



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN
ÁREAS SEMIÁRIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHOTA”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA:

MADELAYN SHIRLEY VILLOTA HUERTAS

DIRECTOR:

ING. OSCAR ARMANDO ROSALES ENRÍQUEZ, MSc.

IBARRA - ECUADOR

ABRIL, 2022



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 13 de abril del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN ÁREAS SEMIÁRIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHOTA”**, de autoría de la señorita Madelayn Shirley Villota Huertas estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que la autora ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Oscar Rosales
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Melissa Layana
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	AP437049	
APELLIDOS Y NOMBRES	Madelayn Shirley Villota Huertas	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	msvillotah@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0997020664

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN ÁREAS SEMIÁRIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHOTA
AUTORAS:	Madelayn Shirley Villota Huertas
FECHA:	5 de Abril de 2019
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Armando Rosales

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de abril de 2022

La autora:



Madelayn Shirley Villota Huertas

Pasaporte: AP437049

AGRADECIMIENTO

A Dios por la fortaleza brindada en el largo camino de la vida.

Quiero expresar mi agradecimiento más sincero a las instituciones y personas que me han apoyado en la culminación de este proyecto.

A la Universidad Técnica del Norte y a la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por permitirme ser parte de esta Institución.

Al ingeniero Oscar Rosales, director de la tesis, por todo el apoyo, confianza y amistad sincera depositados en mí.

A la ingeniera Melissa Layana y al ingeniero Gabriel Jácome, asesores del trabajo de titulación por todo el tiempo, observaciones, consejos acertados y actitud positiva demostrados durante todo este proceso.

A Jazmín Ortega por su ayuda brindada en los momentos más importantes.

A mis padres Jesús Villota y Ana Huertas, por ser mi inspiración y ejemplo para seguir, gracias por ser el motor de mi vida, consejeros y amigos incondicionales.

A mis hermanos Yilber y Karen y a mi prima Liliana por todo el apoyo y consejos brindados, por cuidarme siempre y estar conmigo en todo momento.

A mi mejor amiga Laura Ortiz, gracias por tu apoyo permanente y ser la familia que uno escoge.

Madelayn Shirley Villota Huertas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por bendecir cada uno de mis días y por haber puesto en mi camino a todas las personas que han estado conmigo brindándome su apoyo.

A mis padres, por todo su amor, por haberme formado como una persona de bien y ser mi inspiración para cumplir mis metas.

¡Esto es por ustedes!

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema y justificación	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.4 Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.1 Características de áreas semiáridas	7
2.1.2 Zonas de recarga hídrica.....	8
2.1.3 Identificación de zonas de recarga hídrica	9
2.1.4 Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la identificación de zonas recarga hídrica	10
2.1.5 Conservación y protección de zonas de recarga hídrica.....	11
2.2 Marco legal.....	12
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador.....	12
2.2.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento	13
2.2.3 Reglamento del Código Orgánico del Ambiente.....	14
2.2.4 Ordenanza del "Fondo de Agua y Desarrollo Responsable de la Provincia de Imbabura"	15
2.2.5 Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025	16
CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA	17
3.1 Descripción del área de estudio.....	17
3.2 Métodos.....	19
3.2.1 Aplicación de herramientas SIG para la caracterización biofísica e hidrológica.....	20
3.2.1.1 Uso de suelo.....	21
3.2.1.2 Tipo de suelo.....	22
3.2.1.3 Litología.....	22

3.2.1.4	Pendiente del terreno	23
3.2.2	Determinación del balance climático	23
3.3	Materiales y equipos	31
CAPÍTULO IV		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		32
4.1	Componentes geológicos	32
4.1.1	Caracterización del uso del suelo	32
4.1.2	Caracterización del tipo de suelo.....	34
4.1.3	Caracterización de la litología del suelo.....	37
4.1.4	Caracterización de la pendiente de terreno.....	39
4.2	Componentes climatológicos	40
4.2.1	Balance climático	40
4.3	Zonas potenciales de recarga hídrica	43
4.4	Gestión de lineamientos para la conservación de las zonas de recarga hídrica.....	51
4.4.1	Calificación del método semáforo.....	52
4.4.2	Propuesta de conservación	57
CAPÍTULO V		63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS		66
ANEXOS.....		78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del uso del suelo.....	22
Tabla 2. Orden de tipo de suelo.....	22
Tabla 3. Clasificación litológica.....	22
Tabla 4. Categorías según la pendiente del terreno.....	23
Tabla 5. Estaciones meteorológicas de precipitación.....	24
Tabla 6. Categorización de la recarga hídrica.....	29
Tabla 7. Lista de materiales.....	31
Tabla 8. Suborden Entisol, Inceptisol y Mollisol.....	35
Tabla 9. Categorías litológicas, formaciones y extractos geológicos.....	38
Tabla 10. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis.....	44
Tabla 11. Resultados de cálculos de radio frecuencia.....	46
Tabla 12. Resultados de probabilidad.....	48
Tabla 13. Resultado de factorial para cada variable.....	48
Tabla 14. Estadísticos descriptivos.....	49
Tabla 15. Calificación semáforo de la Constitución de la República del Ecuador	52
Tabla 16. Calificación semáforo al reglamento del código orgánico del ambiente	53
Tabla 17. Calificación semáforo a la ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamientos.....	54
Tabla 18. Calificación semáforo de FONADERI.....	56
Tabla 19. Calificación semáforo a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.....	56
Tabla 20. Lineamientos de conservación.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	18
Figura 2. Zonas áridas y semiáridas de la cuenca del río Chota.....	19
Figura 3. Obtención de puntos de control.....	21
Figura 4. Pirámide de Kelsen con normas de recursos hídricos.....	30
Figura 5. Zona montañosa “La Piedra”.....	33
Figura 6. Uso y cobertura vegetal del suelo.....	33
Figura 7. Tipos de suelo del área de estudio.....	35
Figura 8. Textura del suelo.....	36
Figura 9. Litología del área de estudio.....	37
Figura 10. Pendientes del terreno.....	40
Figura 11. Variación de precipitación en el periodo de 21 años.....	41
Figura 12. Distribución del balance climático del área de estudio.....	42
Figura 13. Zonas con potencial de recarga hídrica.....	49
Figura 14. Curva ROC.....	50

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN
ÁREAS SEMIÁRIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHOTA

Madelayn Shirley Villota Huertas

RESUMEN

El cambio y uso de suelo afecta a la infiltración de la lluvia en la cuenca hidrográfica del río Chota, creando la necesidad de identificar zonas de recarga hídrica para el control de las actividades antrópicas en el suelo. En el presente estudio se identificó zonas de recarga hídrica mediante la recopilación y procesamiento de información geográfica para describir variables geológicas y climáticas en ArcGIS. Con la información obtenida se efectuó una asociación de variables biofísicas para la toma de datos en campo, los datos obtenidos no presentaron homogeneidad. Se aplicó la prueba de Kruskal Wallis y se aceptó la hipótesis alternativa. Se obtuvieron 36 puntos con mayor relación, el método de radiofrecuencia estableció el coeficiente de infiltración de cada variable para la elaboración del mapa de recarga hídrica. Los resultados obtenidos fueron 0.7% del área de estudio con recarga hídrica alta, 1.14% con recarga media y 98.16% con recarga baja. Finalmente, se propuso lineamientos aplicando la calificación tipo semáforo de acuerdo con el cumplimiento de la ley de recursos hídricos para la gestión, conservación, protección y restauración de las áreas de recarga hídrica alta y media.

Palabras claves: Recarga hídrica, Balance climático, Uso de suelo, Áreas semiáridas.

ABSTRACT

The change and use of soil affects the infiltration of rain in the Chota River hydrographic basin, creating the need to identify water recharge zones for the control of anthropic activities in the soil. In the present study, water recharge zones were identified by collecting and processing geographic information to describe geological and climatic variables in ArcGIS. With the information obtained, an association of biophysical variables was made for data collection in the field, the data obtained did not present homogeneity. The Kruskal Wallis test was applied, and the alternative hypothesis was accepted. 36 points with greater relationship were obtained, the radiofrequency method established the infiltration coefficient of each variable for the elaboration of the water recharge map. The results obtained were 0.7% of the study area with high water recharge, 1.14% with medium recharge and 98.16% with low recharge. Finally, guidelines were proposed applying the traffic light type qualification in accordance with compliance with the water resources law for the management, conservation, protection, and restoration of high and medium water recharge areas.

Keywords: Water recharge, Climate balance, Land use, Semi-arid areas.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

El aprovechamiento del recurso hídrico en el mundo es de gran valor y según el informe de desarrollo de los recursos hídricos de la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2003), afirma que la cantidad natural de agua dulce que existía en lagos, ríos, acuíferos y embalses alcanzaban los 8000 km³ y la demanda mundial de agua se ha incrementado anualmente en el 1% aproximadamente en función del aumento de población. Los recursos hídricos son renovables, pero no aplica para ciertas aguas subterráneas, que contienen una gran reserva de agua que es recargada por la precipitación estacional y anual en distintos lugares del planeta (UNESCO, 2018).

Según Galárraga (2000), el uso de agua subterránea en Ecuador es bajo, debido a que el país posee gran heterogeneidad de la distribución espacial de los caudales en las distintas regiones, causadas por la variedad de condiciones biofísicas a diferencia de la cuenca hidrográfica la Hoya del Patate en la ciudad de Latacunga. Sin embargo, se ha realizado estudios de caracterización de agua subterránea para el consumo humano y actividades productivas, por lo que se identificó su ubicación para su protección (Arbitó, 2015). Actualmente, en Ecuador se promueven estudios relacionados con la identificación de zonas de recarga hídrica con el financiamiento de diferentes cooperaciones, una de ellas es la iniciativa "Finanzas para la Biodiversidad" [BIOFIN] (2020), que establece cinco líneas de acción: Protección/Conservación, Restauración, Usos Sostenibles, Investigación y Monitoreo, y/o Gestión para la Gobernanza.

En Imbabura, el estudio sobre el recurso hídrico se destaca por ser un limitante importante en la producción agrícola. Guitarra (2018) menciona que se requiere estudiar la relación que tiene el suelo en capacidad de campo y su forma de

potenciar la productividad. Al ser un recurso valioso para la población es indispensable su protección, de este modo la caracterización del flujo incluye las zonas de recarga hídrica de los acuíferos, los cuales alimentan los canales de agua que proveen agua potable a la ciudad de Ibarra (Chamorro, 2017).

Es importante recalcar el estudio de “Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la comuna la Esperanza, provincia del Carchi”, donde se encuentran valles altos entre 1800 y 2600 m.s.n.m, y están cubiertas con bosques montanos muy húmedos, característicos de esta área de estudio. Los impactos generados a partir de la deforestación y el mal uso del suelo afectan al recurso hídrico subterráneo (Herrera, 2017). Según (Chamizo et al., 2010), el empleo inadecuado de la tierra en zonas que constituyen áreas de aporte a las aguas subterráneas es incompatible con su conservación. Por otra parte, uno de los limitantes para el desarrollo socioeconómico de las regiones semiáridas, es la escasez de agua disponible en cantidad y calidad, principalmente en aquellas zonas donde el recurso hídrico superficial está ausente, teniendo que recurrir al agua subterránea (Alvarez et al., 2011).

Según Kashiwar et al. (2016), la expansión urbana ha creado un cierre de la ruta del agua para entrar en la superficie de la tierra, afectando directamente el nivel del agua subterránea. En este sentido es necesario identificar las zonas de recarga hídrica como lo proponen Sáenz et al. (2015), con un diagnóstico morfométrico vinculado a la red superficial de drenaje, y así representando las zonas con un alto potencial de recarga hídrica y procediendo a la rehabilitación de estas zonas. Otra de las técnicas utilizadas para su identificación es el modelo probabilístico de relación de frecuencia, que se utiliza en zonas áridas o semiáridas mediante el diseño de un mapa que permite explorar nuevos reservorios de agua subterránea (Elmahdy y Mohamed, 2014).

1.2 Planteamiento del problema y justificación

En la cuenca del río Chota se observaron diferentes cambios en el uso del suelo en el periodo de 25 años desde 1991 hasta 2016. La vegetación riparia disminuyó en un 94.24%, la vegetación arbustiva en un 66,03%, mientras la vegetación xerófila aumentó su extensión en 43.98% y la superficie de cultivos y frutales decreció a 2,77%. Esto ocasionó un aumento en la erosión del suelo en un 17.34% (Ponce, 2017). Estos cambios de uso de suelo son causa de diferentes actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería caprina, la explotación minera de material para la construcción, el mal uso de los recursos hídricos, un mal ordenamiento territorial, la introducción de especies y actividades turísticas que se dan en ella, generando efectos negativos en los recursos hídricos causando un gran impacto en esta zona y en sus habitantes (Troya et al., 2012).

De acuerdo con Giraldo et al. (2014), los efectos generados por la pérdida de cobertura vegetal causan la erosión del suelo, compactación, deforestación, contaminación del agua, suelo y vegetación con respecto a toda la cuenca; y vienen dados por la utilización de productos químicos y malas prácticas agrícolas. También existe una pérdida de biodiversidad y reducción de las plantas nativas en el área de estudio. Otros efectos que se desarrollan son los asentamientos poblacionales y los diferentes usos que se da al río lo que puede ocasionar el incremento de la carga de sedimentos, desviación de caudales hidrológicos, disminución de canales de río y drenajes. Dichos efectos pueden ocasionar daño a la población y atentar contra su salud y bienestar (Bautista et al., 2011).

La necesidad de determinar las zonas de recarga hídrica es para mantener estos sistemas de recarga en continuo flujo y estimar las condiciones necesarias para su conservación. Para lograr un incremento de zonas de recarga hídrica se puede hacer uso del agua de lluvia, que contiene la cantidad e intensidad necesaria para infiltrar agua en los diferentes tipos de suelos, rocas permeables, fracturas de rocas, fallas geológicas y grietas que ayudan a la infiltración y la percolación profunda (Castro et al., 2011). Por esta razón, se requiere que se mantenga el ecosistema vegetal en

las áreas donde existen zonas de recarga hídrica para evitar una mayor escorrentía (Chamorro, 2017).

