede formar flujos superficiales, subsuperficiales o subterráneas los cuales son captados por los cauces de los ríos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de sacaba, y forma parte de las 34 microcuencas aportantes a la gran cuenca del rio Rocha – Maylanco, uno de los ríos más importantes del departamento de Cochabamba. Cuenta con un área total de 84 km² y presenta un rango altitudinal que va desde los 4536 msnm (altura máxima) hasta los 2790 msnm (altura mínima). En las zonas alta y media de la cuenca, se encuentra la subcentral Larati, que aglutina a 8 sindicatos campesinos (comunidades), mientras que la zona baja, aglomera al concentrado urbano compuesto por 12 (OTB's).

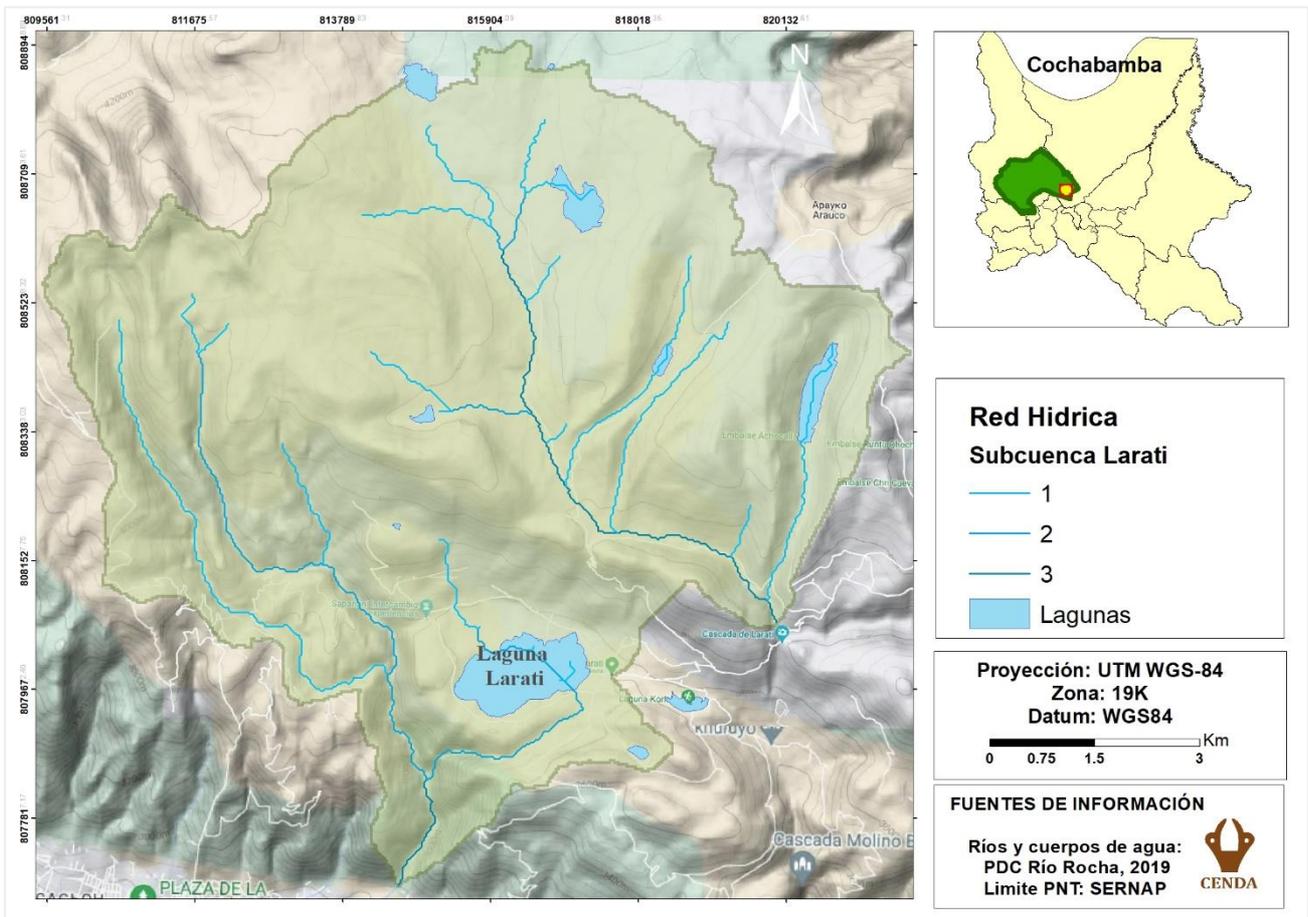


Figura 3. Mapa de la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco

Fuente: Con base en Plan de Manejo del Parque Nacional Tunari (PNT)

3.2. Características de la microcuenca Larati

3.2.1. Pisos ecológicos

La microcuenca contempla tres pisos ecológicos con diferencias muy marcadas, fundamentalmente por los gradientes climáticos altitudinales, mismos que, de acuerdo con Navarro (2015), repercuten directamente en la biodiversidad, bioclima y geología presente en cada uno de los pisos. A continuación, se presentan algunas características de los pisos ecológicos presentes en la cuenca con base en el estudio de Biodiversidad, Ecología y Conservación del Valle Central de Cochabamba.

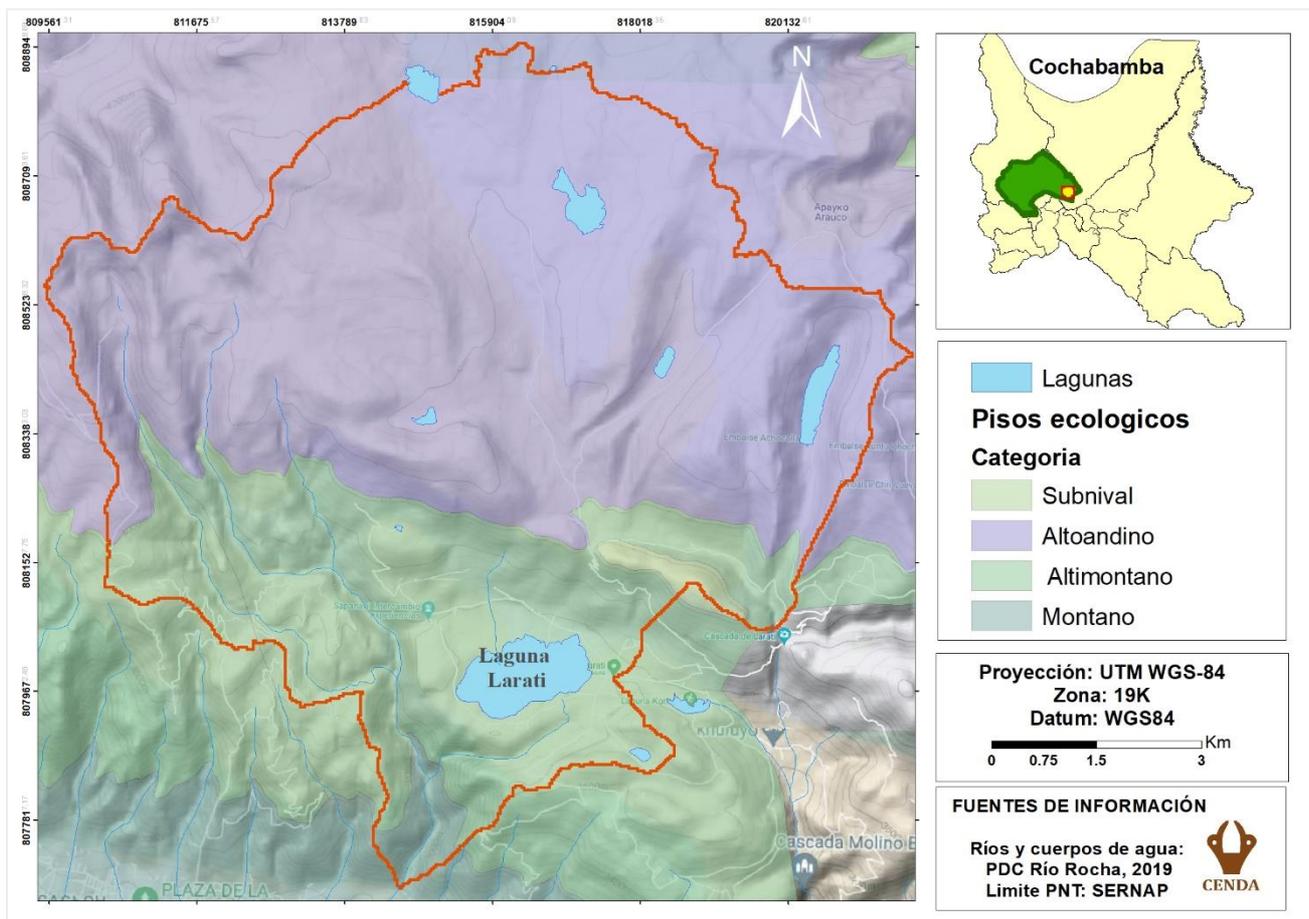


Figura 4. Mapa de pisos ecológicos, en la la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco

Fuente: Con base en datos del PNT

- Piso altoandino**, situado en la cabecera de la microcuenca Larati, donde se ubica una serie de lagunas naturales y artificiales que alimentan a poblaciones de cuenca media y baja. Esta zona presenta un bioclima orotropical pluviestacional húmedo con una serie de vegetación que corresponde a la geoserie de *Misbrookea strigosissima-Stipa hans-meyeri*, la cual incluye el mosaico de comunidades vegetales potenciales y seriales orotropicales del Tunari, desde los pajonales climatófilos a la vegetación de humedales y de afloramientos rocosos (Navarro, 2015).

Clasificación bioclimática	Bioclima: Pluviestacional Ombrotipo: Húmedo Termotipo: Orotropical	
Limitantes ecológicas climáticas	Heladas	Posibles en todos los meses, y diarias en los meses mas secos del año (aproximadamente desde abril a septiembre)
	Sequía	Posibles en todos los meses, y diarias en los meses mas secos del año (aproximadamente desde abril a septiembre)
	Estacionalidad de las lluvias	El 60% de las precipitaciones anuales se concentran desde diciembre a marzo, coincidentes con la época más cálida del año

Cuadro 2. Características climáticas fundamentales del piso altoandino

Fuente: con base en Navarro (2015)

- Piso altimontano**, que se encuentra entre 3200 msnm a 4000 msnm y cuenta con un bioclima pluviestacional subhúmedo con la serie de vegetación de *Berberis commutata- Polylepis subtusalbida* y sus etapas sucesionales de pajonales y arbustales. Las precipitaciones son estacionales, y entre el 45 a 60% se concentran entre los meses de diciembre a febrero. Asimismo, cuentan con tres a cuatro meses secos distribuidos entre mayo y agosto. La vegetación potencial está representada por la serie climatofila de la Khewiña, (*Berberis commutata, Polylepis subtusalbida*) en laderas de montaña, además de etapas de degradación arbustal y pajonal (Navarro, 2015)..

Clasificación bioclimática	Bioclima: Pluviestacional Ombrotipo: subhúmedo (3 200 y 3 700 msnm) Termotipo: húmedo (3 700 y 4 000 msnm)	
Limitantes ecológicas climáticas	Heladas	Posibles en los 3 – 4 meses más fríos del año (aproximadamente mayo a agosto). En general, poco intensas (-3°C a -6°C)
	Sequía	3-4 meses secos (con P<2T) coincidentes con la época más fría del año (mayo a agosto)
	Estacionalidad de las lluvias	Estacionalidad importante: entre el 45 y el 60% de las precipitaciones anuales se concentran desde diciembre a febrero, coincidentes con la época más cálida del año

Cuadro 3. *Características climáticas fundamentales del piso altimontano*

Fuente: con base en Navarro (2015)

- **Piso montano** presente en el valle cochabambino que va desde los 2560 msnm hasta los 3200 msnm. Presenta un piso bioclimático mesotropical inferior xérico seco inferior a semiárido (7 meses secos), con las siguientes series de vegetación: *Vasconcellea quercifolia-Schinopsis haenkeana*, *Schinus fasciculatus-Prosopis alba*, *Lycium americanum-Prosopis alba*, *Pisoniella arborescens - Salix humboldtiana* y *Acacia visco-Erythrina falcata* (Navarro, 2015).

Clasificación Bioclimática	Bioclima: Xérico Ombrotipo: seco (en la franja altitudinal entre 2 800 msnm y 3 200 msnm)	
Limitantes ecológicas climáticas	Heladas	Inexistentes o escasas y poco intensas (promedio: -1 a -3oC), localizadas en el fondo del valle por inversión térmica (julio a agosto)
	Sequía	7 meses secos coincidentes con la época mas fría de año
	Estacionalidad de las lluvias	64% de las precipitaciones anuales se concentran desde diciembre a febrero

Cuadro 4. *Características climáticas fundamentales del piso montano*

Fuente: con base en Navarro (2015)

3.2.2. Precipitación

La microcuenca presenta una variabilidad climática alta, bajo un régimen de precipitación pluviestacional, donde los meses de noviembre a marzo concentran casi el 90% de la precipitación anual (SERNAP , 2016). De manera general, podemos observar que las zonas de mayor altura (entre 4000 – 3500 msnm) registran una mayor precipitación pluvial, entre 1200 – 900 mm. Por consiguiente, los actores locales han desarrollado una serie de estrategias basadas en el almacenamiento de agua en lagunas naturales y artificiales como mecanismo de adaptación a los periodos secos.

Asimismo, podemos destacar que la zona de los valles (3000 – 2000 msnm) registra precipitaciones entre 800 – 500 mm y tiene una gran relevancia para los sistemas de producción y las estrategias de uso y manejo del medio natural con fines productivos.

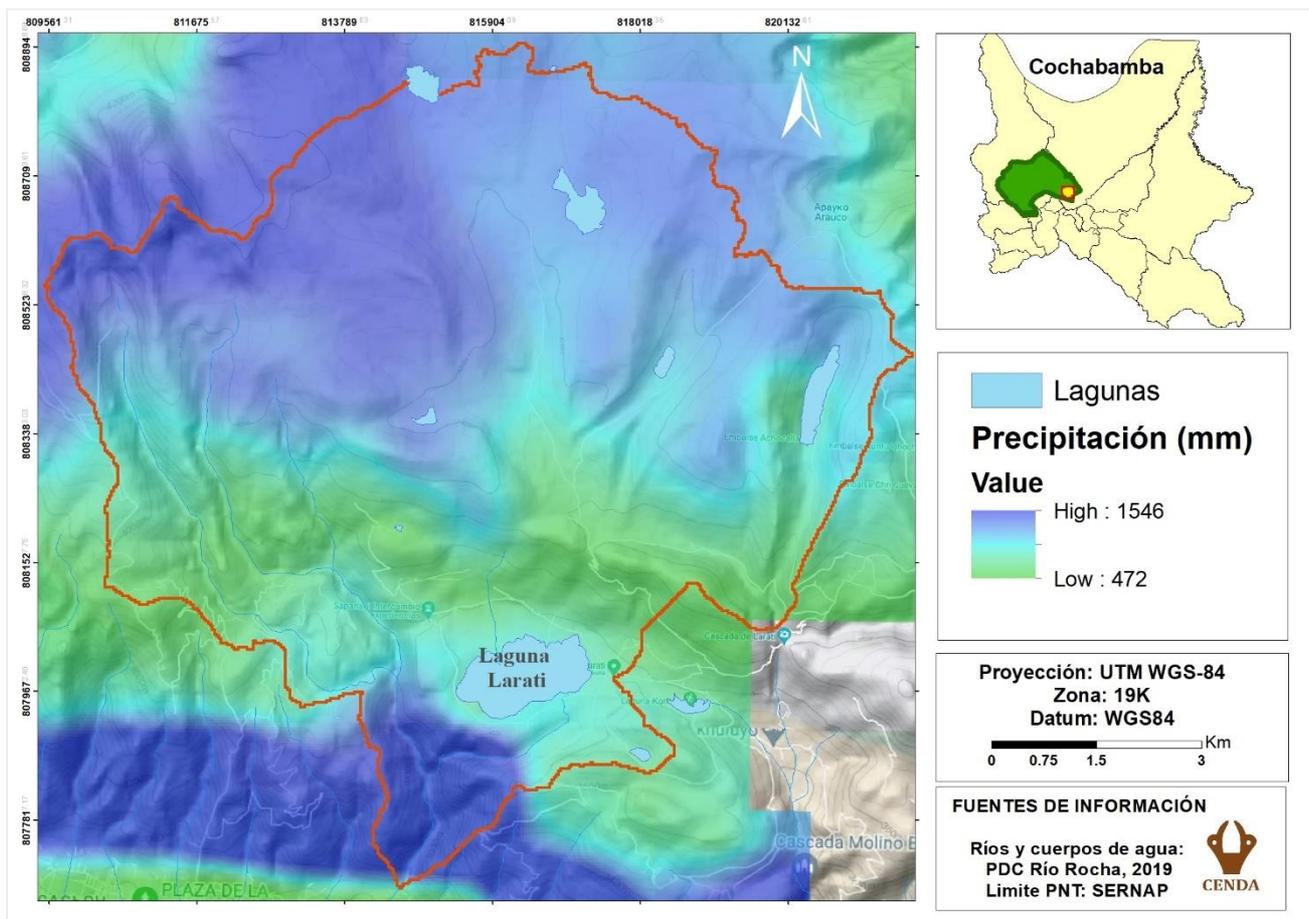


Figura 5. Mapa de Precipitación en la la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco

Fuente: con base en datos del PNT

3.2.3. Pendiente

Basado en la estandarización propuesta por el Desarrollo Rural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), en la microcuenca se pueden diferenciar 7 rangos de pendiente, donde las pendientes predominantes están entre el 15 – 30% distribuidas a lo largo de la misma (cuenca alta, media y baja). Las pendientes favorables a la recarga ocupan el 36,7 % del terreno (0 – 15% pendiente). Asimismo, podemos observar que el 66,9 % del territorio presenta pendientes menores a los 30 %, mientras que el 33 % del mismo presenta terrenos fuertemente ondulados a muy escarpados (entre 30 – mayor a 75%). Estos últimos, presentan limitaciones para la recarga hídrica y contribuyen de manera desfavorable con procesos de erosión hídrica y arrastre de sedimentos durante la época lluviosa (contaminación hídrica).