El cambio de uso del suelo es un indicador de inestabilidad en el ecosistema en la cuenca del río Chota, afectando en los diferentes procesos de transporte de agua donde el flujo de las precipitaciones llega a las zonas de recarga hídrica, que pueda transportar y abastecer a los diferentes efluentes (Huaman, 2016). Cuando el proceso de infiltración cumple satisfactoriamente su flujo y se recarga hasta el límite en los acuíferos, su descarga es en manantiales, drenajes menores, y ríos siendo estos espacios de afloramiento de las aguas subterráneas, siendo un recurso de gran importancia para el desarrollo de las actividades productivas que se realizan en los diferentes poblados asentados cerca a estas fuentes de descarga (Peñuela y Carrillo, 2013).

Al determinar las áreas de recarga hídrica, es necesario generar lineamientos de conservación o restauración de acuerdo con el estado de su cobertura vegetal, el cual permite realizar el adecuado manejo de las diferentes fuentes de aguas, y darle un uso de aprovechamiento por poseer propiedades beneficiosas para el desarrollo de agricultura, ganadería, atractivos turísticos, entre otros, ocasionando un desarrollo sustentable dentro de las comunidades del área (Peñuela y Carrillo, 2013).

La preservación de las condiciones para mantener el flujo del agua no se encuentra delimitadas en el área, por lo cual, el agua en las zonas de recarga se ve afectada por la alteración a la infiltración y percolación profunda existente, de manera que la capacidad de recarga de los acuíferos no mantiene un flujo superficial que satisfaga las fuentes de agua induciendo a una merma en la disponibilidad del recurso para todos los usuarios (Ruíz, 2007). También es importante tomar en cuenta que en el Artículo 57 número 8 de la Constitución de la República del Ecuador se establece como deber del Estado garantizar la participación permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales (Constitución Política de la República del Ecuador, 2008). Garantizar

la sostenibilidad de las zonas de recarga hídrica de la cuenca del río Chota, implica persuadir y concientizar a los pobladores acerca del uso de recursos naturales, para ello, es necesario establecer medidas y lineamientos precautelares para la conservación y protección de zonas con presencia de recursos hídricos, convirtiéndose en una visión hacia el progreso de la gestión ambiental, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas, y aportando en el cumplimiento del objetivo establecido en el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar las zonas de recarga hídrica en áreas semiáridas de la cuenca del río Chota.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar los factores climatológicos y geológicos de recarga hídrica en las áreas semiáridas de la cuenca del río Chota.
- Identificar las zonas de recarga hídrica en las áreas semiáridas en la cuenca del río Chota.
- Definir lineamientos para la conservación de zonas de recarga hídrica.

1.4 Hipótesis

Ho = La pendiente del terreno, litología, uso de suelo y tipo de suelo no se asocian en la recarga hídrica de zonas semiáridas de la cuenca del río Chota.

Ha = La pendiente del terreno, litología, uso de suelo y tipo de suelo se asocian en la recarga hídrica de zonas semiáridas de la cuenca del río Chota.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.1 Características de áreas semiáridas

Las áreas semiáridas tienen una gran influencia sobre los procesos eólicos, fluviales, y freáticos, donde, el suelo y la roca provocan erosión, ya sea por efecto del viento, lluvias intensas, cambios de temperatura, procesos geoquímicos, procesos biológicos o por el efecto mixto de uno o más factores (Chamizo et al., 2010; Salas, 2000). En donde las cuencas de drenaje interior sin salida natural son creadas por zonas semiáridas y en las zonas de drenaje sin salida se encuentran sales, debido a la evaporación del agua que en caso de no ser disueltas por la lluvia y redistribuidas causan complicaciones de salinización (González y Chueca, 2010). La filtración del agua por las fisuras de las rocas disuelve algunos componentes minerales de ellas, por ello si el agua es absorbida por sales, estas se expanden ejerciendo presión en la roca provocando que se caliente y el agua se evapora y las sales se contraen, de esta manera los procesos causan la meteorización de la roca (Salas, 2000).

De acuerdo con Celaya y Castellanos (2011), los suelos de zonas áridas y semiáridas son bajos en materia orgánica debido a la poca cobertura vegetal, y se caracterizan por presentar profundidad muy variable de texturas arenosas hasta arcillosas. Dentro de estas áreas semiáridas los recursos nutritivos son bajos ocasionando que algunas plantas generen competitividad en la absorción de los nutrientes (Constantinou et al., 2021). El agua es el principal nutriente del crecimiento de la vegetación. Sin embargo, pocos estudios consideran el hecho que el agua puede moverse lateralmente a través del paisaje como escorrentía a través de arroyos y llanuras aluviales, lo que se denomina conectividad hidrológica (Norton et al., 2022). Existen otros factores que son particulares de las zonas semiáridas que muestran poca conectividad hidrológica, incrementando la heterogeneidad espacial en la distribución del agua de acuerdo con González y Chueca (2010). El paso de

agua de una zona a otra es lento, debido a flujos superficiales, por esta razón la vegetación que favorece a mayores infiltraciones subterráneas y el proceso fluvial es predecible (Giraldo y Jaramillo, 2004; Herrera, 2017).

En otro ámbito, la recuperación de la fenología de la superficie terrestre sigue siendo un desafío en extensos ecosistemas áridos y semiáridos debido a la escasa vegetación, la alta variabilidad y la falta de precipitaciones (Xie et al., 2022). Así como lo menciona Li et al. (2021), no solo afectan los efectos de diferentes servicios ecosistémicos, sino también la producción de alimentos, materia prima, calidad del aire, la regulación del clima y el suministro de agua que se ven afectados por la urbanización.

2.1.2 Zonas de recarga hídrica

Las zonas de recarga hídrica son definidas según Ríos et al. (2006) y Dörner y Dec (2008), como la infiltración de agua causada por la precipitación que se ocasiona por características como la conductividad hidráulica y la localización de las rocas. En el que se representa la aptitud con la que el agua fluye por la unidad de área a la dirección del flujo. El nivel freático para la zona de recarga se encuentra en la zona subterránea, en la que el suelo es ácido, cuenta con poca cantidad de materia orgánica, tiene baja concentración de sodio y/o sales y su vegetación es xerófila. Existiendo plantas que se adaptan a áreas secas por poseer raíz profunda para absorber el agua infiltrada (Peñuela y Carrillo, 2013).

Las zonas de recarga hídrica son dependientes de distintos procesos como la escorrentía, que, de acuerdo con Arnáez et al. (2012), es la sumatoria de agua de lluvia, riego o deshielo que sobrepasa la acumulación normal que existe en el suelo y corre en dirección prolongada a la pendiente, recorriendo hasta cuerpos de agua como lagos, ríos, embalses y océanos. Otro proceso es la infiltración donde el flujo del agua de la superficie entra hacia el interior del suelo, causado por la gravedad que es guiada hacia las capas más profundas del suelo, donde se llenan los mantos

friáticos o es retenida en los poros del suelo, para ser usada por las plantas (Donis, 2015). Para identificar las zonas de recarga hídrica es necesario conocer el movimiento del agua o ciclo hidrológico, tomando en cuenta el proceso de evaporación y precipitación, la cual se presente en forma de escorrentía superficial y subterránea en las cuencas hidrológicas (Díaz et al., 2009). El ciclo hidrológico tiene limitaciones por las condiciones climáticas y geográficas, la mayor parte del vapor de agua no puede transformarse en precipitación, reflejando la ineficiencia del flujo dentro de este ciclo. Sin considerar las actividades humanas, que influyen en la circulación atmosférica (Quan et al., 2022).

2.1.3 Identificación de zonas de recarga hídrica

Para la identificación de las áreas de recarga hídrica de acuerdo con Jiménez et al. (2009), primero se deben definir las características representativas de las zonas de recarga hídrica superficial de una cuenca hidrográfica, a excepción de las zonas que presentan impermeabilidad. Para Rodríguez y Pérez (2014), la determinación de las áreas de recarga incluye aspectos geológicos y morfológicos, considerando el grado de pendiente del terreno o inclinación, las precipitaciones mensuales, el uso actual del suelo, tipo de suelo y su geología. Teniendo en cuenta factores como la humedad presente en el entorno y la existencia de geformas propicias al ciclo del agua.

Para realizar cartografía en el estudio de Ramos et al. (2017), se aplicó la técnica de información geográfica en la cual se ocuparon materiales como datos del INEGI, fotografías en blanco y negro del área de estudio en diferentes años y en diferentes escalas, mapas topográficos de uso del suelo, uso potencial del suelo y clases de suelo. Clasificando los datos obtenidos en zonas: a) Agrícola, que comprende a los cultivos perennes, semiperennes y anuales. b) Pecuaria con el uso de pastizales. c) Vegetación natural representada por la vegetación riparia, secundaria y vegetación enraizada emergente. Analizados los estudios realizados por una variedad de autores del uso de suelo, para Cano et al. (2016) es importante la regularización,

aplicación de normas y planeación territorial para la conservación del suelo ya que es clave para mantener el ciclo hidrológico.

2.1.4 Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la identificación de zonas recarga hídrica

Los sistemas de información geográfica (SIG) son tecnologías eficientes para la recolección y procesamiento de información, que pueden ayudar en gran medida a resolver los principales objetivos de la gestión regional, se desarrollan mediante la creación de mapas y planes digitales del territorio para evaluar de manera más integral los recursos de la tierra (Garramone et al., 2020). El sistema debe incluir medidas nacionales, económicas, de ingeniería y legales encaminadas al uso racional de la tierra y su protección, sin embargo, si no se establece un sistema único de información integrado no se puede lograr la digitalización de la gestión territorial (Tsoraeva et al., 2020).

Para Liang y Zhu (2020), el establecimiento de modelos físicos y geográficos es la clave para el desarrollo, y la capacidad de lidiar con problemas ambientales, ya que, se logra que entidades geográficas basadas en la respuesta dinámica de simulaciones, proporcionen apoyo para la toma de decisiones y la respuesta ante desastres. Los diferentes empleos que se les puede dar a los SIG; sobre la distribución uniforme del conocimiento hidrológico y el desequilibrio de las características hidrogeológicas, así como la evaluación de la recarga de las aguas subterráneas en la estructura del suelo, entre otras que son fundamentales para determinar acciones y estrategias integrales para una protección y gestión sostenible del agua (Mazza et al., 2014; Canora et al., 2018).

También es necesario mencionar la metodología aplicada por Chamorro (2017), la cual utiliza el sistema de información geográfica necesaria para determinar la recarga de un depósito de agua subterránea según la permeabilidad del suelo y de otros factores, que explica sobre la percolación para lograr la zona de saturación, y

la dependencia se relaciona con la condición del suelo, el tamaño de sus partículas que inciden en la capacidad de infiltración. Así como el estudio de Brewington et al. (2019), donde los modelos hidrológicos y la caracterización de cobertura terrestre usan sistemas de información geográfica y teledetección, que sirven para integrar, la información, las predicciones climáticas y los datos empíricos estiman la cantidad de agua de recarga.

Los modelos de flujo para la recarga hídrica y las herramientas usadas en la gestión de los recursos hídricos en áreas semiáridas adoptan un enfoque de criterios múltiples, que utiliza un proceso de clasificación ponderado para construir un mapa que muestre áreas adecuadas con potencial de recarga acuífera (Chenini et al., 2019). El modelo de radiofrecuencia usa los sistemas de información geográfica, puede generar mapas por primera vez y comprender las principales condiciones del área a través del trabajo de campo, el análisis fotográfico y la interpretación de imágenes rasterizadas (Berhane et al., 2020). La aplicación potencial del modelo probatorio para un conjunto de parámetros, que representan la máxima efectividad, y pueden crear una base de datos para extraer valores y convertir información en ráster (Althuwaynee et al., 2012). Estas herramientas permiten identificar las áreas de recarga hídrica por el método de radiofrecuencia siendo más afectivo para adecuar a áreas áridas y semiáridas, el cual modifica el modelo de racionamiento frecuencia de probabilidad de un conjunto de datos (Elmahdy y Mohamed, 2014).

2.1.5 Conservación y protección de zonas de recarga hídrica

El agua es un recurso necesario para el ser humano, siendo el principal participe en el desarrollo socioeconómico de un país, por conservar su característica ambiental y ser una de las bases esenciales para la vida. En muchas zonas con perfeccionamientos antrópicos importantes, no simboliza un elemento de libre acceso a todos, ya que la contaminación y el uso descontrolado han reducido su disponibilidad (Serrano et al., 2014). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2012), existe varias herramientas

para la conservación y protección de zonas de recarga hídrica como la ejecución de sistemas de cosecha y riego, técnicas de conservación de suelo, prevención de erosión y degradación.

Para Donis (2015) es relevante incluir a las autoridades convenientes para la toma de decisiones en la realización de proyectos para la protección de aguas, así como, la extracción y aprovechamiento de aguas subterráneas. En Ecuador la restauración de la cobertura vegetal en partes alta de la montaña y en áreas con neblina, propicia una regulación de la calidad como de la cantidad de agua presente (Segarra, 2017). Lograr la recuperación de estas zonas implica la regeneración natural del ecosistema, recuperando de este modo el recurso hídrico y previniendo la degradación del suelo (Huerta et al., 2018).

2.2 Marco legal

Las normativas referentes a la realización de este estudio se basan en la Constitución Política de la República del Ecuador (2008), conformada por distintos niveles jerárquicos como se los menciona en el Artículo 425, donde se prioriza la jerarquización de la aplicación de normas.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

Dentro de las leyes internas de la República del Ecuador, los recursos hídricos son patrimonio nacional y un derecho fundamental de la humanidad, por ser un elemento esencial para la vida, que constituye un instrumento de uso público o comunitario. Por consiguiente, se rige a través de métodos de conservación y recuperación, manejo y uso sustentable. Con base en la determinación de recargas hídricas, el Artículo 3 de la Constitución Política de la República del Ecuador (2008), confiere a el agua como un deber primordial del Estado, y destaca su dependencia para la vida, aceptando en el Artículo 12, donde el agua es un derecho

humano importante e irrenunciable, que constituye un patrimonio nacional estratégico de empleo propio. Considerando la importancia del agua, y lo contemplado en el Artículo 71 en su conservación, restauración y naturaleza, deben ser tomados todos sus factores que se interrelacionan y que, permiten su existencia. Por consiguiente, en los Artículos 318, 411, 412 y 413, el Estado garantiza la conservación, recuperación, regulación, control y manejo del agua, además de su asociación en su ciclo y su entorno ecosistémico.