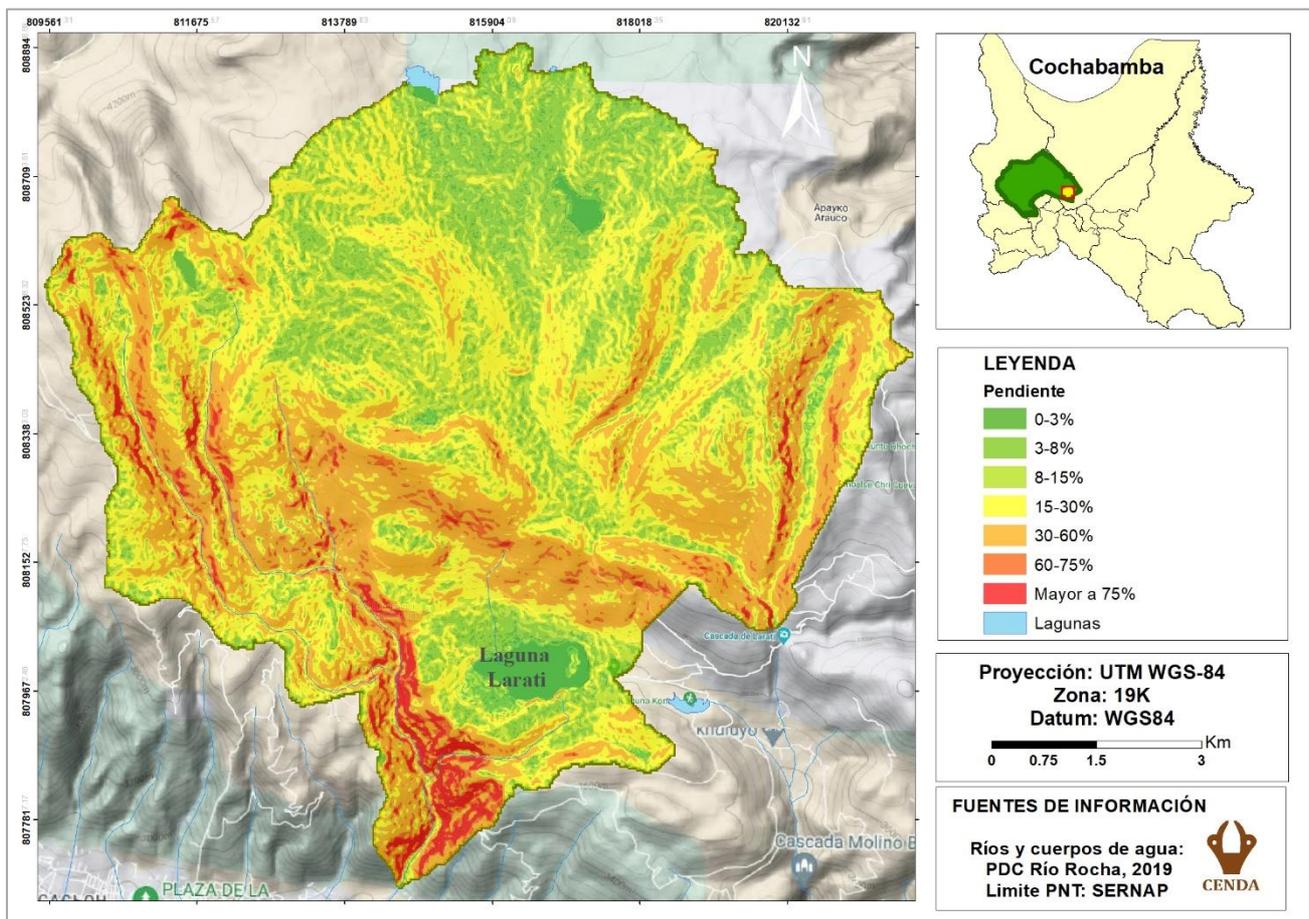


Figura 6. Mapa de pendientes de la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco

Fuente: Con base en datos del PNT

3.2.4. Cobertura y uso de suelo (CUS)

En la microcuenca Larati, se identifican seis clases principales de manera general basado en el plan de manejo del parque nacional Tunari: bosque, pajonal, zona urbana, cultivos, suelo desnudo y cuerpo de agua (laguna Larati). La clase “Bosque” está compuesta principalmente por plantaciones de bosques exóticos, como pinos (*Pinus radiata* y *Cupressus sempervirens*) y eucaliptos (*Eucalyptus* sp.). Por otro lado, la clase “suelo desnudo” se refiere a áreas con suelo rocoso, deslizamientos y caminos. Es importante destacar que una de las problemáticas más significativas en la microcuenca es la pérdida de suelos debido a la erosión. Las pendientes pronunciadas, la baja cobertura vegetal y la presencia de suelos descubiertos (identificados como zonas rojas en la Figura 4) desempeñan un papel crucial en este aspecto.

Además, se puede observar que más del 50% del área de la cuenca está cubierta por pajonales altoandinos y altimontanos, los cuales son características distintivas de la zona y desempeñan un papel determinante en el ecosistema. En menor proporción, encontramos

las clases de cultivos agrícolas, principalmente ubicados en la cuenca media, donde se lleva a cabo una producción intensiva de tubérculos andinos. Por otro lado, la clase "Bosque natural" está compuesta principalmente por Quewilas (*Polylepis*), una especie nativa que se encuentra en menor proporción a los bosques exóticos.

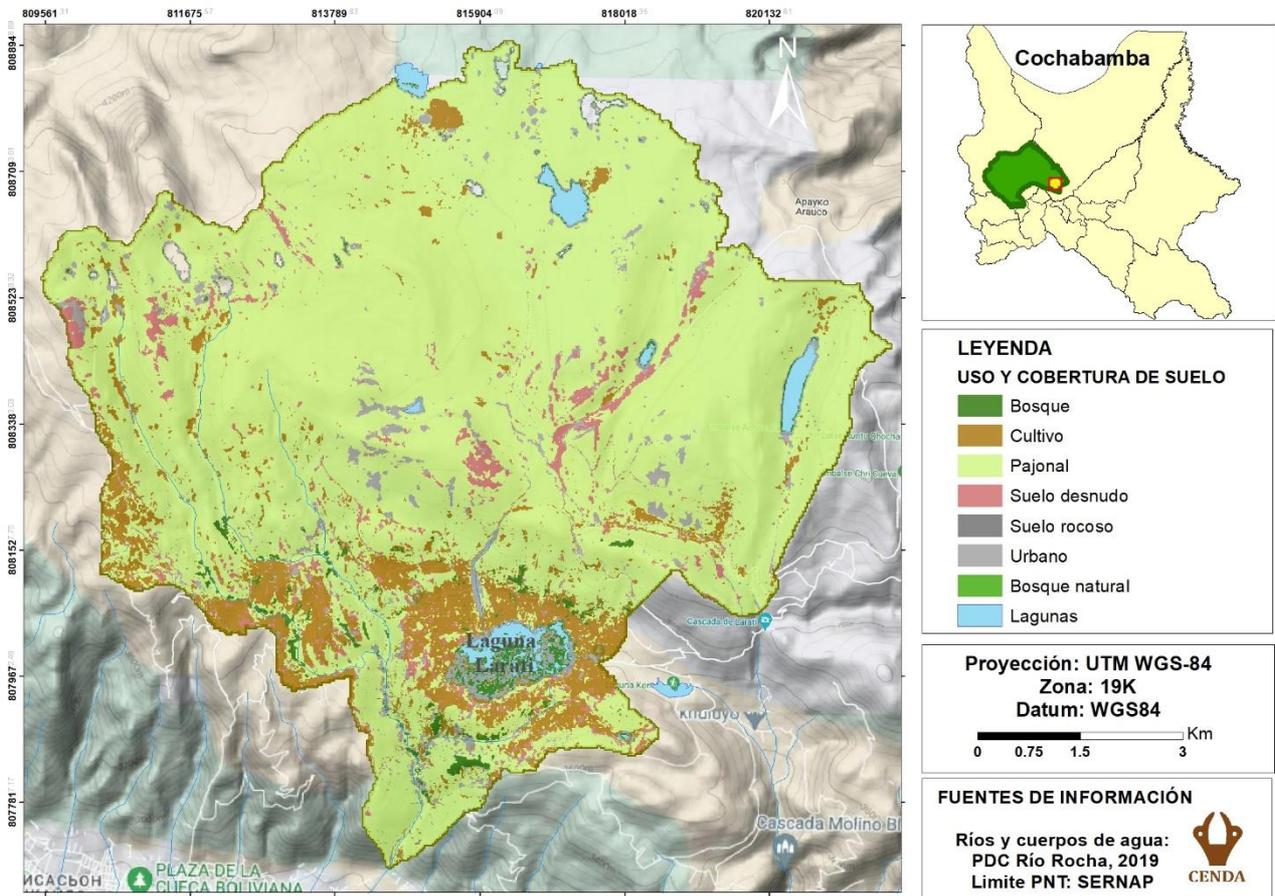


Figura 7. Mapa de uso y cobertura de suelo en la microcuenca Larati, cuenca del río Rocha – Maylanco

Fuente: Con base en datos del PNT

Otro elemento que resaltar es el crecimiento de la mancha urbana sobre los abanicos aluviales y la disminución de zonas agrícolas en los últimos 10 años; este proceso de urbanización sin planificación limita la recarga natural de los acuíferos y condicionan las reservas de agua dulce (Carretero, 2014).

3.2.5. Dinámica social de la microcuenca

La zona de estudio se destaca por la presencia de lagunas naturales y artificiales, ubicadas en el piso altoandino, como parte de las estrategias locales de adaptación a los periodos de escasez pluvial. Estas lagunas, muchas de las cuales han sido construidas o mejoradas en los últimos años por las organizaciones de regantes, desempeñan un papel crucial en la

provisión de agua para siete sindicatos campesinos y cuatro distritos urbanos en la parte media y baja de la cuenca, respectivamente. Además, las vertientes son una fuente de agua importante en la zona de estudio, identificándose un total de cinco vertientes que se utilizan para el suministro de agua potable aguas abajo (CENDA, 2022).

3.3. Metodología

La metodología se basa en la guía metodológica para identificación de zonas potenciales de recarga hídrica propuesta por Matus (2007), que contempla los parámetros de pendiente y microrelieve (pend), tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal (Cve) y uso de suelo (Us). La expresión mostrada por Matus (2007) responde a la ecuación lineal: $ZR = 0,27 (\text{pend}) + 0,23 (\text{Ts}) + 2,012 (\text{Tr}) + 0,25 (\text{Cve}) + 0,13 (\text{Us})$. En el caso de la microcuenca Larati, se realizaron los ajustes respectivos relacionados con las características específicas de la microcuenca, como los pisos ecológicos que la conforman (altoandino, altimontano y montano), el bioclima y la geología presentes en cada una de estas zonas.

Tal como menciona Matus (2007), los pesos relativos asignados en la ecuación no son absolutos, dependerán a las características de cada cuenca donde se vaya a aplicar, en el caso particular de la experiencia desarrollada por Oscar Matus, los pesos relativos asignados responden a las características bioclimáticas de las cuencas de montaña de Honduras. Además, la propuesta metodológica contempló el involucramiento de los actores locales tanto en el primer acercamiento a las zonas de recarga hídrica como en la construcción participativa de las acciones para su protección y conservación.

A continuación, se presenta una descripción de las cuatro etapas que contempló el presente trabajo de investigación:

Etapas 1. Involucramiento de actores en las zonas de recarga hídrica.

La etapa actual se basó en una serie de talleres de capacitación y sensibilización sobre el tema específico, así como en recorridos de campo con actores clave para identificar fuentes de agua y zonas con potencial de recarga.

El proceso de capacitación y sensibilización también incluyó varios pasos, que van desde talleres que involucraron a los diferentes actores de la cuenca, instituciones públicas y ONG's relacionadas con el tema (como el municipio de Sacaba, la gobernación y otras), hasta trabajos enfocados con actores clave para tener un primer acercamiento a las zonas de recarga hídrica.

Para la identificación de fuentes de agua, se trabajó con un público objetivo específico, como dirigentes y gestores del agua, ya que tanto la subcentral Larati como la Asociación de

Regantes Laguna Larati cuentan con actores clave que tienen un amplio conocimiento de cada una de las fuentes de agua presentes en la microcuenca.

Finalmente, se realizaron recorridos de campo con el objetivo de validar y ajustar la información generada en la etapa anterior, tanto en la cartografía participativa como en los mapas parlantes, obteniendo así un mapa de fuentes de agua como primer acercamiento a las zonas de recarga hídrica.

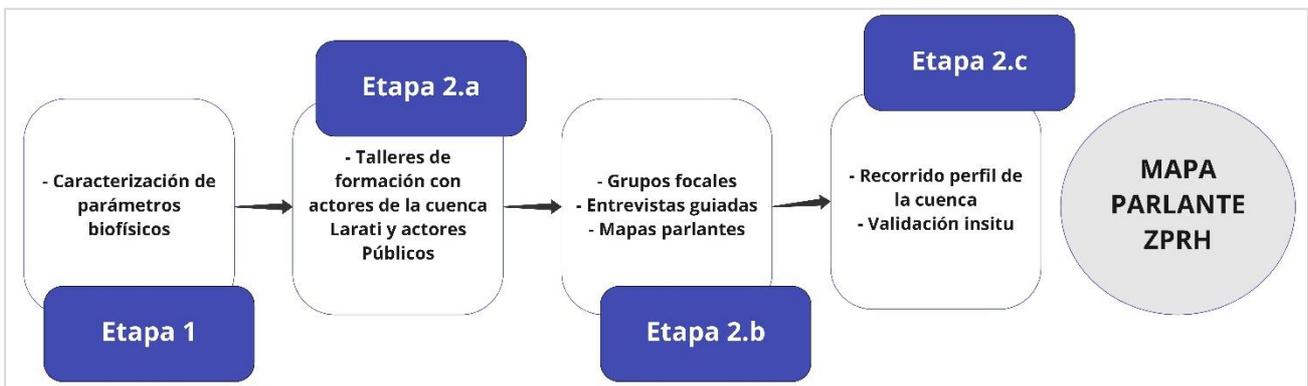


Figura 8. Esquema para el primer acercamiento a las ZPRH

Fuente: Elaboración propia

Esta etapa es determinante debido a la necesidad de generar espacios de diálogo e interacción entre actores de la zona de intervención que permitan superar la tensión entre usuarios de cuenca alta y cuenca baja por el uso y aprovechamiento del recurso hídrico. En consecuencia, la finalidad de la misma tiene que ver con el involucramiento de actores bajo un eje estratégico común, el cuidado de sus fuentes de agua a través de la conservación de zonas potenciales de recarga hídrica.

Etapa 2. Caracterización biofísica de la microcuenca.

En esta etapa, se priorizó la caracterización biofísica de la microcuenca Larati, teniendo en cuenta los parámetros relevantes para la recarga hídrica, como la pendiente y el microrelieve, el tipo de suelo, el tipo de roca, la cobertura vegetal y el uso del suelo. El análisis incluyó una subetapa centrada en la revisión bibliográfica de estudios similares y el conocimiento generado por la comunidad, con el objetivo de establecer pesos relativos adecuados para las condiciones bioclimáticas de la zona de estudio.

$$ZR = a (\text{pend}) + b (Ts) + c (Tr) + d (Cve) + e (Us)$$

Donde:

a, b, c, d y e son los pesos relativos asignados para la microcuenca Larati

Etapa 3. Zonificación espacial de la probabilidad de recarga hídrica



Fuente: *Elaboración propia*

a) Elaboración de mapas temáticos

Para la elaboración de los mapas temáticos, se llevó a cabo la reclasificación de cada una de las capas de entrada utilizadas en el proceso, como la pendiente y el microrelieve, el tipo de suelo, el tipo de roca, el uso del suelo y la cobertura vegetal. Se tomaron en cuenta los valores de referencia propuestos por Matus (2007) y se realizaron ajustes adicionales utilizando valores locales. La reclasificación final de cada capa dio lugar a la creación de un mapa de probabilidad de recarga para cada parámetro evaluado. En resumen, al completar este proceso, se obtuvieron cinco mapas de probabilidad de recarga correspondientes a cada parámetro.

A continuación, se presentan los valores utilizados para generar los mapas de probabilidad de recarga de cada parámetro.

- ***Pendiente y microrelieve***

La pendiente y el microrelieve son variables muy importantes debido a que superficies convexas dispersan el agua en diferentes direcciones, en cambio superficies planas y cóncavas retienen el agua durante mayor tiempo, un aspecto clave para favorecer la infiltración. Las pendientes pronunciadas también juegan un papel desfavorable pues minimizan el tiempo de contacto de la escorrentía superficial, limitando la infiltración efectiva.

MICRORELIEVE	PENDIENTE	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	Muy alta	5
moderadamente ondulado o cóncavo	6 – 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 – 45	Moderada	3
Escarpado	45 – 65	Moderada	2
Fuertemente escarpado	Mayor a 65	Muy baja	1

Cuadro 5. Ponderación: Pendiente y microrelieve

Fuente: Con base en Matus (2007)

- **Condición hidrológica del suelo**

La evaluación del tipo de suelo es un aspecto clave debido a que suelos arcillosos en contacto con el agua aumentan su volumen, disminuyendo su porosidad y en consecuencia dificultan los procesos de infiltración, a diferencia de suelos arenosos o suelos francos que, por su porosidad, facilitan la infiltración de agua proveniente de escorrentía superficial.

TEXTURA	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Arena Mayor a 30 mm/hora	Muy alta	5
Arena limosa 20 - 30 mm/h	Alta	4
Limo 10 – 20 mm/h	Moderada	3
Arcilla limosa mm/h	Baja	2
Arcilla 1 – 5 mm/h	Muy baja	1

Cuadro 6. Ponderación: Tipo de suelo

Fuente: Tidemann, E. (1996)

- **Tipo de roca o geología.**

Al igual que el suelo, el tipo de roca es determinante para la recarga hídrica. Rocas duras con poros finos no favorecen la recarga; por el contrario, las rocas suaves o permeables, con macroporos, fallas, o fracturas, pueden favorecer la recarga de acuíferos. Este factor puede analizarse con ayuda de los actores locales y disposición de información geológica del terreno.

TIPO DE ROCA	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

Cuadro 7. Ponderación: Tipo de roca

Fuente: Con base en Matus (2007)

- **Cobertura vegetal.**

Entendido como el porcentaje de suelo ocupado por vegetación, la cobertura vegetal juega un rol determinante. La vegetación intercepta el agua superficial y favorece la infiltración, dependiendo el tiempo de exposición a la precipitación pluvial. La presencia de varios estratos de cobertura vegetal, favorece la conservación de los suelos, aumenta el tiempo de retención del agua, y, por ende, mejora la infiltración.

COBERTURA VEGETAL PERMANENTE (%)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Mayor a 80	Muy alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
Menor a 30	Muy baja	1

Cuadro 8. Ponderación: Cobertura vegetal

Fuente: Con base en Matus (2007)

- **Uso de suelo.**

Este es una variable altamente cambiante. Las actividades humanas que desencadenan en un uso inadecuado del suelo pueden limitar la capacidad de recarga, favoreciendo la erosión y compactación, aspectos que reducen la capacidad de infiltración de un suelo. Por

el contrario, actividades como sistemas silvopastoriles y agroforestales, u otras prácticas de conservación de suelos, como zanjas de infiltración y terrazas de formación, pueden favorecer la recarga.

USO DE SUELO	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Bosque donde se dan los 3 estratos: árboles, arbustos y hierbas pastizal denso.	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles.	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua.	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación.	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Cuadro 9. Ponderación: Uso de suelo

Con base en Matus (2007)

- **Mapa de probabilidad de recarga hídrica.**

Por último, se realizó la elaboración del mapa resultante utilizando la herramienta "Map Calculador" del programa "ArcGIS". Se utilizó el modelo propuesto por Matus (2007) como base para este proceso. El resultado final del proceso fue la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca Larati, brindando así una primera aproximación a las áreas de recarga hídrica.

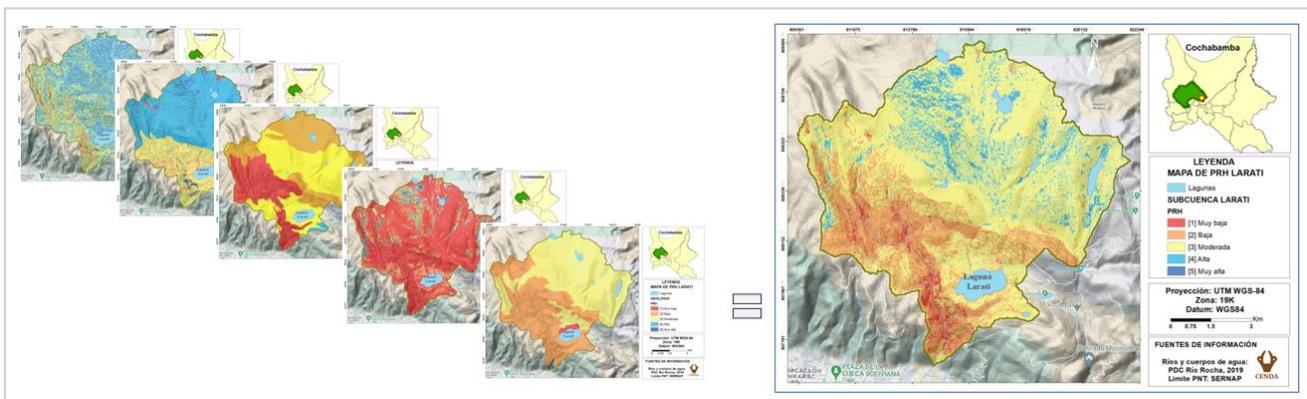


Figura 9. Interpretación grafica

Fuente: Elaboración propia

b) Ajuste y validación del mapa de recarga hídrica

El ajuste del mapa de recarga hídrica se realizó mediante estimaciones a nivel de campo para ajustar las ponderaciones utilizadas. Para determinar la capacidad de infiltración, se utilizó el método de anillos concéntricos. Este método consiste en instalar dos cilindros, uno interno con un diámetro de 30 cm y una altura de 30 cm, y otro externo con un diámetro de

50 cm y una altura de 20 cm. Se realizaron mediciones de infiltración utilizando una regla graduada, tomando nota en intervalos de tiempo que incluyeron los siguientes valores: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos.

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se adoptó la siguiente ecuación:

$$VI = (\Delta \text{ de lectura} * 600) / \Delta \text{ de tiempo, donde:}$$

VI= Velocidad de infiltración en mm/h

Δ de lectura = Diferencial de lectura en cm

Δ de tiempo = Diferencial de tiempo en minutos

600 = Factor de conversión de cm/h a mm/h

Hora de lectura	1=T Tiempo (min)	2=Altura del agua Lectura (cm)	3 = Lectura actual – Lectura anterior (cm)	4 = I * Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual – anterior (min)	6 velocidad de infiltración (mm/hora)

Cuadro 10. Mediciones para el cálculo de infiltración

Fuente: Con base en Ríos (2006)

Se establecieron puntos estratégicos a lo largo de la cuenca, teniendo en cuenta las unidades homogéneas delimitadas por la clasificación taxonómica de suelos USDA. Estos puntos correspondieron a las zonas de recarga generadas en el mapa inicial, las cuales se clasificaron en capacidad de recarga muy baja, baja, moderada, alta y muy alta. Para validar la capacidad de infiltración de cada una de estas zonas, se realizó una prueba de campo utilizando los resultados proporcionados por la ecuación inicial.

c) Para el ajuste de los pesos relativos

El ajuste de los pesos relativos de la ecuación tomará en cuenta los resultados obtenidos en la experiencia de la capacidad de infiltración (respaldo técnico), además de revisión bibliográfica y entrevistas a expertos que permitan respaldar las modificaciones.

Etapas 4. Propuesta de lineamientos de manejo y conservación de ZPRH.

La tercera etapa contempla una serie de talleres con actores locales y dirigentes de la subcentral Larati y la Asociación de Regantes Laguna Larati. Se dará énfasis en la importancia del cuidado, la protección y conservación de estas zonas además de recuperar aportes orientados al manejo y la protección de las zonas potenciales de recarga hídrica.

ACTOR	TEMÁTICA	INSTRUMENTO	RESULTADO ESPERADO
Dirigentes regantes / subcentrales	Socialización de las ZPRH y su importancia	PPT / maqueta de microcuenca	Sensibilización de actores clave
Grupos focales gestión del agua	Construcción participativa de lineamientos	Priorización de acciones en base a 80 herramientas	Lineamientos para la protección de ZPRH y priorización de intervenciones
Bases orgánicas	Socialización de documento final	PPT / maqueta de microcuenca	Sensibilización de la población en general

Cuadro 11. Pasos para la elaboración de la propuesta

Fuente: Elaboración propia

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

PRIMER MOMENTO. CONOCIENDO LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA

4.1. Primer acercamiento a zonas de recarga hídrica

Durante el desarrollo de la investigación, se llevó a cabo un primer acercamiento al estudio de las zonas de recarga hídrica. Para la obtención de información relevante, se contó con la participación de los actores de la cuenca, quienes fueron capacitados en el curso de formación de “Promotores en Gestión de Cuencas” en el marco del proyecto “Autogobierno comunal y autogestión territorial” impulsado por el Centro de Comunicación y Desarrollo Andino “CENDA”. La contribución de los actores locales permitió obtener datos e información esenciales para el presente estudio presentes a continuación.

4.1.1. Diagnóstico participativo

El diagnóstico permitió identificar aquellos impactos de la cuenca que inciden directamente en los parámetros favorables para la infiltración. El cuadro siguiente identifica aquellos impactos identificados por los actores locales, mismos que fueron validados mediante recorridos de campo posterior al curso de formación.

Una vez concluido el diagnóstico, se logró identificar los diferentes impactos que afectan directamente a los parámetros que favorecen la infiltración en la cuenca. En este sentido, se ha elaborado un cuadro donde se destacan los tipos de degradación y los impactos identificados por los actores locales. Es importante señalar que estos impactos fueron validados mediante recorridos de campo, lo que ha permitido obtener información más precisa y detallada sobre la situación actual de la cuenca.

TIPO DE DEGRADACIÓN	CAUSA-RAÍZ	IMPACTOS
<p>Perdida de especies forestales nativas que favorecen la recarga hídrica</p> <p>Parte media de la cuenca</p>	<p>Directa: Promoción del Servicio nacional de áreas protegidas “SERNAP” para reforestación con especies exóticas</p> <p>Indirecta: Debilidad orgánica de los actores territoriales, quienes no hicieron gestión del territorio</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de las vertientes naturales ▪ Perdida de servicios ecosistémicos de especies nativas (regulación hídrica)
<p>Perdida de suelos por erosión hídrica</p> <p>Parte media y torrenteras donde las pendientes son pronunciadas</p>	<p>Directa: Atención leve por parte del SERNAP dentro el área protegida</p> <p>Indirecta: Organizaciones poco articuladas a nivel de cuenca para encaminar acciones de conservación y manejo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deslizamientos y mazamorras en época de lluvia (desastres en cuenca baja) ▪ Pérdida de materiales en infraestructura
<p>Disminución de los servicios ecosistémicos de pajonales y bofedales</p> <p>Parte alta de la cuenca</p>	<p>Directa: Sobrepastoreo, agricultura y trabajos comunales para la captación de agua sin contemplar el impacto en el ecosistema.</p> <p>Indirecta: Falta de conocimiento de los comunarios sobre los servicios ecosistémicos de los pajonales y bofedales</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de los servicios ecosistémicos de los pajonales y bofedales (secuestro de carbono, infiltración y forraje)
<p>Cambio en los patrones hidrológicos</p> <p>Parte alta de la cuenca</p>	<p>Directa: Incendios forestales de parte de los comunarios para habilitar terrenos de cultivo agrícola</p> <p>Indirecta: Debilidad institucional del SERNAP dentro el área protegida</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdida de suelos y servicios ecosistémicos favorables a la infiltración
<p>Compactación de suelos</p> <p>Parte media y baja de la cuenca</p>	<p>Directa: agricultura intensiva sin rotación de cultivos</p> <p>Indirecta: Debilidad institucional en el SERNAP y falta de capacitación de los agricultores</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdida de suelos y servicios ecosistémicos favorables a la infiltración
<p>Otros importantes</p>	<p>Plan de manejo del Parque Nacional Tunari “PNT” limita el desarrollo económico de comunidades de cuenca alta y media</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acelera procesos migratorios de los jóvenes del campo a la ciudad ▪ Falta de oportunidades económicas en la zona

	Usos y costumbres no responden a las condiciones críticas de escasez de agua actual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conflictos intercomunales por el agua ▪ Indirectamente promueve la mercantilización de tierras en cuenca alta (para construcción de lagunas artificiales)
--	---	--

Cuadro 12. Identificación de impactos enfocados en la recarga hídrica

4.1.2. Identificación participativa de zonas de recarga hídrica

A. Explorando la perspectiva de los participantes

A continuación, se presenta el cuadro que refleja la percepción de los participantes sobre la importancia de los diferentes parámetros en la recarga hídrica, posterior a las capacitaciones técnicas y prácticas correspondientes. Para ello, se aplicó la metodología de “Matriz de Priorización de las 80 Herramientas para el Desarrollo Participativo”, la cual permitió determinar que los parámetros de pendiente, uso y cobertura de suelo, y cobertura vegetal presentan mayor relevancia en la recarga hídrica según la percepción de los actores.

El cuadro proporcionó una evaluación cualitativa de la importancia relativa de cada parámetro, considerando las interacciones entre ellos. Se analizaron las relaciones entre pendiente y tipo de suelo, pendiente y uso de suelo, pendiente y cobertura, y finalmente pendiente y geología. El resumen del cuadro muestra que la percepción general destaca la cobertura y uso de suelo como el parámetro más relevante, con una frecuencia de cuatro en relación a los otros parámetros. En segundo lugar, se encuentra la pendiente con una frecuencia de tres, seguida por la cobertura vegetal con una frecuencia de dos, el tipo de suelo con una frecuencia de uno, y la geología con una frecuencia de cero.

Parámetros	Pendiente	Tipo de suelo	Uso de suelo / cob	Cobertura Vegetal	Geología
Pendiente		Pend	Us/cob	Pend	Pend
Tipo de suelo			Us/cob	Cve	Ts
Uso de suelo				Us/cob	Us/cob
Cobertura Vegetal					Cve
Geología					

Cuadro 13. Percepciones sobre la importancia de parámetros en la recarga hídrica

Asimismo, la metodología permitió establecer la importancia que tiene cada parámetro según frecuencia de repetición, obteniendo los siguientes resultados donde uno

corresponde al de mayor importancia y cinco el de menor importancia según percepción de los participantes:

PARÁMETRO	FRECUENCIA	IMPORTANCIA
Pendiente	3	2
Tipo de suelo	1	4
Uso de suelo y cobertura	4	1
Cobertura Vegetal	2	3
Geología	0	5

Cuadro 14. Frecuencia e importancia según parámetro para la recarga hídrica

Es posible observar que, según las percepciones de los participantes, la geología no se considera un parámetro relevante en la recarga hídrica. Este resultado puede ser atribuido, en gran medida, a la falta de información hidrogeológica disponible sobre la zona de estudio. Asimismo, se puede resaltar que, para los participantes, resultó abstracto evaluar un parámetro que no es perceptible a simple vista, lo que posiblemente limitó su valoración. Sin embargo, es importante resaltar la necesidad de profundizar en estudios hidrogeológicos de la zona para obtener información más precisa y detallada que permita comprender la influencia de la geología en la recarga hídrica de la cuenca.

B. Uso de mapas parlantes en la identificación de zonas de recarga hídrica

A través de esta metodología de cartografía participativa se logró identificar los parámetros relevantes según el conocimiento del terreno de los actores locales, entre los que se destacaron: zonas con peligros de deslizamiento y alta pendiente, tipo de cobertura vegetal exótica y nativa, usos y coberturas del suelo, y suelos con mayor capacidad de infiltración (Figura I). El conocimiento adquirido mediante la participación activa de los actores en este proceso permitió establecer estrategias de conservación, manejo de fuentes de agua, y eventualmente, zonas de recarga hídrica.