2.2.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento

Las zonas de recarga hídrica son de interés de todo el país y requieren ser reguladas, controladas y manejadas de forma sustentable, así, como lo menciona la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), tomando en cuenta todos los usos, aprovechamientos, destinos del agua, determinación de caudales ecológicos, la preservación y conservación de las fuentes y zonas de recarga hídrica, se requiere una planificación y formulación de políticas nacionales como lo menciona en el Artículo 33, y como entidad encargada de la regulación, el control, la cantidad y calidad de agua es la Agencia de Regulación y Control del Agua que está enmarcado en los Artículos 3, 4, 8, 12, 13, 18 21, 72, 74, 78, 82, 84, 85 y 92, y en el que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua.

Los cambios en la utilización del suelo son causados por actividades que pueden afectar la cantidad y calidad del agua y el equilibrio del sistema ecológico. Su protección se rige por el plan hídrico, los métodos, principios y metas de la gestión integral que se estipula en los Artículos 29, 33, 34, 39 y 79. La Pacha Mama tiene derecho a proteger, restaurar las aguas y sus propiedades en función del contenido que brindan y protege sus fuentes de agua, áreas de captación, regulación, reposición, afloramientos y canales. En los Artículos 11, 64 y 66, la compensación económica debe invertirse en la restauración natural y el daño ecológico causado.

De esta forma se comprende en el Artículo 110, la importancia de regular las actividades en los ecosistemas en especial en las fuentes y zonas de recarga hídrica con el fin de mantener un equilibrio y con la colaboración de las entidades que emiten su regularización como: la Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional como lo establece el Artículo 111, y con el art 118 y 151 en consecuencia a su corresponsabilidad y la infracción correspondiente. El manejo sustentable de las fuentes y zonas de recarga es responsabilidad de gobierno central, los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de sus competencias y los usuarios.

2.2.3 Reglamento del Código Orgánico del Ambiente

Los Artículos 4, 5, 23, 26, 334 y 807, se fundamentan dentro del reglamento del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019), en donde se reconoce, identifica, evalúa y se enfoca en la gestión integral de riesgos, prevención y mitigación de impactos ambientales, define planes, programas y proyectos para implementar medidas y estrategias de conservación, protección y restauración del patrimonio natural con su uso y aprovechamiento sostenible. Se promoverán alianzas interinstitucionales que aseguren su protección como lo cita el Artículo 141 de este reglamento en la que la Autoridad Única del Agua establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica.

La conservación, mantenimiento y regeneración de las funciones ecológicas y ciclos vitales de la naturaleza son importantes por presentar distintos servicios ambientales en los que se encuentran los servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios culturales, servicios de soporte son aquellos procesos ecosistémicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado y los flujos necesarios para la provisión de todos los demás servicios ecosistémicos de acuerdo con los Artículos 248, 249 y 285, donde las funciones que tienen los bosques o vegetación es preservar las cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas, de alta pluviosidad y de áreas contiguas a las fuentes, nacientes o depósitos de agua y

el Artículo 806, manifiesta que los Gobiernos Autónomos Descentralizados podrán acceder a financiamiento del Fondo Nacional para la Gestión Ambiental, por la mejora de la calidad del aire, agua y suelo.

2.2.4 Ordenanza del "Fondo de Agua y Desarrollo Responsable de la Provincia de Imbabura"

Al coordinar la gestión técnica, global y sostenible del cuerpo de agua, el Ministerio de Medio Ambiente y Transición Ecológica, ha tenido en cuenta el organigrama a través de la organización y gestión, para que la calidad y cantidad puedan ser protegidas, preservadas y restauradas. Reconocer los valores sociales, económicos, culturales y ambientales de los recursos hídricos con el fin de promover la participación social de usuarios y organizaciones de consumidores de los sistemas de agua públicos, privados y comunitarios. Por otro lado, la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Considera proteger la calidad de los recursos hídricos, mantener y los usos asignados, la integridad de las personas, los ecosistemas y sus relaciones.

Finalmente, se consideró el decreto emitido por Imbabura, que determinó las acciones en pro de la conservación de los ecosistemas, según la Ordenanza Para la Creación del “Fondo de Agua y Desarrollo Responsable de la Provincia de Imbabura” [FONADERI] (2019), para apoyar la protección, restauración y restauración ambiental de ecosistemas estratégicos, vinculando las unidades hidrológicas que aportan los recursos hídricos en Imbabura. En cuanto a las áreas de abastecimiento, tomando en cuenta los Artículos 2, 3, 6, 8, 9, 16 y 22 de la FONADERI, se propone proveer fondos para la protección, restauración e investigación de ecosistemas estratégicos y su biodiversidad para asegurar el flujo y brindar servicios.

2.2.5 Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025

Por último, acorde con el Plan de Creación de Oportunidades de la República del Ecuador 2021- 2025 , y su encuentro en la realidad, el país presenta problemas al manejar acciones que tienen efectos dañinos a los recursos hídricos, y como patrimonio es fundamental para el progreso y se rige a partir del art 12 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (2014), por tal motivo, el Plan de creación de Oportunidades, menciona en el Eje de Transición Ecológica, (tomar en cuenta la función de mantener la integridad del entorno natural) que: mediante la gestión integral de los recursos hídricos permite el adecuado aprovechamiento del agua, donde se mantiene el flujo del recurso hídrico dentro de los ecosistemas generadores de agua y son considerados prioritarios en su conservación y uso sostenible descrito en el objetivo 13; y que en relación con los lineamientos de la Estrategia Territorial Nacional, se promueve la protección de fuentes de agua, a través del fortalecimiento en el ordenamiento del territorio, comprendiendo que cada territorio es parte un todo conjunto de interdependencias (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Chota se ubica al Norte del Ecuador en las provincias Imbabura y Carchi, se caracteriza por ser valles fluviales que nacen del complejo volcánico Mojanda – Fuya Fuya, donde se halla el volcán Cushnirumi (3776 msnm). Es un estratovolcán de edad Pleistocénica conformado por lavas andesíticas y brechas que muestran signos de alteración hidrotermal y su edificio volcánico es bastante erosionado (Jácome et al., 2020). De acuerdo con el Instituto Espacial Ecuatoriano el río se encuentra en las estribaciones occidentales de la cordillera oriental Pimampiro, fluye en dirección Noroccidente y desemboca en el río Mira después de unirse al río Ambi (Figura 1. *Ubicación del área de estudio*). La trayectoria del río Chota se obtiene en el margen derecho y las aguas de dos afluentes principales que son el río Apaquí y el río Ángel. En el margen izquierdo se encuentran los ríos Mataqui, Ambi y la quebrada Ambuqui como se muestra en los mapas del Anexo 3 del Sistema Nacional de Información. El área de estudio tiene altitudes en un rango de 1600 – 2260 msnm, posee una superficie de 28 015,5 hectáreas, y se encuentra caracterizada por dos tipos de clima: árido megatérmico y semiárido megatérmico, de acuerdo con la clasificación climática de Pourrut (1995). El promedio anual de precipitación varía de 453 y 793 mm y la temperatura media anual se encuentra entre los 15 y 18 °C.

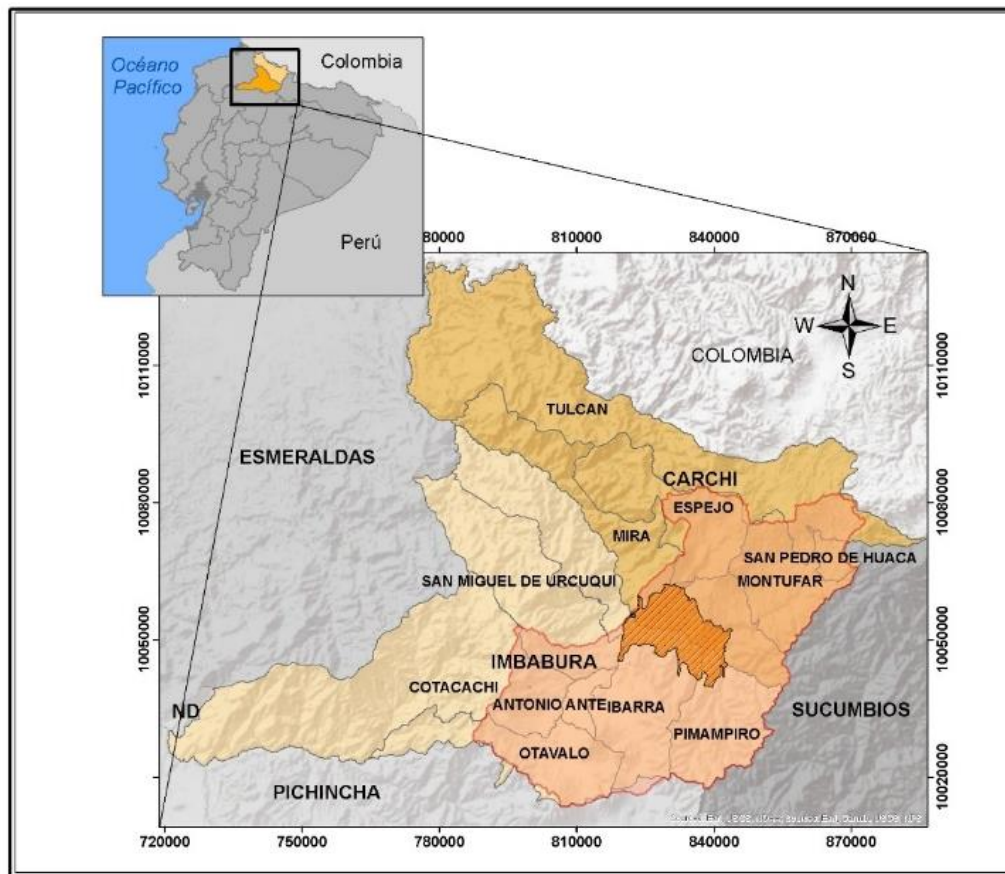


Figura 1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encontró caracterizada por áreas semiáridas que fueron determinadas mediante el régimen de humedad de suelo, con propiedades físicas que los mantienen secos, esto se debe a la acumulación de sales, pendientes muy empinadas con escorrentías muy elevadas (Griesbauer et al., 2021). De acuerdo con el triángulo de zonas de vida de Ecuador desarrollado por Holdridge, el área de estudio tiene un 83% representada por áreas semiáridas (Figura 2. *Zonas áridas y semiáridas de la cuenca del río Chota.*) (Serrano y Calderón, 2016).

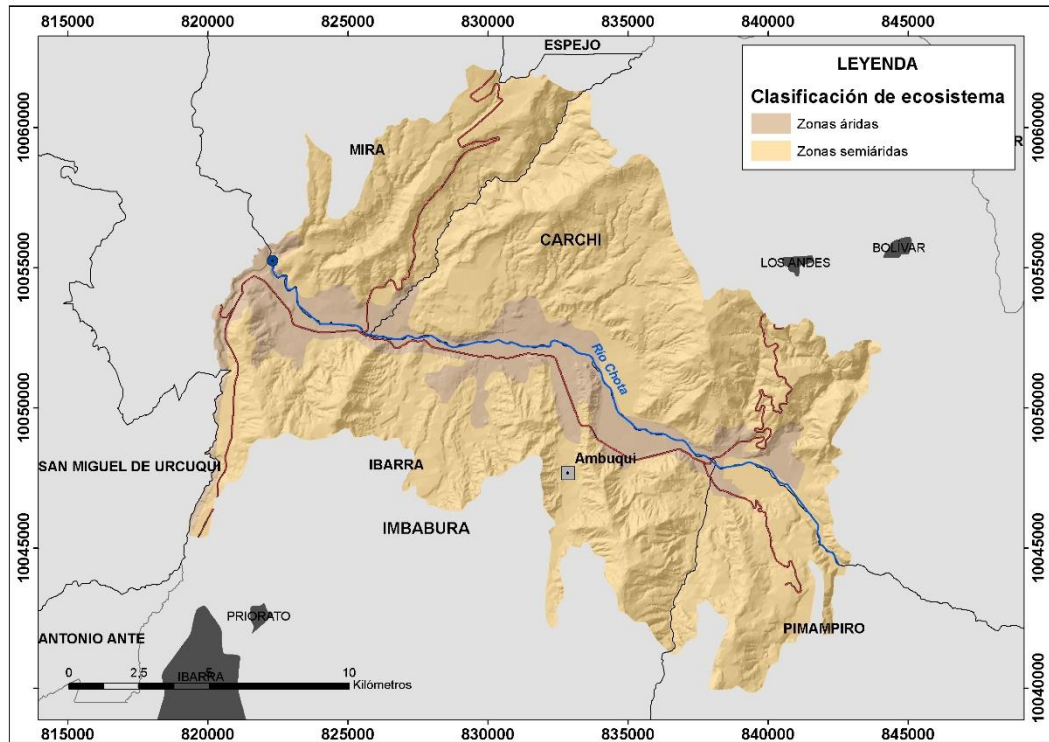


Figura 2. Zonas áridas y semiáridas de la cuenca del río Chota.

Según la clasificación del suelo de la FAO (2012), menciona que existen tres tipos de órdenes: entisoles, inceptisoles y molisoles. El orden entisoles tiene características de baja potencialidad en fertilidad y se encuentran ubicados en fuertes pendientes, presentan poca profundidad y alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. El orden inceptisoles presenta secuencia de horizontes del suelo moderadamente desarrollados y al estar en una etapa de formación inicial sus características son incipientes. Según Ponce (2017), en la cuenca del río Chota existen áreas erosionadas carentes del primer horizonte del suelo, la presencia de rocas de diferente tamaño y granulometría; existen también afloramientos de roca compuestos por basaltos, granitos, andesitas y riolitas.

3.2 Métodos

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados se utilizó la metodología descriptiva no experimental, se basó en el análisis de datos obtenidos a partir de fuentes meteorológicas y metadatos de libre acceso de las diferentes

estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cartas topográficas digitales de la cuenca del río Chota (IGM), e información territorial del Sistema Nacional de Información (SNI). Lo cual ayudó al cumplimiento de los objetivos desarrollados en tres fases, las cuales fueron:

La primera fase consistió en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando el software ArcGIS para la caracterización climatológica y geológica del área de la cuenca del río Chota. La segunda fase comprendió en el análisis de los datos adquiridos de las variables geológicas utilizando la evaluación de Kruskal Wallis, de esta manera realizar el método de radiofrecuencia para generar el mapa de zonas de recarga hídrica. En la tercera fase se recopiló información legal utilizando la pirámide de Kelsen referente al recurso hídrico para identificar el cumplimiento de normas y leyes por medio del método de calificación tipo semáforo, con el cual se definió los lineamientos para lograr la conservación de las zonas de recarga hídrica.