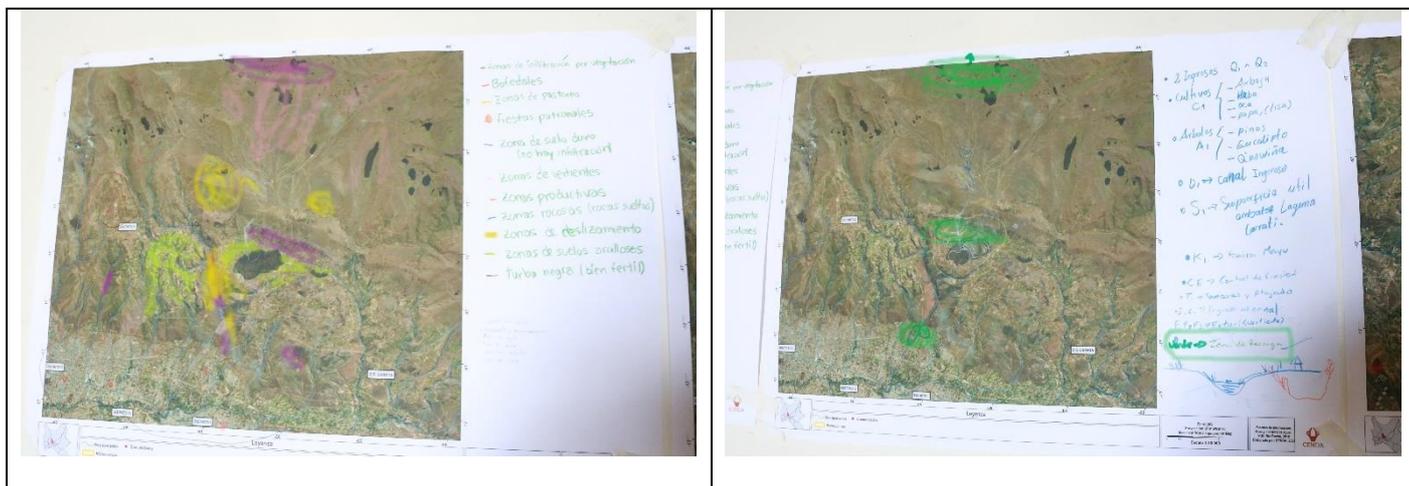


Figura 10. Identificación de parámetros relevantes para las ZPRH (izquierda), y zonas potenciales de recarga hídrica (derecha)

La figura 10 (derecha) presenta las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas por los participantes, destacándose tres zonas con diferente potencial a lo largo de la cuenca. En la zona alta, se observa la mayor probabilidad de recarga debido a la presencia de lagunas de almacenamiento y a la escasa intervención antrópica. En la zona media, se identificaron áreas con buena capacidad de infiltración, aunque con mayor interacción antrópica por actividades agrícolas y de aprovechamiento forestal. Finalmente, en la zona baja de la cuenca, se destacó la importancia de los abanicos aluviales como espacios fundamentales para la recarga hídrica; este último, está amenazado por el crecimiento desmedido de la mancha urbana.

4.1.3. Alternativas para la protección y conservación de ZPRH.

El cuadro siguiente refleja las alternativas propuestas por los actores como resultado del curso de formación. Se destaca el gran énfasis que se pone en la conservación de la parte alta de la cuenca, ya que esta es una zona poco intervenida por las actividades antrópicas, pero es fundamental para el almacenamiento de agua para diferentes organizaciones de regantes. Es evidente que la conservación de estas áreas resulta un reto importante, principalmente por la alta tensión entre los distintos usuarios por la creciente demanda de agua que se presenta en la zona.

CUENCA	MEDIDA	IMAGEN DE APOYO
Alta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reforestación (nativas) ▪ Conservación de pajonales y recuperación de bofedales ▪ Qochas de siembra de agua ▪ Prácticas agrícolas ancestrales ▪ Evitar la compactación del suelo por los animales ▪ Incentivos del estado para la protección y conservación de la zona 	 <p>Nota: Cuenca alta, zona de baja intervención antrópica</p>

<p>Media</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reforestación (nativas y exóticas) para aprovechamiento forestal ▪ Prácticas agrícolas ancestrales ▪ Sistemas agroforestales ▪ Terrazas en zonas de pendiente ▪ Iniciativas de desarrollo económico sostenibles ▪ Incentivos del estado para la protección y conservación de la zona 	 <p><i>Nota: cuenca media, zona agrícola de alto impacto</i></p>
<p>Baja</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reforestación (especies nativas) para sostener el suelo ▪ Sistemas agroforestales ▪ Control avasallamiento de tierras sobre áreas de recarga 	 <p><i>Nota: cuenca baja quebrada Chimboco, zona de deslizamiento</i></p>

Cuadro 15. Alternativas para conservar la cuenca y zonas de recarga hídrica

SEGUNDO MOMENTO. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA RECARGA HÍDRICA.

En el segundo momento, se procedió a realizar la evaluación de los parámetros relevantes para la recarga hídrica en la zona de estudio con ayuda de la información relevada en campo e información SIG disponible. Este análisis tuvo como objetivo principal comprender la influencia y la importancia relativa de cada uno de estos parámetros en el proceso de recarga hídrica a través de la reclasificación según los cuadros planteados en la metodología (Ver cuadros 5 al 9).

4.2.1. Pendiente.

El análisis de pendientes en el mapa muestra que la mayor parte de las áreas con alta y muy alta probabilidad de recarga hídrica, representando el 56%, se encuentran en la parte alta y media de la cuenca, con pendientes que oscilan entre el 6% y el 15%. Es importante destacar que, en la cabecera de la cuenca, la pendiente juega un papel determinante en la infiltración del agua y su almacenamiento en superficie, particularmente en lagunas artesanales (Qochas). Asimismo, estas Qochas, juegan un papel crucial como reservorios de agua, al mismo tiempo que permiten una infiltración efectiva a lo largo de todo el año, debido al prolongado tiempo de contacto con la superficie.

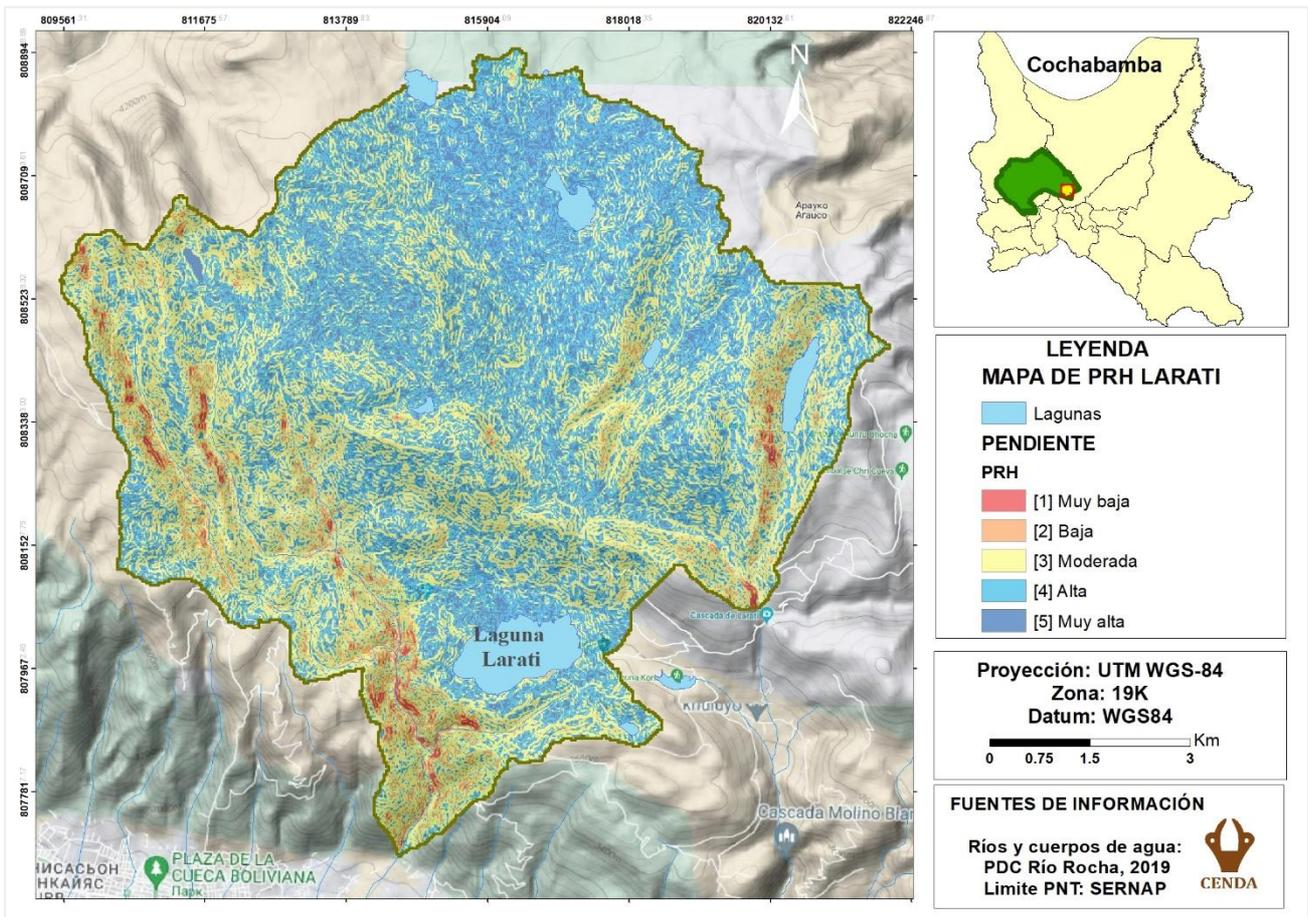


Figura 11. Mapa de PRH según pendiente

4.2.2. Uso de suelo y cobertura

El análisis del uso y cobertura de suelo resulta fundamental, ya que refleja que el 66% del área total de la cuenca presenta muy alta y alta probabilidad de recarga situada principalmente en cabecera de cuenca. Esta zona cuenta con una baja intervención antrópica y una gran cantidad de vegetación nativa como pajonales altoandinos y bofedales, lo que favorece la infiltración del agua y su almacenamiento (Córdova, J., & Luna, W. 2021). Sin embargo, es importante destacar que estas áreas se ven presionadas por la actividad ganadera, principalmente en los alrededores de las lagunas, que son la principal fuente de forraje y agua para el ganado.

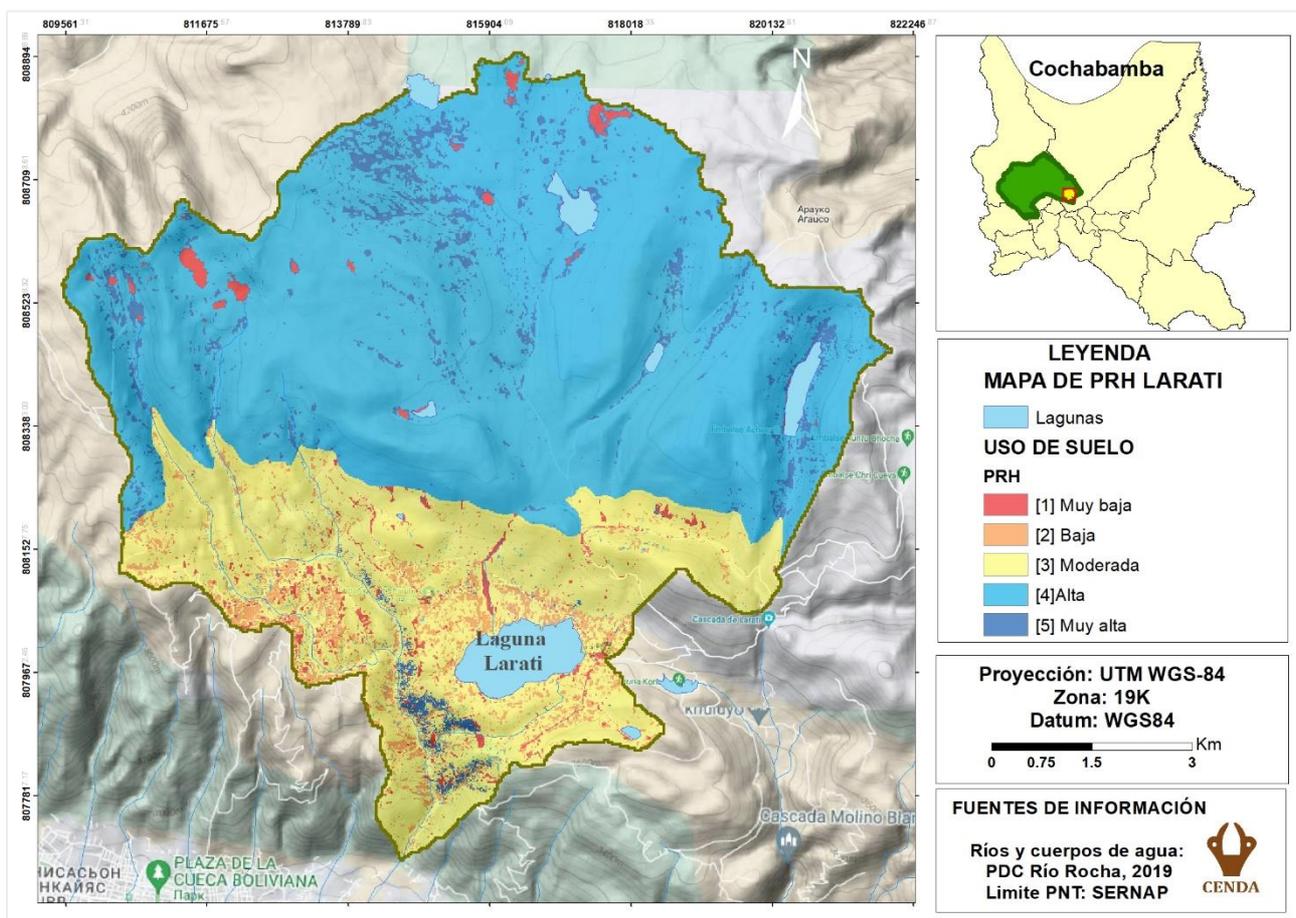


Figura 12. Mapa de PRH según uso y cobertura de suelo

En contraste, el 27% del área de la cuenca se considera moderada en términos de probabilidad de recarga hídrica y el 8%, baja y muy baja. Estos valores se localizan principalmente en las partes media y baja de la cuenca, donde se registra un mayor impacto antrópico a través de la presencia de cobertura vegetal exótica (Pinos y eucaliptos), asentamientos urbanos, la actividad agrícola y de aprovechamiento forestal; estas dos últimas actividades son fundamentales para la subsistencia de las comunidades de la subcentral Larati.

4.2.3. Cobertura vegetal

El análisis del mapa de cobertura vegetal se centró en la medición de la densidad de la vegetación utilizando imágenes satelitales Sentinel-2 del mes de abril de 2022, durante la época de lluvias. El objetivo fue visualizar de manera más precisa la densidad de la vegetación y su relación con la probabilidad de recarga. Los resultados muestran que el 88% de la cuenca presenta una muy baja a baja probabilidad de recarga, debido a la presencia predominante de pajonales dispersos, una característica habitual en los pisos ecológicos altoandino y altimontano.

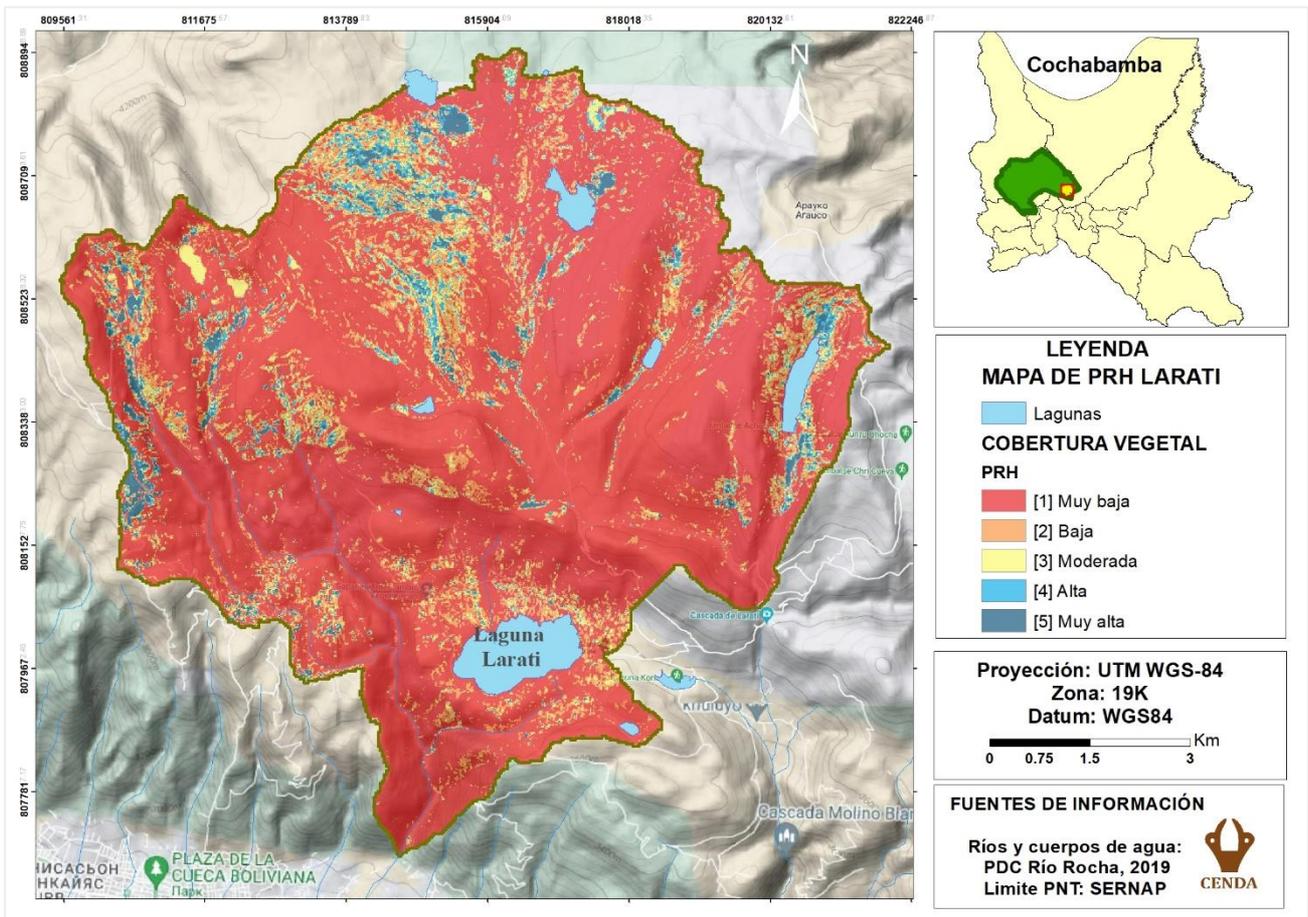


Figura 13. Mapa de PRH según cobertura vegetal empleando el índice FVC

En contraste, el 12% restante correspondiente a una muy alta, alta y moderada probabilidad de recarga se concentra en la cabecera de cuenca, donde se sitúan los pajonales, bofedales y las lagunas de almacenamiento. Esta vegetación es fundamental para el proceso de infiltración y, por ende, para la recarga hídrica.

4.2.4. Geología

Tras realizar el análisis geológico de la cuenca, se contrastó la información obtenida con la bibliografía disponible a partir del mapa base proporcionado por el Servicio Geológico Minero "SERGIMIN" a una escala de 1:100000. Según el análisis del mapa a dicha escala, se dividió la cuenca en dos partes en cuanto a la probabilidad de recarga hídrica se refiere. El 56% de la cuenca está representado por la formación Amutara, formación San Benito y depósitos glaciales, los cuales presentan una probabilidad moderada de recarga hídrica. Esto se debe a que estas formaciones geológicas están compuestas principalmente por rocas sedimentarias con fracturas o fisuras que favorecen la infiltración de agua (Renner & Velasco, 2000)

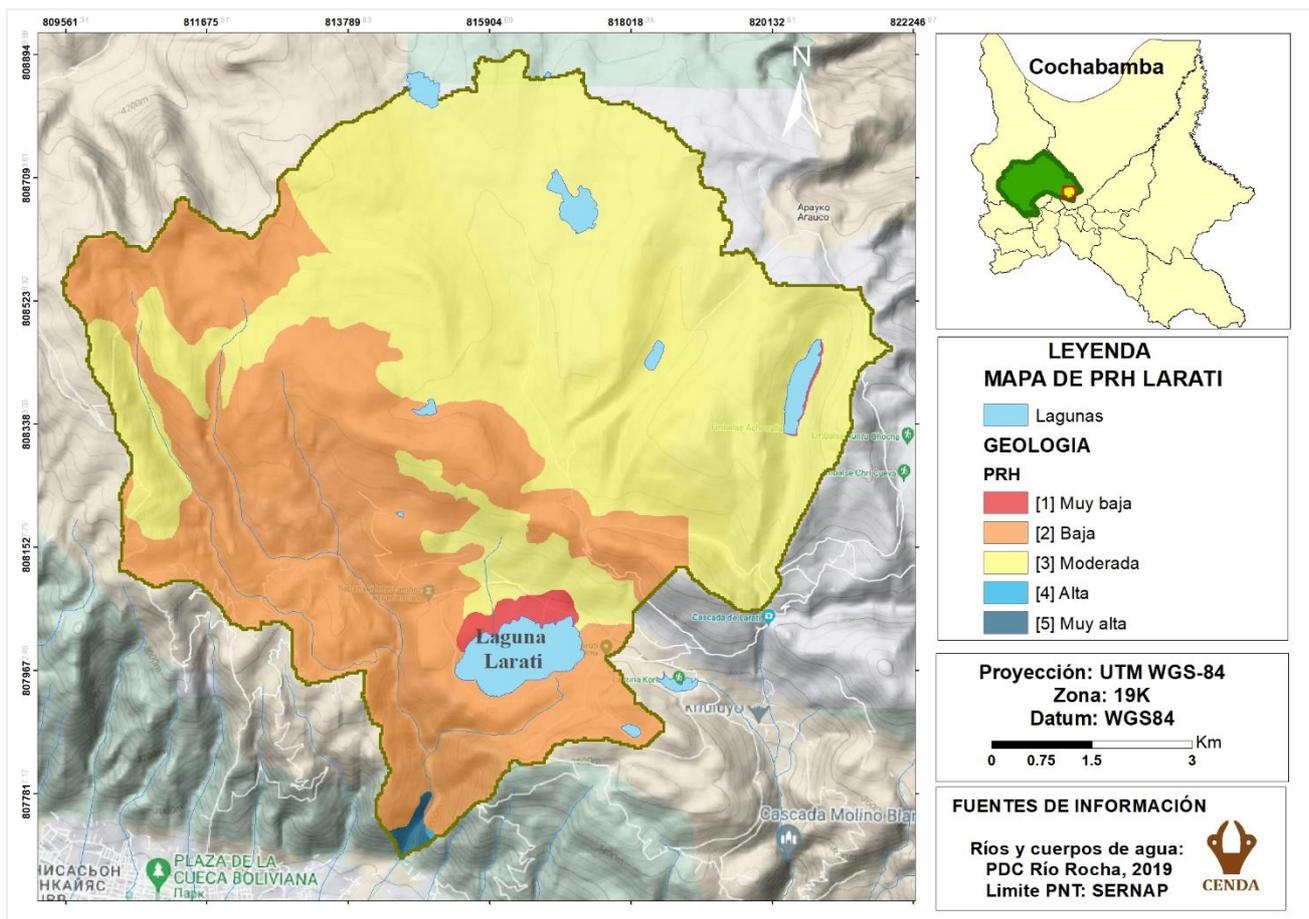


Figura 14. Mapa de PRH según geología

En contraste, el 42% del área de la cuenca presenta una baja probabilidad de recarga hídrica debido a la formación Anzaldo. Esta formación está compuesta principalmente por rocas sedimentarias que contienen limo, arcillas y limolitas gris verduscas, además de areniscas duras y compactas, según se describe en el mapa geológico. Estas características clasifican a la formación Anzaldo como parte de los acuíferos locales con presencia limitada de aguas subterráneas, pertenecientes al Grupo IIIb. Esto implica una reducida capacidad de infiltración y, como consecuencia, una baja probabilidad de recarga hídrica en esta zona (Renner & Velasco, 2000). Por último, se identificó que menos del 1% del área de la cuenca presenta una muy alta y alta probabilidad de recarga hídrica debido a la presencia de depósitos coluviales y abanicos aluviales.

4.2.5. Tipo de suelo

En el caso de la probabilidad de recarga según el tipo de suelo, se llevaron a cabo pruebas de infiltración en unidades homogéneas definidas en toda la cuenca, utilizando el sistema taxonómico de clasificación de suelos USDA. El análisis del mapa resultante muestra que el 44% del área total de la cuenca presenta una capacidad de infiltración moderada, con una tasa de infiltración base de 15.38 mm/h. Esta capacidad moderada de recarga se

concentra principalmente en las zonas de cuenca alta y media. Asimismo, se identificó una unidad de suelo con capacidad de infiltración de 21.16 mm/h equivalente al 1% del área total de la cuenca, que corresponde a una probabilidad recarga alta.

Mientras que, por el contrario, el 56% del área total de la cuenca presento una capacidad de infiltración baja y muy baja, con valores de infiltración de 5.09 y 4.36 mm/h, respectivamente. Estas áreas se distribuyen en los diferentes niveles de la cuenca (alta, media y baja) como se puede ver en la figura.

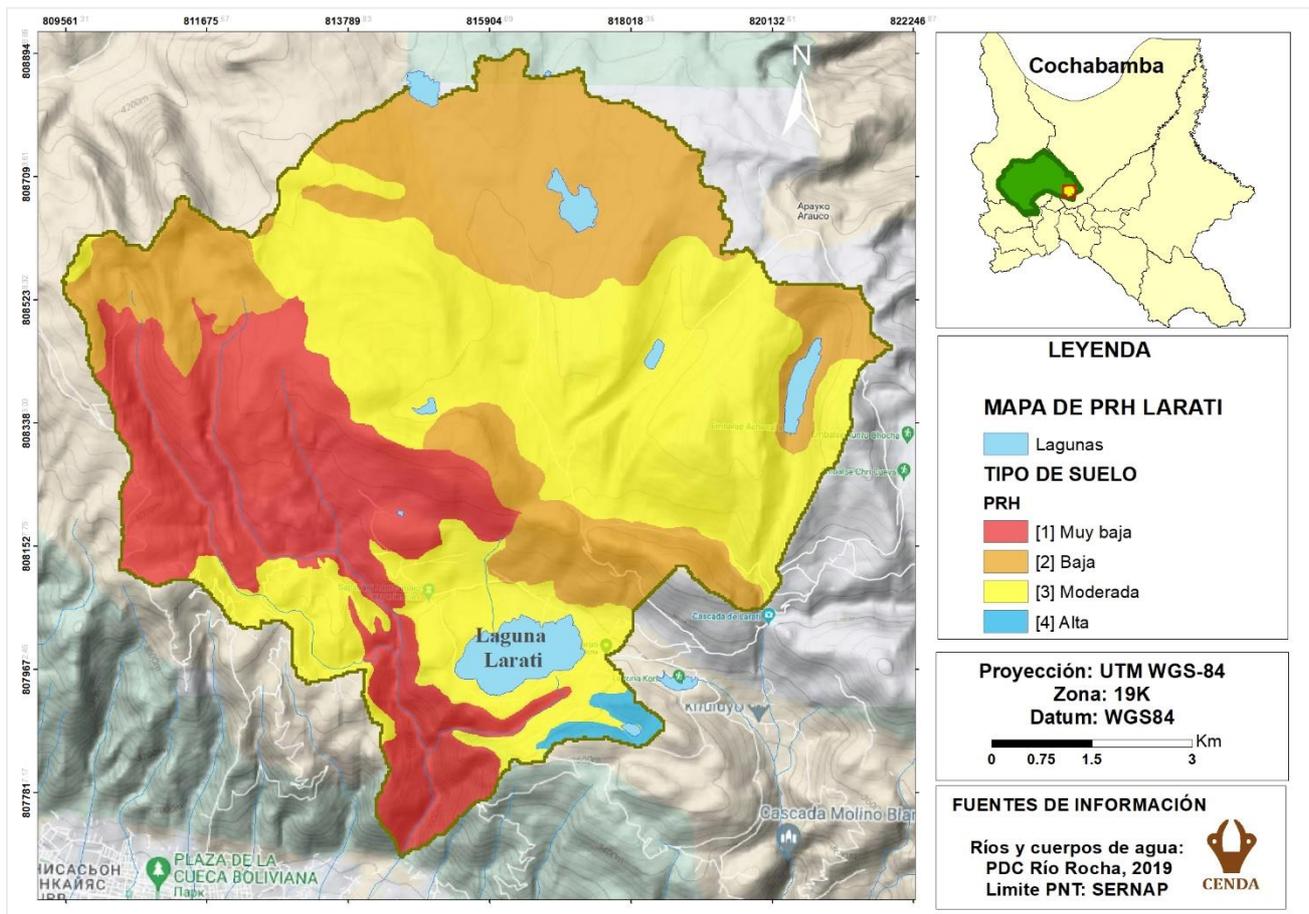


Figura 15. Mapa de PRH según tipo de suelo

TERCER MOMENTO. ZONIFICACIÓN ESPACIAL DE LA PROBABILIDAD DE RECARGA HÍDRICA PARA LA MICROCUENCA LARATI

4.3 Ecuación de recarga hídrica para la subcuenca Larati

La asignación de los pesos relativos en la ecuación de probabilidad de recarga hídrica de la microcuenca Larati se realizó considerando diferentes fuentes de información. Esto incluyó la retroalimentación proporcionada por actores clave durante el proceso de diagnóstico participativo, así como el conocimiento adquirido a través de pruebas de infiltración en

campo. Además, se tuvieron en cuenta estudios similares previos, como el desarrollo y aplicación de una metodología para identificar zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas en la cuenca Virvini (Rodríguez Levy & Centellas Levy, 2023) y el estudio sobre la determinación natural de recarga de aguas subterráneas en la cuenca del valle alto mediante un balance hídrico (Apaza Coria, 2022).

Estos estudios consideraron las características específicas de Cochabamba, brindando un marco de referencia para la asignación de pesos en la ecuación de probabilidad de recarga hídrica de la microcuenca Larati, donde se otorgó mayor peso a factores como el uso y cobertura de suelo, la pendiente y el tipo de suelo. Este último factor en particular se validó mediante ensayos de infiltración en terreno.

Es importante resaltar que, los ensayos de infiltración permitieron observar los siguientes puntos a tomar en cuenta para la ponderación de los pesos relativos y la importancia de los parámetros de recarga hídrica:

- El **uso y cobertura de suelo** desempeña un papel crucial en la recarga hídrica en la cuenca de estudio, especialmente en aquellas zonas con una fuerte presencia de agricultura y ganadería de camélidos, que tienen un impacto significativo en la compactación del suelo y la infiltración, puesto que sistemas de pajonales en terrenos de descanso registraron mejores valores de infiltración en relación a zonas agrícolas y de pastoreo. Tal y como se puede observar en el estudio desarrollado por USAID en las regiones de Ecuador, Bolivia y Perú, donde, la conversión de pastizales a bosques exóticos, cultivos o urbanizaciones, sigue un aumento en la escorrentía superficial y disminuye significativamente la infiltración en ecosistemas Andinos (USAID, 2020).
- Se pudo observar que la **cobertura vegetal asociada al uso de suelo**, incide en la recarga en mayor proporción que el tipo de suelo, debido a que los suelos con un alto contenido de arcilla, pese a su condición limitante, mostraron una mayor capacidad de infiltración en presencia de vegetación nativa, especialmente en pajonales, donde las raíces de las plantas juegan un papel crucial en la formación de poros que favorecen la infiltración.
- Las lagunas de almacenamiento en cabecera de cuenca son vitales para la recarga hídrica desde la experiencia de los actores locales, quienes denotan que las **pendientes favorables** (planas) permiten retener el agua y promover una infiltración

mínima pero constante durante todo el año. Del mismo modo, el autor Sainz Ortiz (s/f) destaca que el tiempo de contacto entre la superficie y el agua es un criterio fundamental para lograr una infiltración efectiva y mejorar la eficiencia del proceso.

En este sentido, se atribuyeron los siguientes pesos relativos para la ecuación de probabilidad de recarga hídrica adecuada a las condiciones de la microcuenca Larati:

$$\text{PRH Larati} = 0.24 * \text{Pend} + 0.20 * \text{Ts} + 0.15 \text{Geo} + 0.16 * \text{Cveg} + 0.26 \text{Us/C}.$$

Donde,

Pen: Pendiente

Ts: Tipo de suelo

Geo: Geología

Cveg: Cobertura Vegetal

Us/C: Uso de suelo y cobertura

4.3.1. Mapa de probabilidad de recarga hídrica - microcuenca Larati

El mapa resultante del cruce de los mapas de probabilidad de recarga antecedentes, muestra que las áreas con mayor probabilidad de recarga hídrica (muy alta y alta), se encuentran en cabecera de cuenca, representando el 11.3% del área total de la microcuenca. Por otro lado, el 62.5% del área corresponde a una probabilidad moderada de recarga se concentra en cabecera de cuenca y cuenca media, donde se desarrollan actividades ganaderas y agrícolas. Por último, el 26% restante corresponde a una probabilidad baja y muy baja de recarga hídrica. Estas áreas se encuentran ubicadas principalmente en quebradas de alta pendiente y zonas con una actividad agrícola intensiva.

Al contrastar los mapas de recarga hídrica, se pudo observar que las condiciones más favorables para una recarga efectiva se presentan en la cabecera de cuenca. En esta zona, la topografía del terreno permite una mayor retención de agua en la superficie, lo que a su vez facilita el proceso de infiltración. Además, se registró una mínima presencia de actividades antrópicas, como la ganadería de camélidos y la agricultura, lo que favorece aún más las condiciones para la recarga hídrica. La presencia de pajonales y bofedales en la cabecera de cuenca también juega un papel determinante, ya que actúan como reservorios de agua y favorecen la formación de poros que facilitan la infiltración. Por último,

los valores registrados de infiltración según el tipo de suelo indican la presencia de suelos limosos también favorables a la infiltración en este caso en particular, debido a su relación con las variables antes mencionadas.