3.2.1 Aplicación de herramientas SIG para la caracterización biofísica e hidrológica

En esta sección se desarrolló la caracterización climatológica y geológica del área utilizando la herramienta SIG, se consideró las mismas variables que utilizó Matus (2007), las cuales fueron el patrón de uso de la tierra, el tipo de suelo, la litología y la pendiente, mediante la herramienta de análisis espacial ArcGIS 10.4 (Figura 3) (Sashikkumar y Linora, 2012). Se solicitó los informes de datos hidrológicos y meteorológicos de las diferentes estaciones del INAMHI, IGM y SIN, delimitando el área de estudio y generando información cartográfica para identificar los componentes biofísicos, que participan en el proceso de recarga hídrica (Maghribi y Supriatna, 2020).



Figura 3. Obtención de puntos de control

3.2.1.1 Uso de suelo

Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal del suelo se utilizó datos obtenidos de la imagen del satélite Landsat-8, en esta imagen se aplicó el método de clasificación supervisada e interpretación visual manual (Wang et al., 2021). Los sitios de entrenamiento seleccionados se digitalizaron como polígonos, la evaluación de la precisión del mapa se llevó a cabo usando muestreo aleatorio de Puntos de Control Terrestre (GPS) en toda el área dando como resultado el mapa de uso y cobertura vegetal a una escala de 1:87 000 (Yonaba et al., 2021). La clasificación de esta caracterización se la observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del uso del suelo

Variable	Clasificación
Uso de suelo y cobertura vegetal	Vegetación arbustiva
	Cultivos
	Áreas erosionadas
	Cuerpos de agua
	Áreas suburbanas

3.2.1.2 Tipo de suelo

La caracterización de tipo de suelo se generó a partir de la información abierta del SNI. Se clasificó los datos en tres órdenes como se muestra en la Tabla 2. El mapa de tipo de suelo se elaboró a una escala de 1:87 000 (Navale y Mhaske, 2020).

Tabla 2. Orden de tipo de suelo

Variable	Clasificación
Tipo de suelo	Entisol
	Inceptisol
	Molisol

3.2.1.3 Litología

El mapa de litología se generó a partir de la información obtenida del Instituto Espacial de Ecuador a escala 1:25 000. Se utilizó las cuatro clasificaciones litológicas las cuales se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación litológica

Variable	Clasificación
Litología	Volcánicas
	Depósitos coluviales y aluviales
	Lahar

3.2.1.4 Pendiente del terreno

Para realizar la caracterización de la pendiente del terreno se utilizó datos de curvas de nivel del IGM. Los mapas de pendientes de terreno fueron clasificados en cuatro categorías como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías según la pendiente del terreno

Variable	Clasificación
Pendiente	Débil, plano o casi plano $<5^{\circ}$
	Inclinación regular o moderado ondulado $5^{\circ} - 25^{\circ}$
	Fuerte colinado o escarpado $25^{\circ} - 50^{\circ}$
	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañosas $>50^{\circ}$

3.2.2 Determinación del balance climático

Se utilizó la información obtenida por el (INAMHI), en este archivo se mostraron datos que fueron necesarios para determinar el balance climático, para su análisis se los importó a Excel, y se verificó la falta de registros en las distintas estaciones. Se usó el método de regresión lineal múltiple, este método permitió construir un modelo para representar la relación entre variables (Carrera et al., 2016). Para identificar el valor R^2 se utilizó el software de SPSS con las estaciones meteorológicas, en un periodo de 21 años como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas de precipitación

Código	Estación	Latitud (N)	Longitud (E)	Altitud (msnm)	Distancia (km)
CO52055020	El Paraíso	1.06992	-77.6386	3120	81.76
5205010	El Común	0.932216	-77.6283	3141	71.49
PM52050110	Cumbal	0.899545	-77.7822	3092	57.05
SP52055010	Aeropuerto San Luis	0.856345	-77.6769	2961	61.94
PM52050130	Chiles	0.811255	-77.8451	3100	45.05
M0101	El Carmelo	0.683543	-77.611	2955	58.67
M0305	Julio Andrade	0.649523	-77.716	2890	46.38
M0103	San Gabriel	0.599843	-77.8163	2860	34.03
M0325	García Moreno	0.237499	-78,6271	1950	65.03
M0025	Concordia	0.026897	-79,3714	397	152.49
M0358	Calacali	0.001247	-78,5123	2810	71.41
M0003	Izobamba	0.36683	-78,5501	3058	107.89
M0086	Pedro Vicente Maldonado	0.076577	-79,2251	705	133.25

La regresión lineal múltiple consistió en el relleno de información ausente de las diferentes estaciones meteorológicas, y fue representada por la ecuación 1, la cual determinó la existencia de la relación lineal entre datos de las variables (Valle y Guerra, 2012). El coeficiente de correlación lineal fue representado por (r), donde -1 o +1 representa una correlación perfecta. Si no hay ninguna relación estadística entre los conjuntos de variables, entonces r será cero, en términos hidrológicos, se consideró aceptable un valor de $-0.8 \leq r \leq 0.8$ (Baeza y Vázquez, 2014; Carrera et al., 2016; Romero y Casimiro, 2015).

$$Y = a + bx + cx \dots n \quad (1)$$

Donde:

Y = valor estimado de la variable para la estación

x = valor de la variable registrada por la estación
a, b, c y n = parámetros de regresión

Las variables utilizadas para realizar la correlación lineal fueron longitud y latitud según los datos obtenidos del INAMHI, los datos fueron ingresados en el software SPSS, para determinar coeficientes de correlación y generar valores más acertados a la realidad. Se procedió a realizar el cálculo de la precipitación haciendo uso del software ArcGIS 10.6, la información fue importada para determinar la precipitación media anual (Alzate et al., 2018).

Se determinó la temperatura por medio de cálculos necesarios a partir de los datos de las estaciones meteorológicas; Cayapas, Inguincho, Otavalo y Mira- FAO Granja la Portada, de esta forma se aplicó la ecuación de la temperatura real:

$$T_{xy} = T_{det} + (b (Z (xy)DEM - Z_{ref})) \quad (2)$$

Donde:

T_{det}: valor obtenido de la temperatura determinada

b: valor de -0.0085 obtenido del análisis de regresión

Z(xy) DEM: valor altitudinal de la estación

Z_{ref}: 2500 msnm

El valor de *Z_{ref}* fue considerado como referencia del promedio de altitudes con las que se interpoló la temperatura. Esto se hizo con el fin de que las alturas tengan un aproximado a la altura correspondiente sin distorsionar el resultado, se calculó la temperatura determinada con la siguiente ecuación (Fries et al., 2012).

$$T_{det} = T_{mensual} + (b (Z_{ref} - Z_{estación})) \quad (3)$$

Donde:

T mensual: precipitación mensual

b: valor de -0.0085, obtenido del análisis de regresión

Zref: 2500 de altura

Para el cálculo de la evapotranspiración, se usó la temperatura del periodo de 21 años, lo cual requirió calcular el índice de calor (*i*) mensual a partir de la temperatura media mensual (*t*) (Thorntwaite, 1971).

$$i = (t/5)^{1,514} \quad (4)$$

Donde:

i: índice mensual (suma de los índices mensuales es el índice anual (*I*)).

t: temperatura media mensual en °C.

Se calculó la evapotranspiración mensual sin corregir mediante la fórmula:

$$ETP_o = 16 \left(\frac{10+t}{I} \right)^a \quad (5)$$

Donde:

ETP_o: ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas del sol *t*:

temperatura media mensual, °C

I: índice de calor anual

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239$$

Corrección para el número de días del mes y el número de horas del sol, se aplicó la siguiente fórmula:

$$ETP = ETP_o(N/12) * (d/30) \quad (6)$$

Donde:

TP: evapotranspiración potencial corregida

N : número máximo de horas del sol, dependiendo del mes y de la latitud d : número de días del mes

El diagrama ombrotérmico se construyó a partir de las estaciones de precipitación y temperatura anual en el periodo de 21 años para representar la variación que existen anualmente en el área de estudio (Villers et al., 2009). La evapotranspiración del área de estudio se obtuvo sobreponiendo mapas algebraicos de archivos ráster de la elevación del terreno (DEM) y la temperatura promedio mensual; utilizando la fórmula de cálculo ETP en la herramienta *Raster Calculator* de ArcGIS. El balance climático (BC) fue determinado a partir de los datos obtenidos de evapotranspiración real y de la precipitación lo que permitió conocer la cantidad de agua que está disponible en la zona de investigación (Schosinsky, 2006).

$$BC = P - ETR \quad (7)$$

Donde:

P : Precipitación (mm)

ETR : Evapotranspiración real (mm)

3.2.3 Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

En la fase 2 se realizó la combinación de variables: tipo de suelo, uso de suelo, litología, y pendientes del terreno caracterizadas en la fase 1. Para la combinación se realizó una sobreposición de los mapas cartográficos mencionados, generando 71 áreas donde se describió la clasificación de todas las variables entre sí (Castro et al., 2011) (Anexo 1.1). Una vez que fueron identificadas las áreas de las combinaciones, se aplicó la técnica de observación de campo para obtener mediciones de la absorción del agua en el suelo con el equipo infiltrómetro (Turf-Tec International) para lo cual se visitó el área de estudio una vez por mes durante el mes de octubre, noviembre y diciembre del 2019.

Efectuada la observación de campo se generó datos de infiltración de agua correspondientes a tres meses de lluvia. Los datos no representaron normalidad ni homogeneidad ya que son independientes ordinales, por lo que requirieron de una prueba no paramétrica como la de Kruskal Wallis, la cual determina la diferencia significativa entre variables y así comprobar el resultado de las hipótesis (Flores et al., 2017). Los rangos que fueron tomados en cuenta para aceptar o rechazar la hipótesis fueron: si las diferencias entre los datos son estadísticamente significativas, entonces los valores ≥ 0.05 rechazan la H_0 y cuando son < 0.05 aceptan la H_a , el nivel de significancia de 0.05 representa el 5% de afirmar que los datos tienen al menos una diferencia (Ben et al., 2017).

Se requirió un análisis de textura de suelo, se tomó muestras de tipo de suelo de las mismas áreas donde se realizó el muestreo. La recolección de muestras fue de cuatro puntos por hectárea en 71 áreas de la cual se seleccionó la cuarta parte de la muestra con un peso de 200 gr, lineamientos que fueron solicitados del laboratorio de la universidad de Nariño Colombia, tiene certificación Icontec NTC ISO 9001:2015. Se analizaron las muestras y se obtuvieron los resultados de las arcillas, limos y arena con la que se interpoló sus datos y se generó el mapa de textura de suelo.

3.2.4 Modelo de radio frecuencia

El modelo de radio frecuencia fue utilizado para modificar la fórmula de recarga hídrica del área de estudio, para lo cual, se seleccionaron 36 puntos de muestreo, de los que aleatoriamente se seleccionó el 70%, con estos puntos se empleó el modelo de radiofrecuencia. Para su desarrollo se usó la información cartográfica sobre el uso de suelo, tipo de suelo, litología y pendientes del terreno en formato ráster. Se exportó la información del área ráster de cada una de las variables, luego se trasladó la información ráster combinado con todos los puntos tomados en cuenta, los datos generados a partir de ArcGIS se digitaron en Excel, aquí se analizó los datos para determinar el valor del coeficiente adecuado para cada variable (Elmahdy y Mohamed, 2014; Berhane et al., 2020).

Para generar el mapa de zonas con potencial de recarga hídrica, se empleó las variables tomadas en cuenta por Matus (2007), su ecuación está formulada para zonas húmedas, mientras que la zona pertenece a áreas secas. A partir de su ecuación y sus variables con el método de radiofrecuencia y los de puntos seleccionados, se obtuvieron los valores de coeficiente aptos para el área de estudio, el cual se aplicó para representar la distinción cuantitativa y la reformulación de la ecuación se representó de la siguiente manera:

$$ZR = coef (cobertura vegetal yuso de suelo) + coef (pendientes) + coef (tipo de suelo) + coef (geología) \quad (8)$$

Donde:

ZR: Zonas de recargas

Coef: coeficiente determinado mediante el modelo de Radio Frecuencia

En la categorización del modelo de acuerdo con el ráster obtenido la propuesta se describe en la Tabla 2, y la validación de los puntos en relación con el modelo de radiofrecuencia; fue constatada con 10 puntos del total de muestreo de la observación de campo. Se extrajo la información del mapa de recarga hídrica y se validó mediante la curva ROC, la cual determino la relación de los datos obtenidos con los datos que no se usaron para el mapeo como se ve en la Tabla 6 (Elmahdy y Mohamed, 2014).

Tabla 6. Categorización de la recarga hídrica

Recarga	Valor mínimo (ha)	Valor máximo (ha)
Bajo	37	284.73
Medio	284.73	532.47
Alto	532.47	780.203

3.2.5 Lineamientos para la conservación de zonas de recarga hídrica

La metodología considerada fue la de Luzardo y Villalva (2012), la cual consta de una evaluación tipo semáforo (verde, amarillo y rojo) que definió el grado de cumplimiento de cada ley y normativa referente a los recursos hídricos en el área de estudio, basada en la investigación obtenida en la fase 1 y fase 2 de manera descriptiva como matemática, la cual fue validada por medio de entrevistas a entes encargados de la gestión de recursos hídricos como se presenta en el Anexo 2, así definiendo lineamientos para la conservación de la zona de recarga hídrica. Para realizar esta evaluación se aplicó la pirámide de Kelsen, la cual determinó diferentes niveles de jerarquía normativa, que demostró la prioridad entre normas, que deben cumplirse, desde normas generales hacia normas específicas dentro de un territorio (Figura 4) (Galindo, 2018).