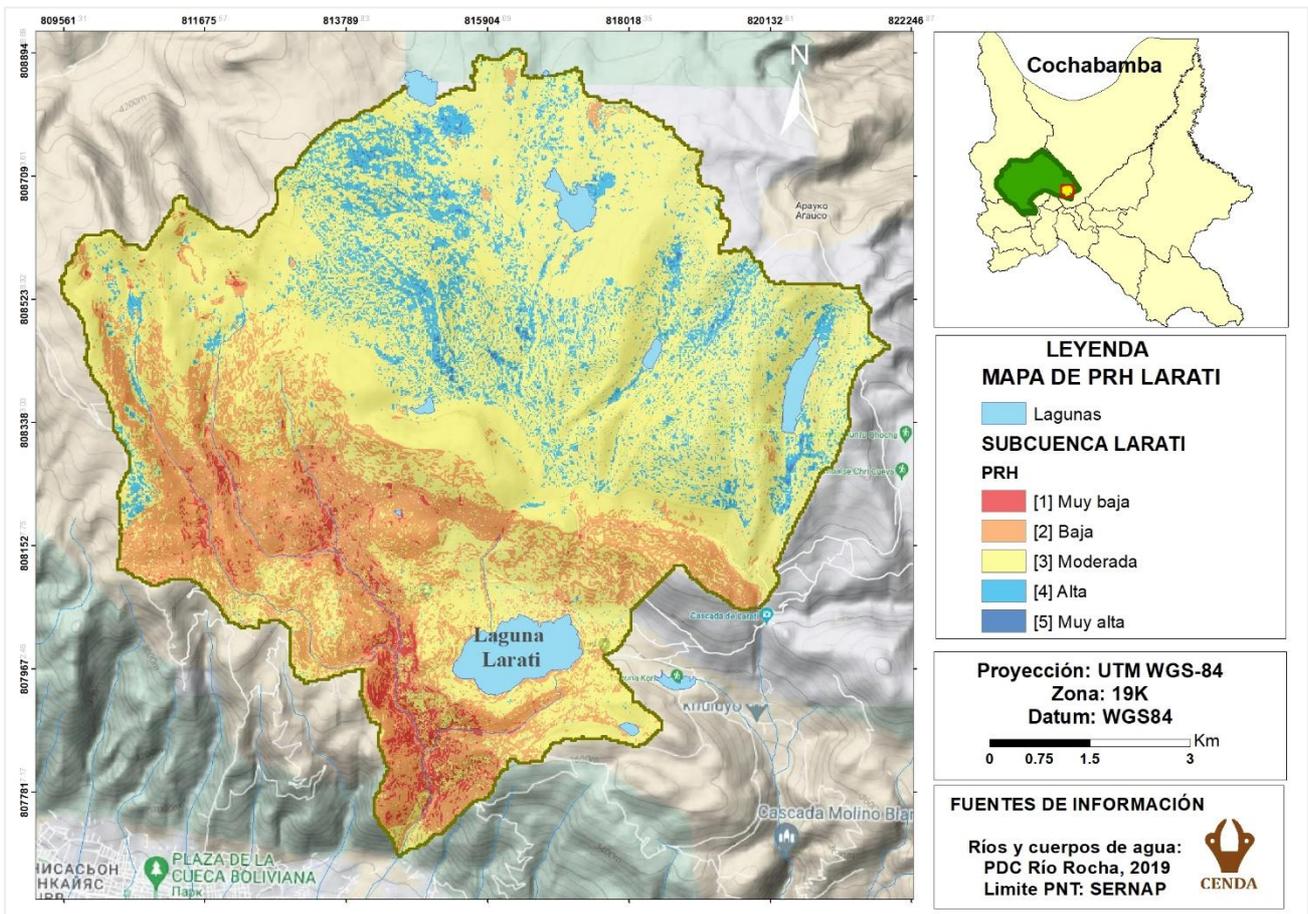


Figura 16. Mapa de probabilidad de recarga hídrica "microcuenca Larati"

Finalmente, es primordial resaltar la importancia del conocimiento local para la elaboración del mapa resultante de probabilidad de recarga hídrica, así como la similitud con la primera aproximación a las zonas de recarga en el mapa parlante (ver Figura II). Esto demuestra que, un manejo adecuado de conceptos, en combinación con saberes locales, pueden desencadenar en nuevos conocimientos, cuyo producto resultante en la presente investigación fue primera aproximación a las áreas de recarga hídrica, permitiendo a su vez una mayor participación e involucramiento de los actores locales en el proceso.

CUARTO MOMENTO. PROPUESTA PARA LA ZONIFICACIÓN Y CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

4.4. Visión estratégica

La visión estratégica se enfoca en un plazo de ocho años y se basa en tres aspectos clave identificados en el diagnóstico participativo: 1) la importancia de los usos y costumbres en la gestión del territorio, 2) la necesidad de impulsar iniciativas económicas para el desarrollo de las comunidades y 3) la conservación de las zonas de recarga hídrica para garantizar la disponibilidad y el acceso al agua.



Figura 17. Esquema de la propuesta para la conservación de áreas de recarga hídrica

En este sentido, se propone la siguiente visión estratégica:

"Para el año 2030, la microcuenca Larati será un modelo de gestión sostenible del agua y promoverá el desarrollo económico comunitario resiliente al cambio climático. A través de la implementación de prácticas innovadoras de conservación de las zonas de recarga hídrica y la promoción de una cultura del agua basada en los usos y costumbres, se garantizará la seguridad hídrica y se mejorará la calidad de vida de sus habitantes. La economía local se diversificará generando ingresos y mejorando la resiliencia de las comunidades ante los impactos del cambio climático".

4.4.1 Objetivo

Promover la conservación de las zonas de recarga hídrica y garantizar la seguridad hídrica de las comunidades de la microcuenca Larati, a través del fortalecimiento de una nueva cultura del agua sustentable basada en usos y costumbres, y el desarrollo de una economía comunitaria resiliente al cambio climático.

4.4.2 Componentes de la propuesta

A continuación, se presentan los componentes de la propuesta que no sólo se enfocan en la conservación de las áreas de recarga hídrica, sino que también abordan las necesidades críticas de las comunidades en la zona. Estas necesidades están relacionadas principalmente con las limitaciones económicas y de desarrollo de las comunidades de la cuenca alta y media, así como la importancia de fortalecer los usos y costumbres en la gestión del agua. La falta de atención a este último ha dado lugar a diversos problemas, como conflictos intercomunitarios por el uso del agua, mercantilización de tierras y divisiones dentro de las organizaciones de la cuenca. Por lo tanto, los lineamientos propuestos en este plan abordan estas necesidades críticas, lo que permitirá un diálogo articulado y, posteriormente, la conservación de las áreas de recarga hídrica.

COMPONENTE 1. NUEVA CULTURA DEL AGUA "ACCIÓN PARTICIPATIVA PARA LA CONSERVACIÓN DE ZPRH"

Acción participativa para la conservación de áreas de recarga hídrica				
ZPRH	Problemática	Lineamientos estratégicos	Actores involucrados	Descripción estrategia
PRH ^{5.4}	Usos y costumbres de la gestión del agua no satisfacen las demandas actuales	Programa de fortalecimiento de gestión sostenible de áreas de recarga hídrica, "actualización de normas y procedimientos propios, usos y costumbres"	Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP" 	La estrategia propuesta se enfoca en el desarrollo de programas de actualización para mejorar la gestión del agua, tomando en cuenta los usos y costumbres y la realidad actual de escasez hídrica (actualización de usos y costumbres). Uno de los objetivos principales es la conservación de las lagunas de almacenamiento en la cuenca alta, donde se encuentra la mayor proporción de áreas de recarga hídrica. Esto permitirá un mejor aprovechamiento del recurso hídrico y una distribución equitativa (resilientes al CC)
PRH ^{5.4}	Mercantilización ilegal de tierras en zonas de recarga hídrica "Cabecera de cuenca"	Fortalecimiento de las áreas de monitoreo y vigilancia del Servicio nacional de áreas protegidas "SERNAP" y el Gobierno Autónomo Municipal de Sacaba "GAMS" ligados a la ilegalidad del mercado de tierras	Estado <ul style="list-style-type: none"> - GAMS y SERNAP Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP" 	Esta estrategia busca promover la protección de las áreas de recarga hídrica en la cuenca, a través del fortalecimiento de las instancias encargadas de su control y regulación. Se propone un trabajo coordinado entre el municipio de Sacaba y el SERNAP, con el fin de implementar medidas que regulen la mercantilización ilegal de tierras en estas zonas sensibles.
PRH ^{5.4}	Pérdida de proyectos de desarrollo económico por las limitaciones del PNT	Elaboración de una propuesta participativa para la modificación de la categoría del Parque Nacional Tunari	Estado <ul style="list-style-type: none"> - GAMS y SERNAP Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati 	El lineamiento tiene como objetivo promover un diálogo constructivo entre las organizaciones de la cuenca y el SERNAP, a fin de discutir la importancia de las áreas de recarga hídrica y proponer una posible recategorización del PNT, que en la actualidad cuenta con la categoría de

			<ul style="list-style-type: none"> - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP" 	Parque Nacional. Se busca involucrar a las comunidades y a las autoridades locales en la toma de decisiones sobre la gestión del territorio, tomando en cuenta las necesidades y demandas de las comunidades que habitan en la zona. Además, se propone la realización de un proceso de consulta previa para la construcción de un plan de manejo participativo que involucre a todos los actores relevantes en la zona.
PRH ^{5.4}	Procesos migratorios fuertes y debilitamiento del ejercicio del control y la administración del territorio	Formación de Guardabosques comunitarios "vigilantes ambientales y biodiversidad"	Estado <ul style="list-style-type: none"> - SERNAP Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati 	La estrategia propone el involucramiento del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) en la conformación de guardabosques comunitarios y monitores de la biodiversidad en las organizaciones de cuenca alta. Esta iniciativa tiene como objetivo la formación de jóvenes de las comunidades de cuenca alta en estas actividades, ofreciéndoles una alternativa de desarrollo y reduciendo la migración de jóvenes.

Nota: donde PRH1,2,3,4,5 corresponden a la escala: muy baja (1), baja (2), moderada (3), alta (4) y muy alta (5).

Cuadro 16. Lineamientos estratégicos para el componente 1.

COMPONENTE 2. MEJORAMIENTO DE LA CAPTACIÓN, INFILTRACIÓN Y ACCESO AL AGUA "CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA"

Mejoramiento de la captación, infiltración y acceso al agua "conservación de zonas de recarga hídrica"				
ZPRH	Impacto/ problemática	Lineamiento estratégico	Actores involucrados	Descripción estrategia
PRH ^{5.4}	Perdida de servicios ambientales de bofedales y pajonales/ sobrepastoreo	Monitoreo sistemático, rechapado de bofedales y pajonales altoandinos	Estado <ul style="list-style-type: none"> - SERNAP, GAMS Organizaciones	Esta estrategia busca aprovechar las campañas anuales de reforestación del Estado para promover la recuperación de los bofedales y pajonales altoandinos mediante campañas de rechapeo, trasplante de

			- Subcentral Larati	esquejes, siembra de pastos mixtos y clausuras programadas. Para ello, se propone otorgar incentivos significativos a los actores de cuenca alta, como proyectos de desarrollo, para fomentar su participación activa en esta iniciativa. De esta manera, se espera lograr una recuperación efectiva de estos ecosistemas y contribuir a la conservación de la biodiversidad y la infiltración natural del agua en la zona.
PRH ^{5,4}	Creciente demanda de agua para consumo humano y riego / Disminución de vertientes y fuentes de agua	Diálogos multiactor para la construcción de Qochas de siembra de agua "Diques artesanales"	Estado - SERNAP Organizaciones - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP"	Las organizaciones locales tienen iniciativas para construir diques artesanales "Qochas" con materiales locales para promover la infiltración natural del agua y aumentar los reservorios de agua en la cuenca alta. Sin embargo, estas iniciativas se ven limitadas por el plan de manejo del Parque Nacional Tunari. Por lo tanto, el objetivo de este lineamiento es establecer diálogos multiactor para promover este tipo de infraestructuras y superar las limitaciones existentes, en colaboración con el PNT.
PRH ^{5,4}		Implementación de Zanjias de infiltración	Organizaciones - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP"	La estrategia propuesta consiste en promover la construcción de zanjias de infiltración en la cuenca alta para mejorar la infiltración del agua durante la época de lluvias, reducir la escorrentía superficial y prevenir la erosión del suelo. Se sugiere que esta práctica sea promovida por las organizaciones locales, que tradicionalmente realizan el mantenimiento de los canales de riego en la cuenca alta. Esto permitirá que las zanjias de infiltración sean construidas y mantenidas por personas que conocen bien la zona y que están

				comprometidas con la preservación de los recursos hídricos.
PRH ³		Implementación de técnicas de cosecha de agua a nivel familiar.	Organizaciones - Subcentral Larati	De igual manera, se busca mejorar la gestión hídrica en la cuenca media, donde la disponibilidad de agua para riego es limitada. En este contexto, se propone implementar técnicas de cosecha de agua, tales como la canalización hacia reservorios (Amunas), la recolección de agua de lluvia en techos e invernaderos, entre otras, con el fin de fomentar la producción y, al mismo tiempo, promover la infiltración del agua. Para ello se pretende establecer una sinergia entre estas iniciativas y programas gubernamentales, como el Plan Plurinacional de Recursos Hídricos; esto permitirá garantizar su continuidad y sostenibilidad en el tiempo.
PRH ^{5,4,3}	Erosión de suelos y riesgos hídricos en época de lluvia	Manejo de terrazas en pendiente	Estado SERNAP y GAMS Organizaciones - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL"	La estrategia se enfoca en promover el desarrollo de terrazas de formación lenta para mejorar la infiltración del agua, conservar el suelo y fomentar una producción sostenible en la zona. Es importante que el GAMS incentive esta práctica, proporcionando recursos como maquinaria y financiamiento para su implementación. De esta manera, se puede garantizar la participación de las personas y mejorar la eficacia de la estrategia en la gestión del agua en la cuenca.
PRH ³	Perdida de vegetación nativa y servicios ambientales	Cercos vivos con vegetación nativa (<i>Polylepis</i> , <i>Buddleja coriácea</i> , <i>Remy</i> , <i>Myrica pubescens</i> , <i>Cleome spinosa</i> , <i>senna</i> y <i>Spartium junceum</i>)	Estado - SERNAP, Gobernación y GAMS Organizaciones - Subcentral Larati	La estrategia se enfoca en aprovechar las campañas anuales promovidas por el Estado para reforestar la cuenca, pero con una perspectiva enfocada en la implementación de cercos vivos en zonas de pendiente moderada e inferior, así como en áreas de cultivo. Esta práctica no solo ayudará a la conservación de suelos y al

			<ul style="list-style-type: none"> - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" - Asociación de regates Apaga Punta "ARAP" - Universidad Católica Boliviana 	mantenimiento de la biodiversidad, sino que también tendrá un impacto positivo en la reducción del escurrimiento superficial y en la generación de microclimas que permitan mitigar los efectos de las heladas en invierno.
--	--	--	---	---

Nota: donde PRH1,2,3,4,5 corresponden a la escala: muy baja (1), baja (2), moderada (3), alta (4) y muy alta (5).

Cuadro 17. Lineamientos estratégicos para el componente 2.

COMPONENTE 3. FORTALECIMIENTO DE ECONOMÍA COMUNITARIA Y RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Fortalecimiento de economía comunitaria y resiliencia al cambio climático				
ZPRH	Impacto/ problemática	Lineamientos	Actores involucrados	Descripción estrategia
PRH ^{5,4}	Compactación de suelos y pérdida de servicios ecosistémicos	Mejoramiento de ganado camélido a través del desarrollo de Sistemas silvopastoriles y producción de forraje de calidad	Estado <ul style="list-style-type: none"> - SERNAP Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati 	La estrategia de sistemas silvopastoriles permitirá mejorar la producción de forraje de calidad para el ganado camélido, que es vital para el desarrollo de las comunidades de altura con vocación ganadera. Para ello, el municipio incentivará la implementación de estos sistemas, que combinan la producción de forestales y arbustos nativos, pastos y ganado en una misma área, de forma sostenible. Esto permitirá no solo mejorar la calidad del forraje, sino también facilitar la infiltración de agua en el suelo, contribuyendo así a la conservación de las zonas de recarga hídrica.
PRH ³	Agricultura intensiva y compactación de suelos	Modelos piloto de Sistemas agroforestales	Organizaciones <ul style="list-style-type: none"> - Subcentral Larati - Asociación de regantes Laguna Larati "AULL" 	La intensa competencia en el mercado agrícola local ha llevado a un aumento en la producción y a una sobreexplotación del terreno. Con el fin de abordar esta problemática, se propone promover la diversificación de cultivos mediante la implementación de sistemas

				agroforestales. Estos sistemas permitirán a los agricultores obtener ganancias adicionales de otras especies cultivadas, a la vez que descansan el suelo para favorecer la infiltración y promueven la conservación de la vegetación nativa. De esta manera, se busca mejorar las condiciones de recarga hídrica y reducir los procesos erosivos causados por la sobreexplotación del terreno.
PRH ³		Incentivos para promover circuitos de mercado corto (del productor al consumidor)	Estado - Municipio Organizaciones - Subcentral Larati	La estrategia del mercado de circuito corto busca reducir la intensidad de la producción y fomentar la venta directa de productos con valor agregado, desde los productores hasta los consumidores. De esta manera, se busca mejorar la rentabilidad para los productores y al mismo tiempo permitir un adecuado descanso del terreno, lo que ayudará a mejorar las condiciones de recarga hídrica en la zona.
PRH ³	Reforestación con especies exóticas	Incentivos para promover la Gestión de forestales nativos "Viveros familiares"	Estado - Municipio - Gobernación y SERNAP Organizaciones - Subcentral Larati	Dado que existen limitaciones significativas en la producción de forestales nativos, se propone involucrar a los actores locales de Larati como los principales productores de forestales y vegetación nativa a través de la implementación de viveros comunitarios. De esta manera, se les otorgará la responsabilidad de producir y proveer la vegetación necesaria para los programas anuales de forestación que lleva a cabo el gobierno. Esto no solo fomentará la participación activa de la comunidad en la conservación de las zonas de recarga hídrica, sino que también contribuirá a la mejora de las condiciones para la recarga del agua, a través de la plantación de

				especies nativas adecuadas a la zona y la reducción de la deforestación.
PRH ³	Explotación descontrolada de especies forestales exóticas (<i>Pinus</i> y <i>Eucalyptus</i>)	Cultivos asociados en forestal de pinos y eucaliptos (<i>Pinus</i> y <i>Eucalyptus</i>)	Estado - SERNAP y GAMS Organizaciones - Subcentral Larati	Una de las estrategias para mejorar las condiciones de recarga hídrica consiste en promover la asociación de cultivos que puedan desarrollarse en los terrenos de pinos y eucaliptos. En este caso, los hongos nativos se presentan como una opción prometedora que ha comenzado a ganar mercado en la zona. Para que esta estrategia sea efectiva, es necesario mejorar los accesos viales que permitan un recojo constante de los cultivos. De esta manera, se podrán reducir los procesos erosivos que han sido causados por la deforestación en la zona.

Nota: donde PRH1,2,3,4,5 corresponden a la escala: muy baja (1), baja (2), moderada (3), alta (4) y muy alta (5).

Cuadro 18. Lineamientos estratégicos para el componente 3.

4.4.3. Actores clave para su implementación

A continuación, se presenta un cuadro con los actores clave para la implementación del plan de conservación de fuentes de agua y zonas de protección de recarga hídrica, destacando organizaciones con potencial de financiamiento del Estado, organizaciones sociales con influencia política, ONGs y proyectos de cooperación internacional.

Actor relacionado con la región	Tipo de organización	Rol	Área de intervención en la cuenca	Descripción de la organización	Posibilidad de financiamiento
AULL (Larati)	Asociaciones de regantes	<ul style="list-style-type: none"> - EPSA comunitaria (Entidad Prestadora de servicio de Agua Potable) - Gestionar proyectos frente a actores públicos para la administración territorial. - Organización que fortalece liderazgos de su organización. - Incidir ante la Federación Departamental de Cochabamba de Organizaciones de Regantes "FEDECOR" en temas relacionados con la gestión del agua y gestión de proyectos de riego y agua potable. 	Cuenca baja y media	La asociación de regantes AULL cuenta con recursos propios provenientes de la gestión del agua (servicio de agua potable y riego), asimismo canaliza recursos económicos del municipio de Sacaba y vinculado a la Federación de regantes de Cochabamba. Tienen como fuente principal de acumulación de agua la Laguna Larati (ubicada en la cuenca media), laguna que recibe aportes durante la época de lluvia desde las lagunas ubicadas en cuenca alta.	La asociación AULL tiene recursos propios de la gestión del agua, puede aportar recursos como contraparte
Subcentral Larati	Sindicato campesino	- La subcentral responde a las necesidades de 7 sindicatos campesinos que viven en cuenca media.	Cuenca media y alta	- La subcentral Larati es una organización compuesta por 7 sindicatos campesinos ubicados en la parte media de la microcuenca. Sus fuentes principales de agua provienen de 5 lagunas	La subcentral tiene recursos propios de la gestión del agua, puede aportar recursos como contraparte

		<ul style="list-style-type: none"> - Gestionan recursos económicos ante el municipio de sacaba - Gestiona recursos vinculados al agua ante la asociación AULL - Cuenta con recursos propios provenientes del cobro de cuotas de la organización sindical para la gestión del territorio. 		<p>ubicadas en la parte alta y gestionan el cuidado de la Laguna Larati ubicada en la cuenca media (fuente principal para consumo humano y riego de la organización AULL aguas abajo). Su principal fuente de ingresos radica en la producción de Maíz, alfalfa, papa, haba, arveja y en menor proporción el cultivo de algunas hortalizas, asimismo hacen aprovechamiento de la madera para desarrollar pomadas medicinales a base del eucalipto.</p>	
Gobierno Autónomo Municipal de Sacaba	Político institucional	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de proyectos - Velar por el bienestar de la población - Administrar territorio de manera equitativa y sostenible 	- Cuenca alta	- El Gobierno Autónomo de sacaba tiene una interacción muy fuerte hacia las organizaciones que viven en la microcuenca, debido a que una de las lagunas ubicadas en cuenca alta (Q'onchu Laguna), es compartida entre el municipio y la subcentral Larati.	Potencial de financiamiento mediante los Planes Operativos Anuales "POAs" o recursos externos
EMAPAS	Político institucional	<ul style="list-style-type: none"> - Administración del servicio de agua potable y alcantarillado - Desarrollo de normativas y decretos, reglamentos municipales en coordinación con Municipio 	- Cuenca alta	EMPAS (Entidad Municipal Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Sacaba), es la entidad municipal responsable de dotar agua al concentrado poblacional del Municipio de Sacaba y otros distritos aledaños. Tiene diferentes fuentes de agua en su administración (Pozos, Vertientes y Lagunas), siendo una de ellas Q'onchu Laguna.	Fortalecimiento de capacidades

<p>FEDECOR Federación Departamental Cochabambina de Organizaciones Regantes</p>	<p>Organización social</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Instancia máxima a la que están adscritos todos los regantes de Cochabamba - Gestionan inversiones y proyectos - Instancia máxima de incidencia en representación de las bases (regantes) frente a instancias públicas o estatales 	<p>-</p>	<p>- Aglutina a todas las organizaciones de regantes de Cochabamba y ha sido uno referentes frente a la privatización del agua el año 2000. Sus ingresos económicos provienen del cobro de cuotas de sus organizaciones afiliadas. Su principal función radica en la gestión de proyectos para riego a través de los municipios, gobernación de Cochabamba, la Unidad de Gestión de Riesgos y el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego.</p>	<p>Potencial de financiamiento mediante la canalización de instituciones terceras como el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riegos</p>
<p>Proyecto GIAC (Gestión Integral del Agua Cochabamba)</p>	<p>Político- institucional</p>	<p>Fortalecer la capacidad de implementación de Gestión Integral del Agua de la Gobernación de Cochabamba en el área de la Cuenca del Río Rocha</p>	<p>-</p>	<p>Equipo técnico; Equipamiento e infraestructura; Alianzas estratégicas; Plataforma propia con consejo técnico y social; Inversiones externas</p>	<p>Fortalecimiento de capacidades</p>
<p>Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba</p>	<p>Político- institucional</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Transferencia de recursos de Gobierno central a Departamentos - Regular temas relacionados a la contaminación - Proponer acciones en coordinación con el Municipio relacionadas al medioambiente - Formular políticas y estrategias para promover el desarrollo departamental a través de planes y proyectos 	<p>-</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Recursos económicos provenientes del Estado - Equipo técnico - Alianzas estratégicas - Infraestructura y equipamiento 	<p>Fortalecimiento de capacidades</p>

CENDA	ONG	<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecimiento de las capacidades de autogestión territorial - Asesoramiento técnico (gestión de la cuenca: Agua, Tierra, Seguridad alimentaria, DDHH) - Sensibilización ambiental - Construcción de propuestas para la gestión sostenible del territorio 	Cuenca (alta, media y baja)	CENDA es una organización sin fines de lucro que tiene como principal objetivo el fortalecimiento de las estrategias propias de autogestión territorial. Su rol en la cuenca está ligado al fortalecimiento de las organizaciones que viven en la microcuenca Pajcha Molino. Desarrolla actividades vinculadas a la producción agroecológica, gestión colectiva del agua, monitoreo comunitario del agua, fortalecimiento de capacidades (líderes comunales), desde un enfoque de cuenca.	Potencial de financiamiento dirigido al asesoramiento técnico y fortalecimiento de capacidades (governabilidad del agua)
Confederación Nacional de Mujeres Campesinas Indígenas Originarias de Bolivia "Bartolina Sisa"	Organización social	- Fortalecimiento de capacidades en las mujeres; equidad de género; recuperar conocimientos ancestrales.	Cuenca media y baja	Es una organización que desarrolla proyectos de fortalecimiento especialmente dirigidos a mujeres.	Fortalecimiento de capacidades con énfasis en las mujeres
Unidad de Gestión del Riesgo UGR	Político-institucional	Investigación acción y promoción de normativas orientadas a la mitigación y gestión del riesgo.	Toda cuenca	Si bien su rol es intermitente por el momento, la unidad de gestión del riesgo actúa sobre la atención del desastre. En determinadas ocasiones promueve jornadas de forestación en las 37 microcuencas aportantes a la cuenca del Rio Rocha, incluida Pajcha Molino.	Cuenta con potencial financiero de externos

SERNAP Servicio Nacional de Áreas Protegidas	Político- institucional	Fortalecer la gestión de la gestión de las áreas protegidas a través de la reestructuración integral del SNAP para su contribución a la superación de la pobreza y la protección de los sistemas de vida	Toda la cuenca	La cuenca de estudio, forma parte de la denominada Vertiente sur del plan de manejo del Parque Tunari, un área protegida gestionada por el SERNAP del departamento de Cochabamba. La institución proporciona lineamientos para la gestión de la cuenca que tiene una categoría de aprovechamiento intensivo de los RRNN.	Cuenta con potencial financiero de externos
Policías sindicales / Monitores comunitarios del agua	Sindical	Como parte de una iniciativa local de AULL, los policías sindicales juegan un papel fundamental en la gestión y protección de la cuenca puesto que su rol principal es la vigilancia ambiental del territorio.	Toda la cuenca	Es importante recalcar que los policías sindicales han desarrollado sus competencias a través de la formación de monitores comunitarios de la calidad del agua, gracias al apoyo de CENDA. En este sentido su rol es determinante pues gracias a la herramienta del monitoreo pueden tomar decisiones en torno a la gestión del agua.	Actor implicado en la implementación de mejoras parte de la organización AULL

Dónde: (1) Actor implicado en la implementación de mejoras (beneficiarios)

(2) Actores con potencial de financiamiento

(3) Actores con potencial fortalecimiento de capacidades

Cuadro 19. Actores clave para la implementación del plan

5. CONCLUSIONES

- I. Un manejo adecuado de conceptos teóricos, en combinación con saberes locales, pueden desencadenar en nuevos conocimientos, cuyo producto resultante en la presente investigación fue una primera aproximación a las áreas de recarga hídrica y la identificación de los problemas más relevantes que ponen en riesgo la estabilidad de las mismas.
- II. Los ensayos de infiltración realizados en diferentes sistemas, como suelos compactos, terrenos en descanso y zonas de cultivo intensivo, y bosques exóticos, han resaltado la importancia de la vegetación nativa, especialmente los pajonales altoandinos y altimontanos (ver anexos), en el proceso de recarga hídrica. Estas especies presentan raíces frondosas que crean microporos en el suelo, lo cual beneficia significativamente la capacidad de infiltración del agua.
- III. La cabecera de cuenca resulta ser vital para el proceso la conservación de ZPRH, puesto que concentra aproximadamente el 11.3% de las zonas con muy alta y alta probabilidad de recarga. Además, existe baja actividad antrópica, cuenta con condiciones topográficas favorables y presenta vegetación nativa (pajonales y bofedales) que pueden favorecer significativamente al proceso de conservación a mediano y largo plazo.
- IV. Resulta prioritaria la intervención Estatal, no gubernamental y privada con programas de desarrollo para una economía sostenible y resiliente. Las condiciones socioeconómicas limitadas de comunidades situadas en cuenca alta y media (subcentral Larati) son un factor determinante en el deterioro de la cuenca, y, por tanto, pone en riesgo la conservación de zonas de recarga hídrica debido a las malas prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales como la explotación forestal sin planificación y agricultura intensiva convencional en zonas de pendiente pronunciada.
- V. Es de suma importancia fortalecer la gestión del agua, poniendo énfasis en la actualización de las normas y procedimientos propios, así como en los usos y costumbres locales. Esto se vuelve prioritario para abordar de manera efectiva la conservación de las áreas de recarga hídrica, ya que, en la actualidad, las normas y procedimientos no se ajustan a las condiciones de escasez y generan tensiones entre los usuarios de las cuencas alta, media y baja que compiten por el uso y aprovechamiento de las lagunas en la cabecera de cuenca.

6. RECOMENDACIONES

- I. Se recomienda desarrollar una propuesta metodológica que permita replicar los resultados en cuencas adyacentes con condiciones geomorfológicas, socioeconómicas y ambientales similares.
- II. Es de vital importancia recopilar información técnica en campo sobre la hidrogeología de la zona, con el fin de lograr una mejor adaptación de la ecuación propuesta.
- III. Se sugiere profundizar estudios que examinen la contribución de la vegetación nativa (especialmente en pajonales altoandinos y bofedales) en la recarga hídrica.
- IV. Es recomendable avanzar en el debate orientado al desarrollo de políticas públicas basadas en la evidencia técnica generada para la protección y conservación de áreas de recarga hídrica.
- V. Es importante tener en cuenta que la política pública por sí sola no garantizará la conservación de las zonas de recarga. Por lo tanto, se recomienda promover un enfoque de sensibilización y acción participativa sostenible que involucre a los actores locales, aprovechando las capacidades y potencialidades de diferentes instituciones presentes, como ONGs, municipios, gobernaciones y SERNAP, entre otras.

7. LITERATURA CITADA.

- Birkel, C. (2021). *Curso. Hidrología para el manejo de cuencas*. Costa Rica : CATIE.
- Cambio Climático. (2006). Plan nacional de adaptación al cambio climático . *Oficina Española de Cambio Climático* .
- Centellas Levy, M. Á. (2022). *Metodología de Matus y modificaciones para cuencas interandinas* . Cochabamba : Agrecol .
- Córdova, J. &. (2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Scielo Perú*.
- Davie, T. (2008). *FUNDAMENTALS OF HYDROLOGY*. New York: Taylor & Francis e-Library.
- eaufrance . (28 de 04 de 2021). *eauebiodiversite*. Obtenido de eauebiodiversite: <https://glossaire.eauebiodiversite.fr/es/concept/ciclo-del-agua-ciclo-hidrologico>
- Gonzalo , N., Aguirre , L., & Maldonado , M. (2015). *BIODIVERSIDAD , ECOLOGIA Y CONSERVACION DEL VALLE CENTRAL DE COCHABAMBA* . COCHABAMBA .
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (01 de 08 de 2019). *Gobierno de Mexico* . Obtenido de Gobierno de Mexico : <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- Levy, M. Á. (2022). *Identificación de áreas de recarga hídrica para cuencas interandinas* . Cochabamba .
- Maldonado , H. I. (2018). *IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL* . Guatemala : USAC .
- Matus Silva , O. D. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica* . Turrialba : CATIE.
- Ministerio de Medio Ambiente . (2014). *Plan nacional de adaptación al cambio climático* . Santiago de Chile .
- Naciones Unidas. (s.f.). *Bienvenidos a las Naciones Unidas*. Obtenido de Bienvenidos a las Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Prieto , J., Farias, D., & Amarilla, M. (2013). *Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC Automatización del cálculo mediante S.I.G*. Santiago de Estero .
- Renner , S., & Velasco, C. (2000). *Geología e Hidrogeología del Vale Central de Cochabamba*. Cochabamba: BGR.
- Ríos Ramírez , J. N. (2006). *Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica Rio Barraca* . Costa Rica : CATIE.
- Rodas Velasquez , G. R. (2008). *Manejo y gestión de zonas de recarga hídrica*. Turrialba : CATIE.

- Rodriguez , M., & Perez, P. (2014). DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA POTENCIAL EN LA CUENCA. *Aqua - LAC*, 70.
- Rodriguez Levy, I. E., & Centellas Levy, M. A. (2023). Desarrollo y aplicación de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas: un estudio de caso en la microcuenca Virvini, Tiraque, Bolivia. *MDPI*.
- Sainz Ortiz, I. (s/f). *Sistemas de Recarga de los Acuíferos Sbterraneos con aguas superficiales, por medio de Pozos o de inundacion de las superficies*. Mexico : Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México.
- SERNAP . (2016). *PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL TUNARI* . Cochabamba .
- Servicio Departamental de Cuencas. (2014). *PLAN DIRECTOR DE LA CUENCA DEL RÍO ROCHA*. Cochabamba .
- Union de Cientificos Conscientes . (06 de 06 de 2022). *Union de Cientificos Conscientes*. Obtenido de Union de Cientificos Conscientes: <https://es.ucsusa.org/recursos/que-es-la-resiliencia-climatica>
- USAID. (2020). Impactos del uso del suelo sobre la respuesta hidrológica de cuencas andinas. *ResearchGate*.
- Vasquez , A., Mejia , A., Ruben Terán , Jorge Díaz , & Andres Castro . (2016). *Manejo y Gestion de Cuencas Hidrograficas*. Lima: UNALM.
- Wilfrido, Á. (2016). El agua en América Latina. *Journal of the Selva Andina Biosphere*.