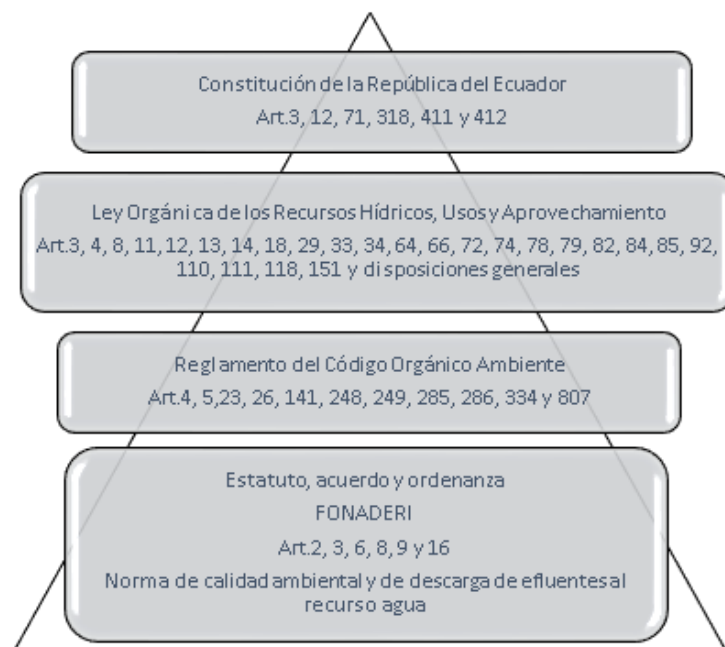


Figura 4. Pirámide de Kelsen con normas de recursos hídricos

La valoración para la metodología de semáforo de acuerdo con cada uno de sus colores fue:

- Rojo: Nivel de cumplimiento bajo.

- Amarillo: Nivel de cumplimiento medio.
- Verde: Nivel de cumplimiento alto.

3.3 Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron en el desarrollo de la investigación fueron clasificados como se ve en la Tabla 7.

Tabla 7. Lista de materiales

Materiales	Equipos
Software ArcGIS 10.4, con licencia educativa del Laboratorio de Geomática	Computador portátil (Acer A515-41G-17Y8)
Cartas topográficas digitales del IGM a escala 1:50 000	Navegador GPS GARMIN 64CSx
Datos de Estaciones Meteorológicas del INAMHI	Infiltrómetro Turf-Tec International
Libreta de campo	Cámara digital Impresora HP 1555 Transporte USB

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describen los resultados de las diferentes fases donde se demostró la caracterización de variables climatológicas y geológicas a fin de crear una sobreposición cartográfica para identificar las áreas de recarga hídrica y de esa manera proponer lineamientos de conservación.

4.1 Componentes geológicos

Se muestran los resultados de la caracterización de las variables en el Anexo 1, las cuales son: uso del suelo y cobertura vegetal, tipo de suelo, litología y pendiente del terreno.

4.1.1 Caracterización del uso del suelo

En la observación de campo se evidenció áreas afectadas por la actividad humana por uso de cultivos donde se destruyó y quemó la vegetación arbustiva de las zonas montañosas produciendo deslizamientos por falta de cobertura vegetal y la cadencia de agua, fue importante tomar en cuenta las condiciones de los ecosistemas para que se dé una recarga hídrica (Figura 5).



Figura 5. Zona montañosa “La Piedra”

La caracterización cartográfica del uso del suelo determinó cinco categorías: áreas de vegetación arbustiva, zonas de suburbanas, áreas erosionadas, cultivos y cuerpos de agua (Figura 6). La mayor extensión fue de 17 472.17 hectáreas correspondiente a vegetación arbustiva y con menor superficie 773.03 hectáreas que corresponde a cuerpos de agua.

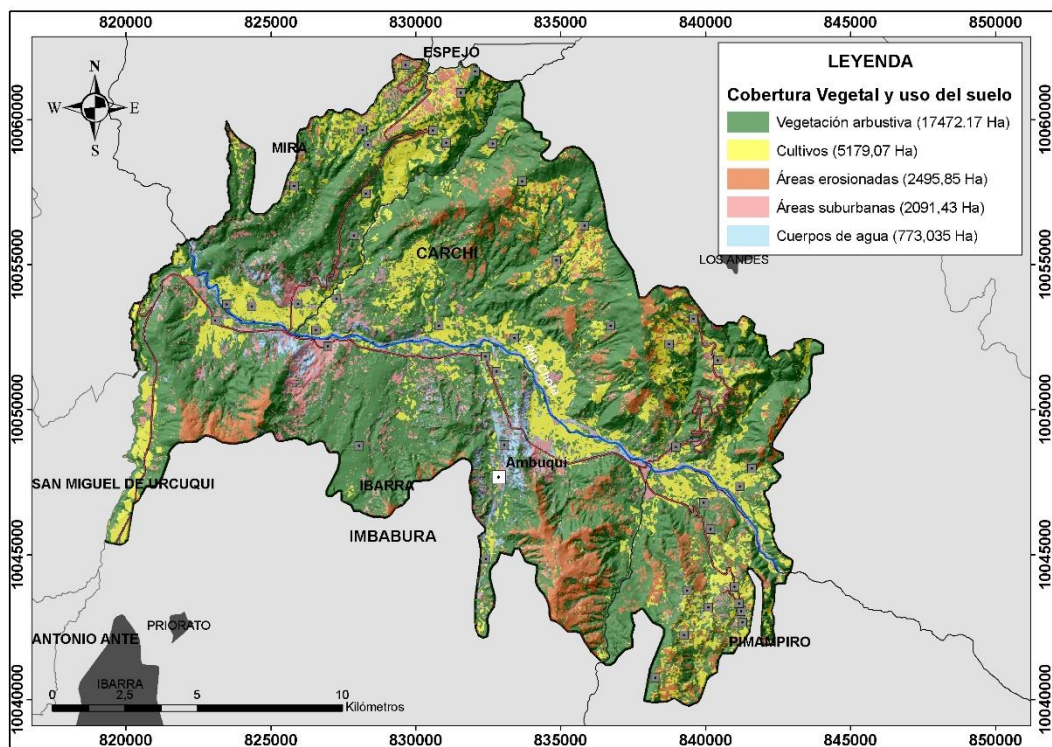


Figura 6. Uso y cobertura vegetal del suelo

Según Rajasekhar et al. (2021), para determinar que existe recarga hídrica se debe tomar en cuenta el uso de suelo de las áreas agrícolas, con asentamientos humanos, lomas, montículos, crestas, bosques de reserva y algunos terrenos baldíos. Dependiendo de las características del área de estudio se clasificó en grandes grupos a las variables como se muestra en la Figura 6, predominando la vegetación arbustiva en la zona media y alta y los cultivos en zona baja del área. A diferencia con el estudio de Aju et al. (2021), donde predominan las plantaciones agrícolas y el bosque siempre verde en las partes orientales. Anudando a esto Ashraf et al. (2022) menciona que el uso de la tierra es un factor importante porque tiene un impacto significativo en el ciclo hidrológico y los recursos hídricos y puede reducir la recarga hasta en un 38%, por otra parte, Liu et al. (2022) afirma que la restauración de la vegetación en las tierras arenosas semiáridas genera que la dinámica de la percolación profunda y su respuesta a los patrones de precipitación sea favorable en la recarga hídrica.

4.1.2 Caracterización del tipo de suelo

En el mapa de tipos de suelo se demostró que hay mayor área de Molisol con 19 516.6 hectáreas, relacionado con lo obtenido en el mapa de uso de suelo donde predominó la vegetación arbustiva en extensión de área y ubicación, por otro lado, Entisol se relacionó con los cultivos con su ubicación, esto se debió a que hay mayor fertilidad y existió sedimentación más rápida en este tipo de suelos, siendo más provechoso para las actividades agrícolas (Figura 7).

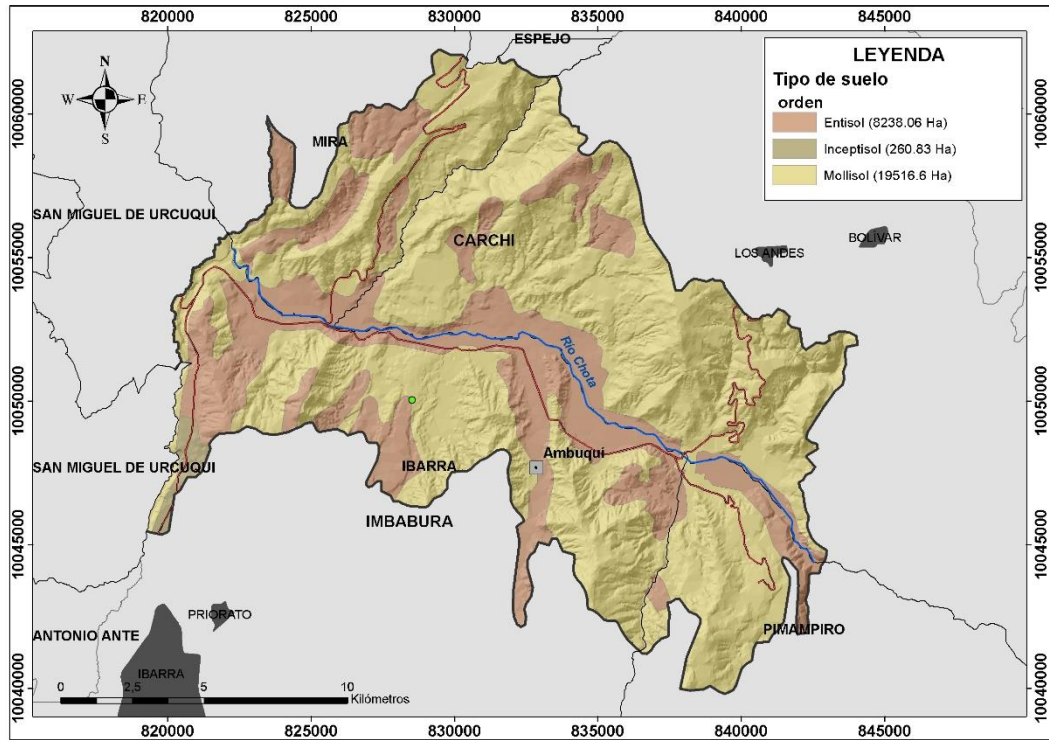


Figura 7. Tipos de suelo del área de estudio

Dentro del orden correspondiente a Entisol, Inceptisol y Mollisol se encuentran los subórdenes que se muestran en la Tabla 8 con su respectiva área.

Tabla 8. Suborden Entisol, Inceptisol y Mollisol

Orden	Suborden	Área (ha)
Entisol	Fluvent	887.25
	Orthent	3418.92
	Psamment	3931.88
Inceptisol	Andept	260.83
Mollisol	Ustoll	19 516.60

En los tipos de suelo se profundizó y se caracterizó la textura (Figura 8). Dentro del área de estudio se encuentran suelos con textura franco, franco arenoso y franco arcilloso y fueron las que más predominaron en el área, y se relacionan con suelos Entisoles y Mollisoles. De acuerdo con las texturas se dedujo que en este tipo de suelos se podría generar recarga hídrica por el tamaño de partículas, microporosidad

y macroporosidad como se muestra en el Anexo 1.2, los resultados de textura obtenidos.

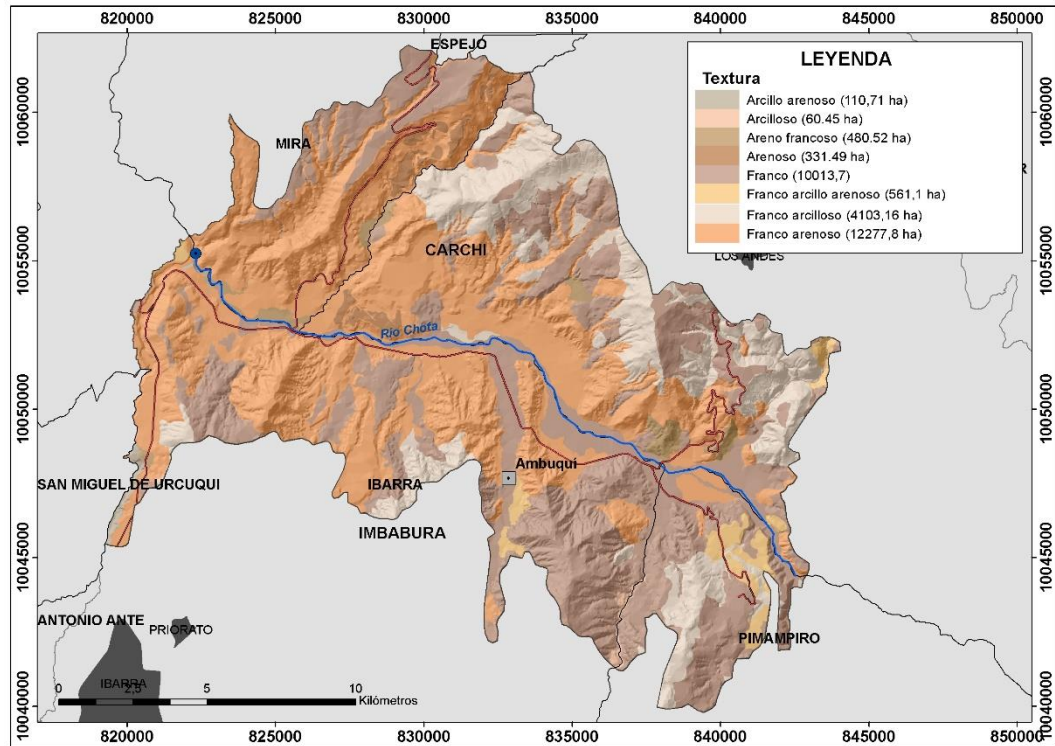


Figura 8. Textura del suelo

Las texturas dominantes del suelo de la cuenca del estudio de Nyembo et al. (2022), fueron limo 46%, franco arenoso 19%, franco arenoso 13.8% y arenoso 13.6%. El suelo limoso tiene una alta capacidad de retención de agua y porosidad, lo que hace que el área no sea muy propicia para la capacidad de recarga. De acuerdo con la Figura 8, la textura predominante fue franco, franco arenoso y franco arcilloso donde existió un 64.86% de arenas, 25.56% de limos, 9.55% de arcilla, por lo que se deduce que se generaría un bajo nivel de recarga hídrica con referencia al estudio antes mencionado. Dentro de la clasificación en la figura 7 se representa la clasificación del tipo de suelo el orden entisol, molisol y Inceptisol a diferencia del estudio de Lentswe y Molwalefhe (2020), se representan ocho tipos de suelos: arenosoles, calcisoles, cambisoles, leptosoles, lixisoles, luvisoles, regosoles y vertisoles.

4.1.3 Caracterización de la litología del suelo

En la litología fueron descritas cuatro categorías y se identificó que la mayor área fue ocupada por la categoría de depósitos coluviales – aluviales con un área de 19 605.69 ha, que hace referencia a las terrazas y orillas de los ríos tanto perenes como intermitentes que se encuentran ubicados al oeste del área de estudio. Seguida en menor cantidad por la categoría volcánica con 8121.11 hectáreas, son aquellas que llegaron al área por medio del arrastre de partículas que se formaron de la solidificación del magma volcánico. Las rocas intrusivas (granodiorita, diorita y granito), representaron una menor parte del área y sus propiedades físicas presentan porosidades finas que dificultan la filtración del agua y facilitan el flujo superficial. Por último, con un área de 270.95 hectáreas se presentó los Lahares producidos por la génesis del área (Figura 9). Litológicamente en esta área se puede producir una recarga superficial media.

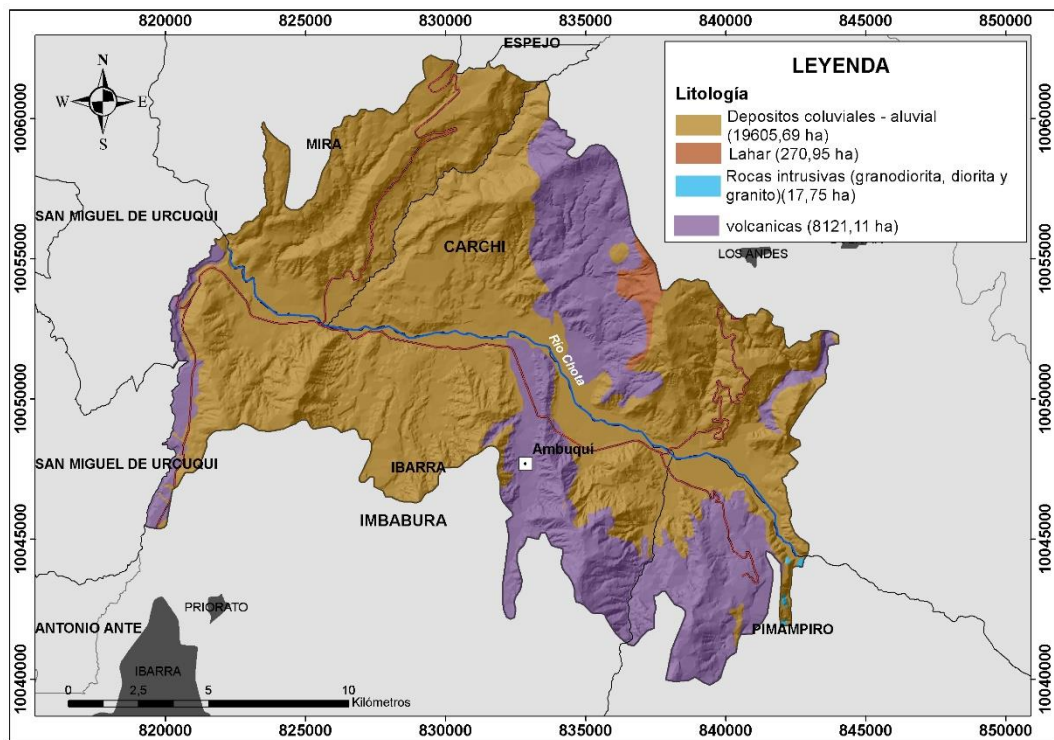


Figura 9. Litología del área de estudio

Según Githinji et al. (2022), determinaron seis formaciones litológicas en las cuales se deduce que la mayor cantidad de agua dulce se encuentra en los depósitos aluviales y coluviales con mayor permeabilidad mientras que, los flujos basálticos y piroclásticos tienen una permeabilidad secundaria moderada provocada por el fracturamiento. En la Figura 9. *Litología del área de estudio* y Tabla 9, se describen cuatro categorías de litología en las que se incluyó los depósitos aluviales y coluviales, deduciendo que en esta área existirá mayor cantidad de agua dulce y permeabilidad. En cuanto a lo mencionado por Lentswe y Molwalefhe (2020), la litología es la composición física de las rocas y los sedimentos e incluye la composición mineral, el tamaño del grano y el empaque del grano lo que permitió en su estudio el control de la recarga a través de la naturaleza de las rocas en los afloramientos y a través de la topografía.

Tabla 9. Categorías litológicas, formaciones y extractos geológicos

Litología	Formación	Descripción	Extractos Geológicos
	Te	-	NA
Depósitos coluviales y aluviales	Tch	Grupo Chota	Terciario
	Dc	-	NA
	Qpr	-	NA
	Ti	-	NA
Lahar	Da	Depósitos Aluviales	NA
	Lh	Lahar	NA
Rocas intrusivas (Granodiorita, diorita y granito)	Gd	Gronodiorita	NA
Volcánicas	Pcq	Volcanes de Chuquirahuas	Cuaternario
	PZA	Formación Ambuqui	Paleozoico
	Qs	-	NA
	PIAn	Volcanes de Angochahua	Terciario
	PI-Pr	Volcanes de Yanahurco	Terciario

4.1.4 Caracterización de la pendiente de terreno

La pendiente se categoriza en cuatro niveles representados en la Figura 10, donde se indica que la pendiente débil, plano o casi plano $<5^\circ$, tiene una superficie de 7022.4 ha, el 25 % del área total, se encontró a lo largo del río, cubriendo la mayor parte del valle. Lo cual indicó que este tipo de pendientes son más aptas para generar recarga hídrica y usualmente es donde la gente realiza labores agropecuarias por las características de pendiente. El relieve inclinado regular y moderadamente ondulado corresponde a pendientes ($5^\circ - 25^\circ$), ocupó la mayor extensión con 16 302.20 hectáreas con el 58% del área total. Estas zonas son más efectivas para generar recarga hídrica mientras la cobertura vegetal vaya en aumento. Las pendientes fuertes colinado de $25^\circ - 50^\circ$ son pendientes que se encontraron en la parte más alta de las montañas, ocuparon el 15.4% de toda el área en total mientras que las pendientes muy fuertes, escarpadas y montañosas ($>50^\circ$) sólo tienen el 1.2% del área total y se encuentran ubicadas al Este del área de estudio. Para que se presente recarga hídrica con las características de pendiente mencionadas tiene que haber cobertura vegetal, por el contrario, si existe áreas erosionadas hay la posibilidad que exista deslizamientos y pérdida del recurso hídrico en el suelo.

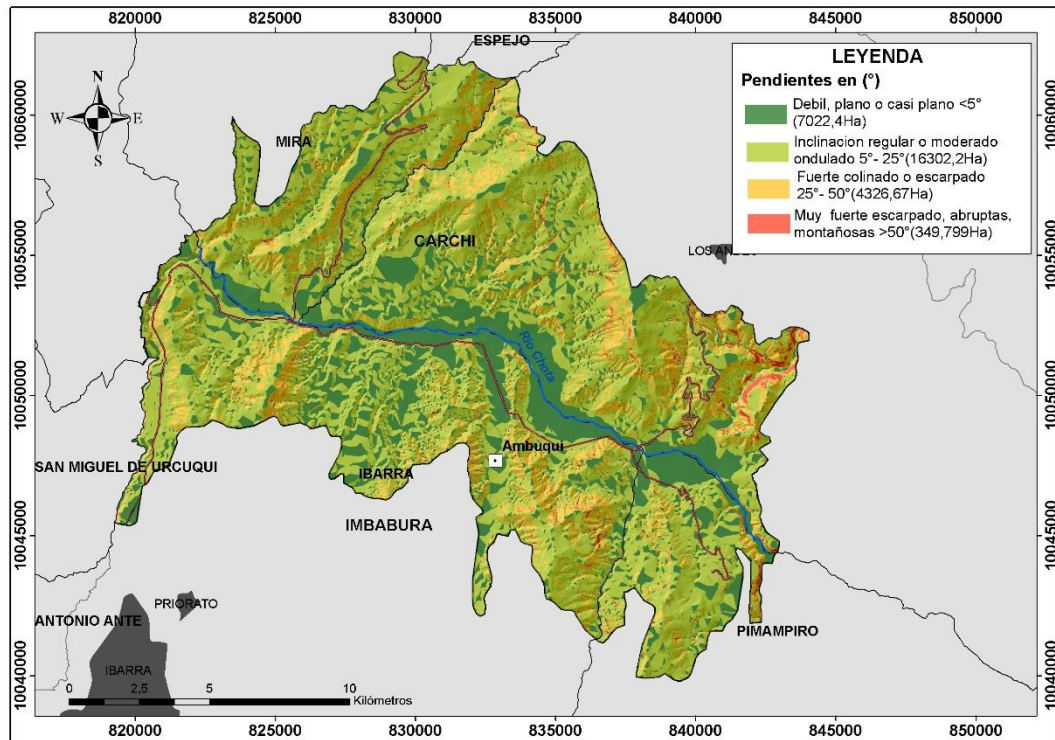


Figura 10. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno indica la dirección de flujo y de acuerdo con Vishwakarma et al. (2021), la considera en su estudio para la identificación de zonas de recarga hídrica, porque representa el patrón que determina el flujo de agua subterránea y la velocidad superficial. De acuerdo con Hagos y Andualem (2021), se clasificó a la pendiente en cinco clases, determinado que la mayor parte del área se encontraba en el rango de pendiente de 3.98 a 8.47 grados que cubría 387.97 km² del área total. La Figura 10, muestra la clasificación de la pendiente en cuatro clases. El relieve inclinado regular y moderadamente ondulado ocupó la mayor extensión con el 58% del área total.

4.2 Componentes climatológicos

4.2.1 Balance climático

Los datos del INAMHI (precipitación y temperatura) dieron como resultado el diagrama ombrotérmico con la variación de la precipitación y temperatura, donde

se determinó que los meses de abril y mayo son los meses con mayor precipitación a una temperatura de 17 °C, seguido de los meses de octubre, noviembre y diciembre donde la temperatura disminuyó a 16 °C siendo favorable para el almacenamiento de agua. La época seca corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre con temperaturas de 17 °C (Figura 11. *Variación de precipitación en el periodo de 21 años*).

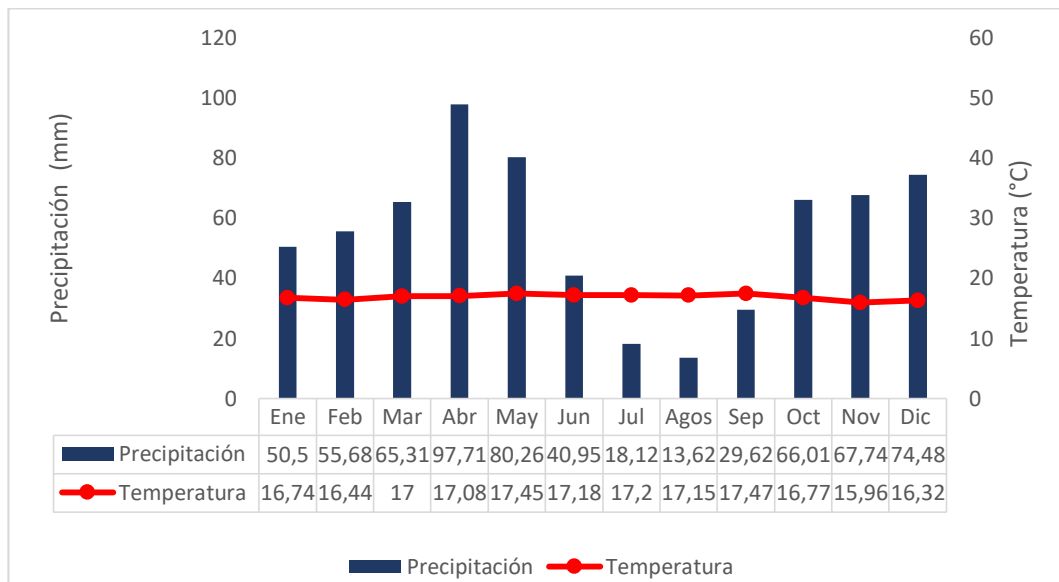


Figura 11. Variación de precipitación en el periodo de 21 años

La lluvia media anual es de 660.01 mm/año, la temperatura media anual de 17.99 °C, y se obtuvo una evapotranspiración media anual de 997.12 mm/año. El balance climático (BC) en el área tuvo una pérdida de 240.13 mm/año, excede a la cantidad de agua que está disponible en la zona de investigación, de igual forma se generó un mapa con respecto a su distribución (Figura 12), donde se observa que existe mayor evapotranspiración del agua en el valle siguiendo el transcurso del río en dirección Noreste.