8. ANEXOS

Cuadro 20. Resultados de las pruebas de infiltración P1 en unidad homogénea Fluventic Dystrocryepts.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Parcela en descanso (Larati grande)			
Fecha :	9/3/2023		Piso:	Altoandino P1			
Ensayo en :	Seco ()	Húmedo (X)	Suelo:	Fluventic Dystrocryepts			
Parcela :	1		E	814460.6 19K			
Pendiente:	5%		N	8082029			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura ajustada*				
			1 2				
	0		15	0.00	0 0	0	0.000
	1	14.6		0.40	0.40 4	1	240.000
	2	14.5		0.10	0.50 5	1	60.000
	3	14.4		0.10	0.60 6	1	60.000
	4	14.3		0.10	0.70 7	1	60.000
	5	14.2		0.10	0.80 8	1	60.000
	10	14		0.20	1.00 10	5	24.000
	20	13.2		0.80	1.80 18	10	48.000
	30	12.8		0.40	2.20 22	10	24.000
	45	11.9		0.90	3.10 31	15	36.000
	60	11		0.90	4.00 40	15	36.000
	90	9.3		1.70	5.70 57	30	34.000
PROMEDIO DE INFILTRACION							62.000

Cuadro 21. Resultados de las pruebas de infiltración P2 en unidad homogénea Fluventic Dystrocryepts.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Pajonal no intervenido			
Fecha :	9/3/2023		Piso:	Altoandino P1			
Ensayo en :	Seco ()	Húmedo (X)	Textura:				
Parcela :	2		E	814455.1 19K			
Pendiente:	5%		N	8082150			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura				
			1 2				
	0		14.5	0.00	0 0	0	0.000
	1	14.2		0.30	0.30 1	1	180.000
	2	13.9		0.30	0.60 2	1	180.000
	3	13.5		0.40	1.00 3	1	240.000
	4	13.4		0.10	1.10 4	1	60.000
	5	13.3		0.10	1.20 5	1	60.000
	10	12.8		0.50	1.70 10	5	60.000
	20	11.6		1.20	2.90 20	10	72.000
	30	10.6		1.00	3.90 30	10	60.000
	45	8.9		1.70	5.60 45	15	68.000
	60	7.3		1.60	7.20 60	15	64.000
	90	4.2		3.10	10.30 90	30	62.000
	120						
PROMEDIO DE INFILTRACION							100.545

Cuadro 22. Resultados de las pruebas de infiltración P3 en unidad homogénea Fluventic Dystrocrepts.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Pastura sobrepastoreada			
Fecha :	19/03/2023		Piso:	Altoandín P3			
Ensayo en :	Seco () Húmedo (X)		Suelo:	Fluventic Dystrocrepts			
Parcela :	3		E	814594.3 19K			
Pendiente:	6.00%		N	8081948			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4= I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura				
	0		15	0.00	0	0	0.000
	1	14.9		0.10	0.10	1	60.000
	2	14.8		0.10	0.20	1	60.000
	3	14.7		0.10	0.30	1	60.000
	4	14.6		0.10	0.40	1	60.000
	5	14.5		0.10	0.50	1	60.000
	10	14.4		0.10	0.60	5	12.000
	20	14		0.40	1.00	10	24.000
	30	13.7		0.30	1.30	10	18.000
	45	13.4		0.30	1.60	15	12.000
	60	13		0.40	2.00	15	16.000
	90	12.3		0.70	2.70	30	14.000
	120						
							36.000

Cuadro 23. Resultados de las pruebas de infiltración P4 en unidad homogénea Lithic cryorthents.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Zona de cultivo con descanso de 1 año			
Fecha :	20/03/2023		Lugar :	Larati Chico P4			
Ensayo en :	Seco () Húmedo (X)		suelo:	Lithic cryorthents			
Parcela :	1		X	817683 19K			
Pendiente:	5%		Y	8078181			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4= I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura ajustada*				
	0		16	0.00	0	0	0.000
	1	14.9		1.10	1.10	1	660.000
	2	14.5		0.40	1.50	1	240.000
	3	14		0.50	2.00	1	300.000
	4	13.8		0.20	2.20	1	120.000
	5	13.5		0.30	2.50	1	180.000
	10	12		1.50	4.00	5	180.000
	20	9.7		2.30	6.30	10	138.000
	30	7.6	16	2.10	8.40	10	126.000
	45	13.3		2.70	11.10	15	108.000
	60	11		2.30	13.40	15	92.000
	90	7		4.00	17.40	30	80.000
PROMEDIO DE INFILTRACION							202.182

Cuadro 24. Resultados de las pruebas de infiltración P5 en unidad homogénea Lithic cryorthents.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Pajonal no intervenido P5			
Fecha :	20/03/2023		Lugar :	Larati Chico			
Ensayo en :	Seco () Húmedo (X)		suelo:	Lithic cryorthents			
Parcela	2		X	817545.9		19K	
Pendiente:	2%		Y	8077981			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del Agua A		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura				
			1	2			
	0		13.5		0.00	0	0.000
	1.00	11.4			2.10	1	1260.000
	2.00	9.5			1.90	1	1140.000
	3.00	8.2			1.30	1	780.000
	4.00	6.9			1.30	1	780.000
	5.00	5.6	14		1.30	1	780.000
	10.00	9.6			4.40	5	528.000
	20.00	4	14		5.60	20	168.000
	30.00	9			5.00	10	300.000
	45.00	3.8	14		5.20	15	208.000
	60.00	8			6.00	15	240.000
	75.00	4.4	10		3.60	15	144.000
	90.00	7.5			2.50	15	100.000
PROMEDIO DE INFILTRACION							535.667

Cuadro 25. Resultados de las pruebas de infiltración P6 en unidad homogénea Lithic cryorthents)

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	P6			
Fecha :	30/03/2023		Lugar :	Chiricueva laguna			
Ensayo en :	Seco () Húmedo (X)		suelo:	Lithic cryorthents			
Parcela	3		X	818523.9			
Pendiente:	22.00%		Y	8084524			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del Agua A		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura				
			1	2			
	0		14.5		0.00	0	0.000
	1	14			0.50	0.50	300.000
	2	13.8			0.20	0.70	120.000
	3	13.5			0.30	1.00	180.000
	4	13.4			0.10	1.10	60.000
	5	13.2			0.20	1.30	120.000
	10	13			0.20	1.50	24.000
	20	12.3			0.70	2.20	42.000
	30	11.6			0.70	2.90	42.000
	45	11			0.60	3.50	24.000
	60	10.3			0.70	4.20	28.000
	90	10			0.30	4.50	6.000

Cuadro 26. Resultados de las pruebas de infiltración P7, en unidad homogénea Psammentic Haplustalfs Typic Us.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo								Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm			Sistema:	Pino (Bosque en pendiente)			
Fecha :	29/03/2023			Lugar :	Larati Grande P6			
Ensayo en :	Seco ()	Húmedo (X)		Textura:				
Parcela	1			X	816533.6	19K		
Pendiente:	30%			Y	8080942			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)	
		Lectura	Lectura ajustada*					
			1					2
	0		15.5	0.00	0	0	0.000	
	1	15		0.50	0.50	1	300.000	
	2	14.9		0.10	0.60	1	60.000	
	3	14.8		0.10	0.70	1	60.000	
	4	14.7		0.10	0.80	1	60.000	
	5	14.5		0.20	1.00	1	120.000	
	10	13.7		0.80	1.80	5	96.000	
	20	12		1.70	3.50	10	102.000	
	30	10.6		1.40	4.90	10	84.000	
	45	8.8		1.80	6.70	15	72.000	
	60	7.3		1.50	8.20	15	60.000	
	90	4		3.30	11.50	30	66.000	
	120							
PROMEDIO DE INFILTRACION							98.182	

Cuadro 27. Resultados de las pruebas de infiltración P8, en unidad homogénea Ustic Ustochrepts.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo								Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm			Sistema:	Eucalipto			
Fecha :	31/03/2023			Lugar :	Camino Larati			
Ensayo en :	Seco ()	Húmedo (X)		Textura:				
Parcela	1			X	815698	19K		
Pendiente:	2%			Y	8077552			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del AguaA		3 = Lectural actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)	
		Lectura	Lectura ajustada*					
			1					2
	0		12	0.00	0	0	0.000	
	1	11.5		0.50	0.50	1	300.000	
	2	11		0.50	1.00	1	300.000	
	3	10.9		0.10	1.10	1	60.000	
	4	10.8		0.10	1.20	1	60.000	
	5	10.7		0.10	1.30	1	60.000	
	10	10.2		0.50	1.80	5	60.000	
	20	9.3		0.90	2.70	10	54.000	
	30	8	12	1.30	4.00	10	78.000	
	45	10.7		1.30	5.30	15	52.000	
	60	8.8		1.90	7.20	15	76.000	
	90	6		2.80	10.00	30	56.000	
	120							
PROMEDIO DE INFILTRACION							105.091	

Cuadro 28. Resultados de las pruebas de infiltración P9, en unidad homogénea Ustic Haplustalfs.

Registro de Datos para la infiltración de agua en el suelo							Descripción
Diámetro del cilindro :	30 cm		Sistema:	Eucalipto			
Fecha :	31/03/2023		Lugar :	Camino Larati			
Ensayo en :	Seco ()	Húmedo (X)	Textura:				
Parcela :	1		X	818315.39	19K		
Pendiente:	2%		Y	8078848.8			
Hora de lectura	1 = T Tiempo (minutos)	2 = Altura del Agua A		3 = Lectura actual - anterior (cm)	4 = I* Lecturas acumuladas	5 = Tiempo actual - anterior (minutos)	6 = Velocidad de Infiltración (mm/hora)
		Lectura	Lectura ajustada*				
				1	2		
	0		15		0.00	0	0.000
	1	13.1			1.90	1	1140.000
	2	11.9			1.20	1	720.000
	3	10.9			1.00	1	600.000
	4	10			0.90	1	540.000
	5	9.5			0.50	1	300.000
	10	7	12		2.50	5	300.000
	20	8	15		4.00	10	240.000
	30	11.4			3.60	10	216.000
	45	6	15		5.40	15	216.000
	60	9.8	15		5.20	15	208.000
	90	4.9			10.10	30	202.000
PROMEDIO DE INFILTRACION							425.636

Figura 18. Mapa de los resultados promedio de los ensayos de infiltración según unidad homogénea

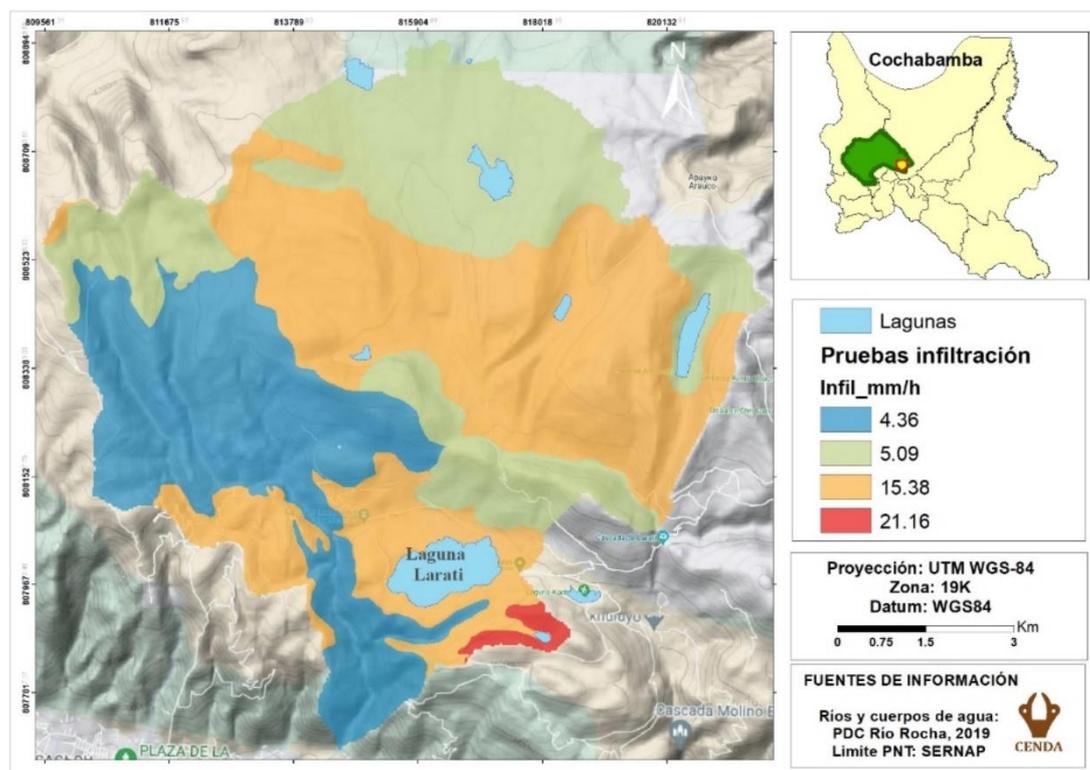


Figura 19. Actores locales participan del curso de formación de siembra y cosecha de agua para abordar la temática de zonas de recarga hídrica.



Figura 20. Testimonios de los actores locales sobre las alternativas para la conservación de zonas de recarga



Figura 21. Actores locales trabajan en la identificación de zonas de recarga y la aplicación de medidas para su protección.

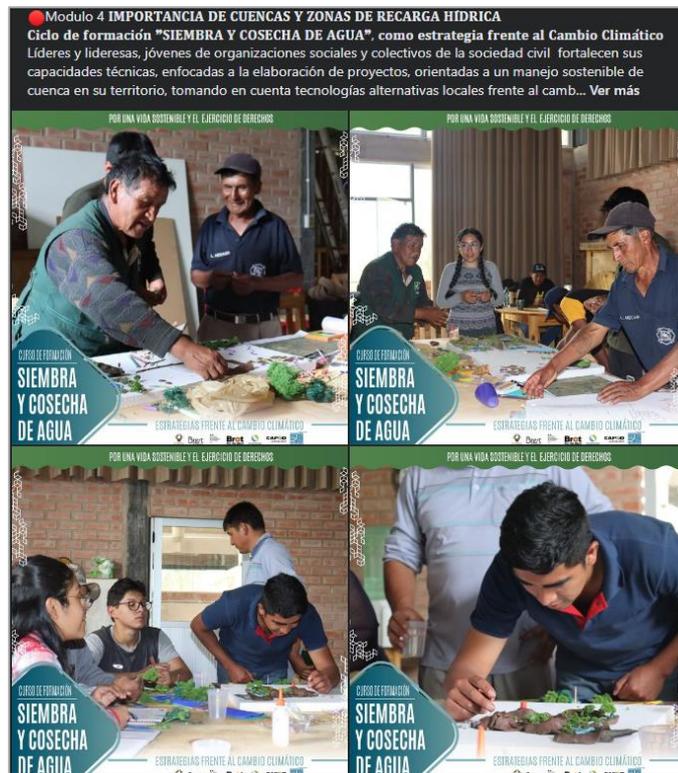


Figura 22. Testimonio de especialista Tulia García de la institución CEDAP sobre la importancia de la vegetación nativa y los pajonales altoandinos

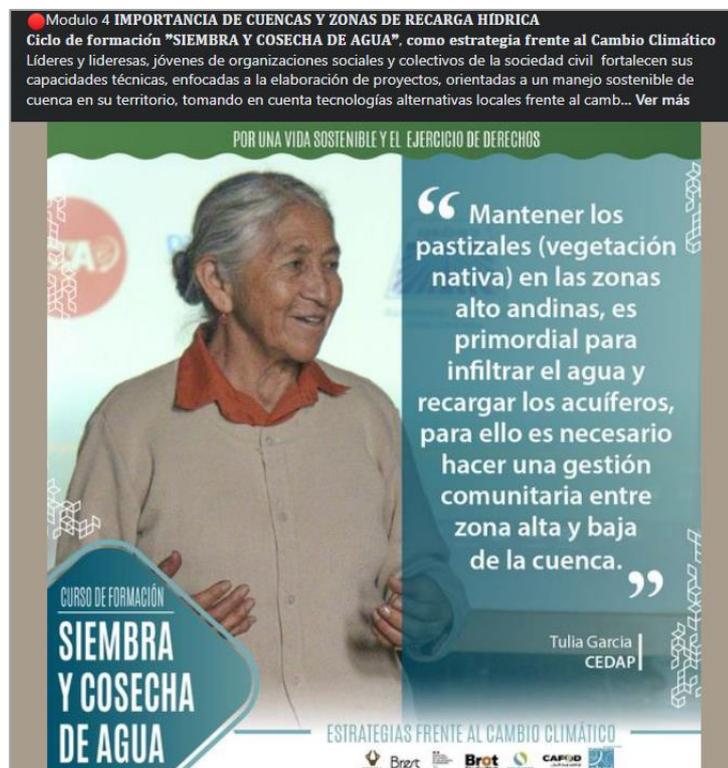


Figura 23. Espacio multiactor para encaminar el dialogo sobre las zonas de recarga y la construcción de propuestas para su conservación.



Figura 24. Testimonio del encuentro “necesidad de trabajar en políticas públicas para la protección de zonas de recarga hídrica.”