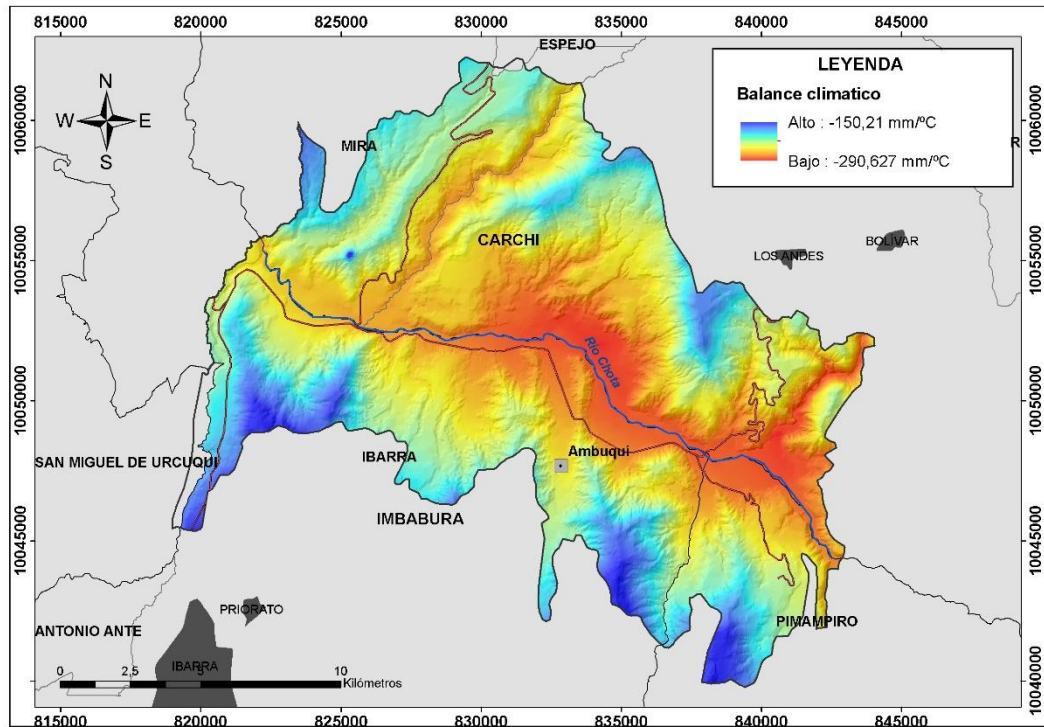


Figura 12. Distribución del balance climático del área de estudio

En el estudio de Hagos y Anduaem (2021), una de las principales fuentes de recarga fue la lluvia, contribuyendo a su desarrollo de manera natural. La precipitación media anual en la subcuenca oscila entre 1242 mm y 1315 mm. La lluvia de baja intensidad y larga duración tuvo una tasa de recarga de agua subterránea más alta que la escorrentía. Según los resultados sobre la precipitación en la cuenca del río Chota, se obtuvo una media anual de 997.12 mm/año, una temperatura media anual de 17.99 °C y balance climático con pérdida del recurso de 240.13 mm/año, lo que indica que es muy baja la probabilidad de recarga hídrica en la zona.

El balance hídrico estacional en el marco de Budyko mostró condiciones severas de limitación de agua en distintos ecosistemas los cuales están limitados con la evotranspiración y la precipitación en diferentes épocas del año y la eficiencia de infiltración del agua en distintos meses del año (Valayamkunnath et al., 2019). En la Figura 11, se describe la variación anual de precipitación y temperatura en relación con estudio antes mencionado el aprovechamiento del recurso hídrico para

las zonas de vegetación arbustivas es en la época de abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, aunque dentro del área se genera pérdida del recurso hídrico es indispensable conocer la distribución del balance climático. En ese mismo contexto los resultados de Liu et al. (2021) mostraron que la cantidad y la duración de la precipitación fueron los factores más críticos que afectaron recarga hídrica y depende de la restauración de vegetación estabilizadora de arena para reducir equilibrar la recarga hídrica. Por tal motivo es indispensable manejar dentro del área el aprovechamiento dentro de la época de lluvia para mantener la recarga hídrica estable.

4.3 Zonas potenciales de recarga hídrica

Los resultados obtenidos de la combinación de variables: cobertura vegetal, litología, tipo de suelo y pendiente, generaron 71 combinaciones distribuidas en toda el área, de las que se elaboró un mapa representando las distribuciones de los puntos de muestreo (Figura 13), el código de cada punto se observa en la Tabla de combinaciones del Anexo 1.1.

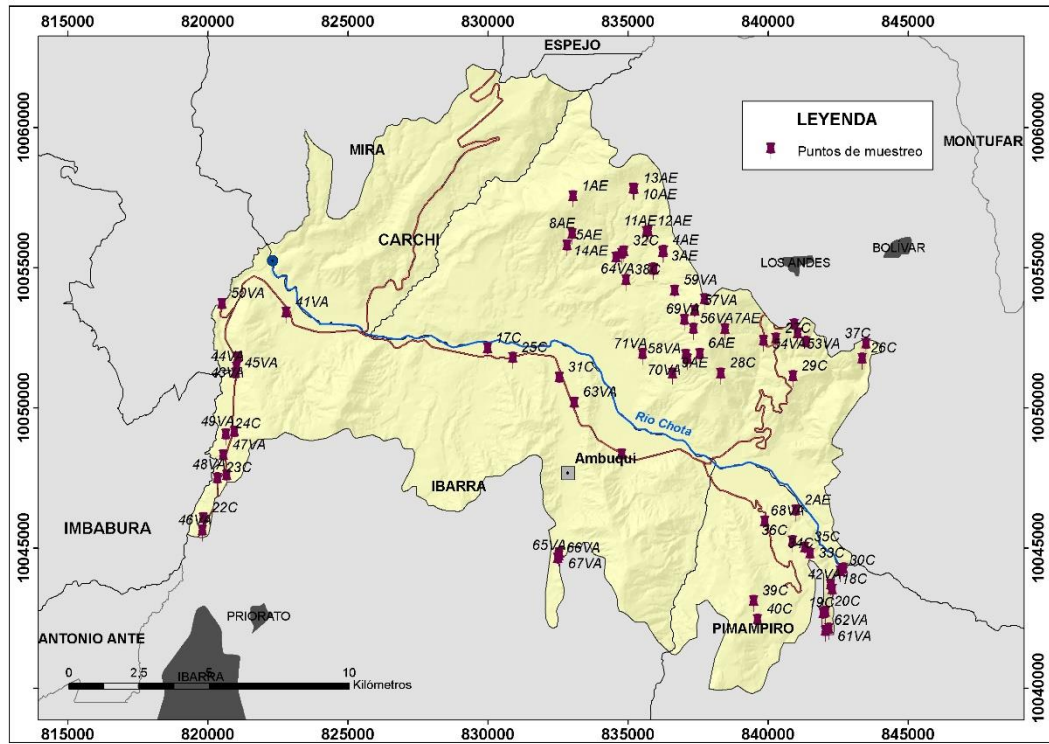


Figura 13. Puntos de muestreo

El resultado de la prueba de Kruskal Wallis fue estadísticamente significativo ($p < 0.0002$), aceptando la hipótesis alternativa, donde la pendiente del terreno, litología, cobertura vegetal, tipo de suelo y clima se asocian a la recarga hídrica de zonas semiáridas de la cuenca del río Chota. Se obtuvieron 36 puntos con mayor nivel de significancia mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis

Código	Media (mm)	D.E (mm)	Mediana (mm)	Rank		p=0,0002
31C	10.67	4.93	13	15.83	A	
6AE	13.33	5.51	13	23.67	AB	
64VA	13.67	8.74	16	29.17	ABC	
17C	15.67	7,02	15	33.67	ABCD	
32C	17	8.54	16	41.67	ABCDE	
61VA	17.67	10.12	23	48	ABCDE	
35C	19.67	16.77	11	48.5	ABCDEF	
2AE	20.33	9.07	19	52.17	ABCDEF	
14AE	20.67	4.51	21	54.5	ABCDEFG	

39C	20.67	3.51	21	54.5	ABCDEFGF
22C	21	5	21	56.5	ABCDEFGGH
71VA	23.33	16.65	18	61.33	ABCDEFGGH
19C	23	12	23	64	ABCDEFGGHI
70VA	23.33	8.74	21	64.33	ABCDEFGGHI
15AE	24	13.11	22	65.5	ABCDEFGGHI
5AE	24.33	25.11	18	65.67	ABCDEFGGHI
37C	24.33	10.41	21	67	ABCDEFGGHIJ
8AE	26.33	18.01	18	69.33	ABCDEFGGHIJK
30C	23.67	10.69	26	69.5	ABCDEFGGHIJK
25C	24.33	8.5	24	71	ABCDEFGGHIJK
27C	23.67	17.21	31	72.33	ABCDEFGGHIJKL
53VA	27.33	17.39	21	73.33	ABCDEFGGHIJKLM
23C	27.33	12.86	22	77.5	ABCDEFGGHIJKLMN
63VA	26	7.55	25	78.17	ABCDEFGGHIJKLMN
28C	33.67	27.21	20	84.5	ABCDEFGGHIJKLMNO
38C	29.33	17.24	26	84.67	ABCDEFGGHIJKLMNO
16AE	28.67	10.07	30	85.83	ABCDEFGGHIJKLMNO
21C	30	12.12	23	89.33	ABCDEFGGHIJKLMNOP
34C	30.33	10.07	29	91.5	ABCDEFGGHIJKLMNOP
55VA	41.67	45	23	92.17	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
65VA	31	13	24	93.33	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
60VA	31.67	14.5	32	94	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
52VA	29.67	4.04	32	95.17	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
59VA	31	9.85	28	96.17	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
56VA	38.33	32.75	28	97.5	ABCDEFGGHIJKLMNOPQ
**18C	45.33	47.72	24	99.33	ABCDEFGGHIJKLMNOPQR
**20C	32.33	9.07	36	100	ABCDEFGGHIJKLMNOPQR
*47VA	34.33	15.5	28	103.8	ABCDEFGGHIJKLMNOPQR
**7AE	38	23.81	29	105	ABCDEFGGHIJKLMNOPQR
**41VA	40	26.06	42	108.6	ABCDEFGGHIJKLMNOPQR
**49VA	39.67	19.66	32	117.33	BCDEFGGHIJKLMNOPQR
**40C	37.33	9.07	41	117.33	BCDEFGGHIJKLMNOPQR
**68VA	39	15.1	37	119.67	BCDEFGGHIJKLMNOPQR
**66VA	38.33	4.04	39	122.5	CDEFGGHIJKLMNOPQR
**58VA	44	26.96	31	123	CDEFGGHIJKLMNOPQR
*67VA	50.33	32.96	44	128.33	DEFGGHIJKLMNOPQR
*1AE	46.67	28.94	32	128.83	DEFGGHIJKLMNOPQR

**69VA	41.33	8.74	39	129.5	DEFGHIJKLMNOPQR
**29C	56.33	42.55	54	131.67	DEFGHIJKLMNOPQR
*36C	48	23.58	54	132.5	EFGHIJKLMNOPQR
**24C	43.67	11.68	46	133	EFGHIJKLMNOPQR
*48VA	54	33.87	65	133.33	EFGHIJKLMNOPQR
**26C	49	23.52	50	137.17	EFGHIJKLMNOPQR
**57VA	45.67	13.05	50	137.33	EFGHIJKLMNOPQR
**50VA	56.33	32.13	53	146.83	FGHIJKLMNOPQR
**51VA	53	13.08	59	152.5	GHIJKLMNOPQR
**3AE	60.67	35.23	50	154.17	HIJKLMNOPQR
**33C	63.67	32.59	54	162.33	IJKLMNOPQR
**62VA	64.33	30.92	48	164,5	JKLMNOPQR
**54VA	60	9.17	62	166.17	KLMNOPQR
*46VA	67.67	29.69	75	167.17	KLMNOPQR
*44VA	67	29.1	56	170.33	LMNOPQR
*13VA	63.33	10.6	65	171	MNOPQR
**45VA	73.33	29.91	79	176	NOPQR
**AE	71	19.08	61	178.83	OPQR
*9AE	73	25.24	69	179.83	OPQR
**42VA	73	16.09	71	182	OPQR
*12AE	76	26.23	80	182.5	OPQR
*4AE	75	13.08	69	185.5	PQR
**10AE	78	3.46	76	190.67	QR
**43VA	87.67	9.07	89	197	R

(*) 30% conjunto de datos considerados para la validación del método.

(**) conjunto de datos para realizar el método de radio frecuencia

Los 25 puntos de muestreo generados de manera aleatoria correspondieron al 70% de los datos más representativos. En la Tabla 11, se describe los resultados de los cálculos de radio frecuencia donde se tomaron valores a partir de la extracción de los puntos de muestreo con relación a cada variable y al área de cada categoría.

Tabla 11. Resultados de cálculos de radio frecuencia

Factor	Categoría	Nº Puntos	% Puntos	Área Categoría	% Área	Radio	Rf
Cobertura vegetal	Vegetación arbustiva	129 600	64	21 405	61.8	1.03	0.28
	Cultivos	48 600	24	6440		1.28	0.35

					18.6		
	Áreas erosionadas	24 300	12	3135	9.06	1.32	0.36
	Cuerpos de agua	0	0	976	2.82	0.00	0.00
	Áreas suburbanas	0	0	2636	7.62	0.00	0.00
	Suma	202 500	100	34 592	100	3.64	1.00
Pendiente del terreno	Débil, plano o casi plano <5°	32 400	16	8671	25.0	0.63	0.05
	Inclinación regular o moderado	113 400	56	20 119	58.1	0.96	0.08
	ondulado 5° - 25°						
	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	32 400	16	5350	15.4	1.03	0.08
	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañosas >50°	24 300	12	442	1.27	9.38	0.78
	Suma	202 500	100	34 582	100	12.02	1.00
Tipo de suelo	Entisol	72 900	36	10 174	4.4	8.13	0.54
	Inceptisol	16 200	8	2903	1.26	6.33	0.42
	Molisol	113 400	56	21 686	94.3	0.59	0.03
	Suma	202 500	100	22 994	100	15.06	1.000
Litología	Volcánicas	89 100	44	10 035	29.0	1.52	0.15
	Depósitos coluviales – aluvial	97 200	48	24 208	69.9	0.69	0.07
	Lahar	16 200	8	341	0.99	8.12	0.79
	Rocas intrusivas (granodiorita, diorita y granito)	0	0	22	0.06	0.00	0.00
	Suma	202 500	100	34 606	100	10.3	1.00

Con los datos anteriores se extrajo el valor de radiofrecuencia para cada variable, en la Tabla 12, se detalla el valor máximo y mínimo de la radio frecuencia de cada categoría, y el valor predictor empleado para cada variable.

Tabla 12. Resultados de probabilidad

Factor	Mínimo RF	Máximo RF	Máximo - Mínimo	Mínimo total	PR
Cobertura vegetal	0.00	0.36	0.36		1
Pendiente del terreno	0.05	0.78	0.72	0.36	2.00
Tipo de suelo	0.03	0,54	0.50		1.37
Litología	0.00	0.78	0.78		2.16

Los resultados de la factorial para cada variable se describen en la Tabla 13, contiene la suma de las variables, la factorial, *pairwise* (por pares) y el valor de multicriterio de cada variable.

Tabla 13. Resultado de factorial para cada variable

Predictor	Suma variables	Factorial	Pairwise	Multicriterio
Cobertura vegetal	1.22	0.31	2.00	0.31
Pendiente del terreno	0.61	0.15	1.00	0.15
Tipo de suelo	0.84	0.21	1.38	0.21
Litología	1.32	0.33	2.17	0.33

Después de obtener el valor multicriterio la fórmula resultante fue la siguiente:

$$ZR = 0.15 (\text{uso de suelo}) + 0.31 (\text{pendientes}) + 0.21 (\text{tipo de suelo}) + 0.33(\text{geología})$$

Se obtuvo tres categorías de áreas de recarga hídrica, la mayor parte del territorio se encuentra con potencial bajo (Figura 14). En el área no se estableció recarga alta por las condiciones climáticas, por lo tanto, existe recarga media de 320.61

hectáreas. Se caracteriza por tener cobertura vegetal arbustiva, suelo Mollisol, un relieve de inclinación débil, plano o casi plano menores a 5 grados en mayor área y en menor área de inclinación regular o moderada y fuerte colinado o escarpado de pendiente y litología lahar y volcánica.

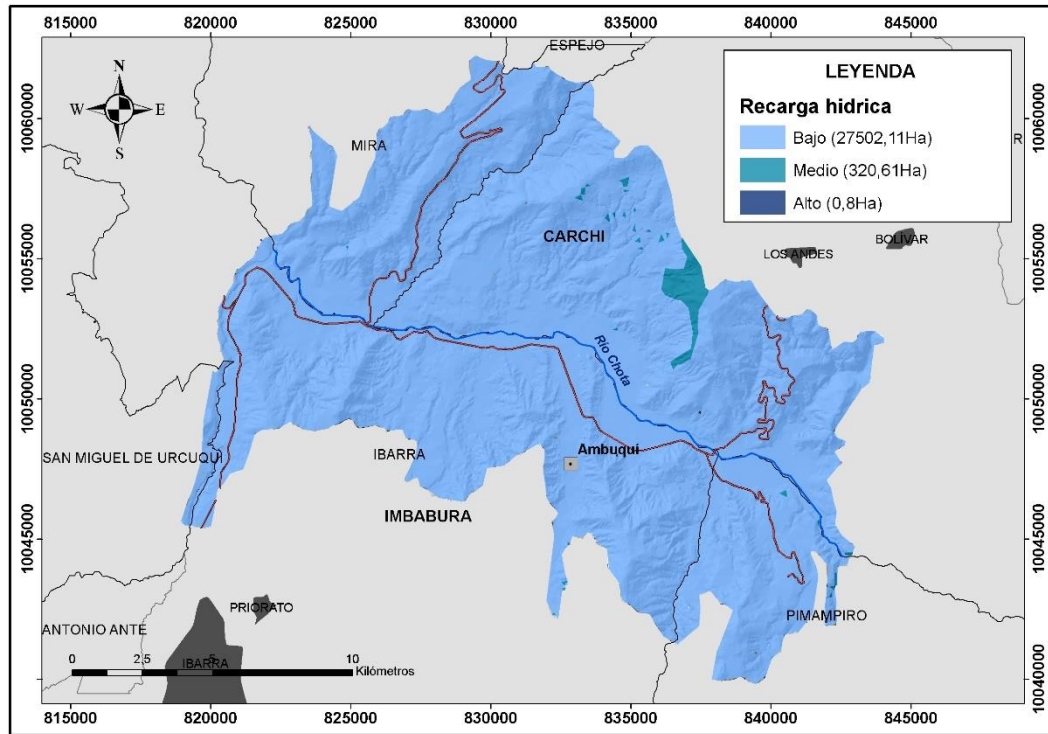


Figura 14. Zonas con potencial de recarga hídrica

Los resultados del método de radio frecuencia fue validado por el análisis de la curva ROC, los resultados muestran en la Tabla 14, una estadística descriptiva de la variable de recarga. Obteniendo una descripción del 90% con recarga hídrica baja y 10% con recarga hídrica media y alta. Los datos estadísticos descriptivos de la variable de recarga hídrica fueron 10 muestras de observaciones tomadas en campo.

Tabla 14. Estadísticos descriptivos

Evento	Frecuencia	%
-	9	90
+	1	10
Prevalencia	0,100	10

La curva ROC dio como resultado un AUC de 0.889 demostrando que el método fue validado. Se consideró una desviación típica de 0.270, un intervalo de confianza de 95%, lo que determinó que el AUC es diferente a 0.5 como se observa en la (Figura 15).

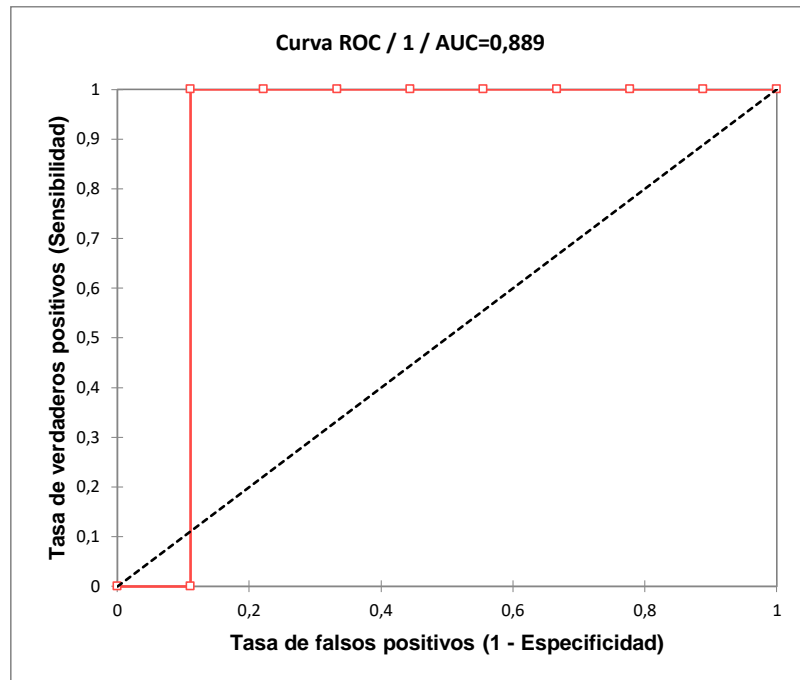


Figura 15. Curva ROC

El área de estudio se caracteriza por ser una zona semiárida, por lo cual, para cada variable se determinó un factor de relación a diferencia del estudio de Guru et al. (2017), el cual no solo se consideró las variables de uso y la cobertura del suelo, litología, pendiente y geología, sino también la densidad de lineamientos, la densidad del drenaje, la ubicación de los pozos de manantial y el nivel del agua subterránea, con el que se obtiene el mapa de zona potencial de agua, las tasas de éxito y predicción del modelo de radio frecuencia que obtuvo fueron de 81.25% y 77.23%, mientras que en el río Chota el éxito del modelo de radio frecuencia fue de 88,6% con respecto a la caracterización de las zonas de recarga hídrica (Figura 14). Tomando en cuenta lo que dijo Adiat et al. (2012), los resultados del examen del efecto de la coherencia de los criterios revelaron que la capacidad del método para producir predicciones precisas depende de la exhaustividad del conjunto de criterios

usados. Por lo tanto, se puede inferir que en el estudio de la cuenca del río Chota se determinó el modelo de radiofrecuencia para cada categoría de las diferentes variables, con la finalidad de utilizar coeficientes adecuados para la zona de estudio. Tomando en cuenta las condiciones semiáridas del lugar.

En la identificación de las áreas de recarga se obtuvo la recarga hídrica mediante parámetros físicos y biofísicos del suelo, lo que determinó que existe bajo potencial de recarga hídrica de acuerdo con el balance climático (Figura 12). Esto se debe a las características climáticas seco, semiárido y desértico que posee esta área y por su ubicación donde la precipitación es escasa con temperaturas altas característico de los valles ecuatorianos por la radiación solar directa recibida (Ministerio del Ambiente, 2013). A diferencia del estudio Saiz et al. (2019) donde los resultados obtenidos mostraron que el 64% del área presenta un potencial de recarga alto y muy alto, respectivamente en una zona semiárida del Valle de Guadalupe México.

4.4 Gestión de lineamientos para la conservación de las zonas de recarga hídrica

En la conservación del recurso agua existen zonas donde el agua se infiltra a través del suelo generando recarga hídrica, la cual es favorable para la agricultura, la industria y su potabilización. El potencial de la zona de recarga hídrica en la cuenca del río Chota es bajo con 0.8 hectáreas de terreno. Se caracteriza por estar cubierta de vegetación arbustiva, cultivos de corta duración y árboles frutales, zonas erosionadas, suburbios y depósitos aluviales y coluviales, también tienen pendientes planas, inclinadas, fuertes y empinada con alta capacidad de infiltración. Por esta razón, esta área de recarga debe considerarse prioritaria porque su potencial puede incrementarse si se llevan a cabo actividades de conservación, protección y restauración, pero si no se toman las medidas adecuadas de manejo del suelo, este potencial puede reducirse.

Para la conservación de la recarga hídrica se planteó lineamientos de acuerdo con la evaluación tipo semáforo de los Artículos relacionados con el cumplimiento de conservación de recursos naturales renovables y datos recolectados por medio de entrevistas a 4 personas representantes de Junta Parroquial y Junta de Riego de San Vicente de Pusir, EcoRed y SENAGUA Imbabura, de manera que se recolecto información sobre planificación, regulación, conservación y seguimiento en el uso del recurso hídrico en la cuenca del río Chota.

4.4.1 Calificación del método semáforo

De acuerdo con las entrevistas aplicadas (Anexo 2.1) y los resultados obtenidos en las Fases 1 y 2 se obtuvo como resultado los datos de la Tabla 15, para el Artículo 71 y 411 de la Constitución de la República del Ecuador mediante la calificación de semáforo rojo. Según las entrevistas realizadas se dedujo que no se cumple la Ley en su totalidad, porque dentro del territorio no existe una cooperación de todas las partes y en las entidades competentes tampoco se ha realizado proyectos o trabajos relacionados con la recarga hídrica como mencionó SA: *“No existe algo puntual en el entorno del río Chota”*.

Tabla 15. Calificación semáforo de la Constitución de la República del Ecuador

Norma	Artículo	Evaluación semáforo		
		Verde	Amarillo	Rojo
Constitución de la República del Ecuador	Art.3	1	x	
	Art.12		x	
	Art.71			x
	Art. 318		x	
	Art. 411			x
	Art.412		x	

La calificación amarilla en la Tabla 16 fue porque la ejecución de proyectos aún no está cumpliendo con lo estipulado en los reglamentos, ya que existen trabajos que recién se los están ejecutando como el mencionado por ER: *“Acompañamiento en*

la creación del reporte Mira-Mataje, trabajo con jóvenes mediante capacitaciones y escuela, creación de clubs ecológicos Chota con indicadores de 5 especies endémicas de aves, proyecto de ACUS, proyecto hombre naturaleza, big mama oso andino fuentes para el oso andino y oso andino especie paraguas’’.

Tabla 16. Calificación semáforo al reglamento del código orgánico del ambiente

Norma	Artículo	Evaluación semáforo			
		Verde	Amarillo	Rojo	
Reglamento del código orgánico del ambiente	Art.4	c)		x	
		g)		x	
		l)		x	
	Art. 5	a)	x		
		b)		x	
		c)		x	
		d)		x	
		l)		x	
	Art. 23			x	
	Art. 26			x	
	Art. 141			x	
	Art. 248			x	
	Art. 249	a)		x	
		b)		x	
		c)	x		
		d)		x	
	Art. 286	b)	x		
	Art, 334	a)		x	
		b)		x	
		c)		x	
d)		x			
e)		x			
Art. 807			x		

Según la calificación de la Tabla 17, la Ley no se cumplió a cabalidad, por esa razón se dio la calificación amarilla y una roja a los Artículos mencionados por esta ley. El motivo de esta calificación se la dedujo por lo mencionado por SA: “sobre el

trabajo específico del río Chota, no se presentan labores puntuales, pero si existen programas que se enfocan en la cuenca alta de varios sitios de Imbabura y que benefician a las zonas de recarga hídrica y páramos, como nuevas figuras de protección hídrica”, indicando que a pesar de desarrollarse proyectos en pro de la conservación no se enfoca en la conservación de la recarga hídrica como tal, sino en la conservación de los recurso hídricos en varios sectores aledaños a la cuenca del río, siendo un proceso que beneficiara a esta área.

Tabla 17. Calificación semáforo a la ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamientos

Norma	Artículo	Evaluación semáforo		
		Verde	Amarillo	Rojo
	art.3		x	
	art. 4		x	
		b)		
		c)	x	
		d)	x	
		e)	x	
		f)	x	
		g)		x
		h)	x	
	art. 8		x	
	art. 11			x
	art. 12		x	
	art. 13		x	
	art. 14		x	
	art. 18	a)	x	
		b)		x
		c)		x
		d)		x
		e)		x
		f)	x	
		g)	x	
		h)	x	
		i)	x	
		j)	x	
		k)	x	
		l)	x	
		m)	x	
		n)		x
		o)		x
		p)		x
		r)		x
		t)		x
	art. 29	1. a)		x
		b)		x
		c)		x
		d)		x
		2. a)		x
		b)	x	
		c)		x

	d)	x	
	e)		x
art. 33			x
art. 34		x	
art. 64	a)		x
	b)		x
	c)		x
	d)		x
	e)		x
art.66			x
art. 72			x
art. 74		x	
art. 78			x
art. 79	a)	x	
	b)		x
	c)		x
	d)		x
	e)		x
	f)		x
	g)		x
art. 82		x	
art. 84	a)	x	
	b)		x
	c)		x
	d)		x
	e)		x
	f)		x
	g)		x
	h)		x
	i)		x
art.85		x	
art. 92		x	
art. 110		x	
art. 111			x
art. 118			x
art.151	a)		x
	b)	x	
	c)	x	
disposiciones generales	4	x	

Según la Tabla 18, la calificación mayoritaria fue de color amarillo mostrando falencias dentro de su cumplimiento porque no se realizó un seguimiento de todas las entidades sobre lo estipulado por los proyectos mencionados por ER: *“Acompañamiento en la creación del reporte Mira-Mataje, trabajo con jóvenes mediante capacitaciones y escuela, creación de clubs ecológicos Chota con indicadores de 5 especies endémicas de aves, proyecto de ACUS, proyecto hombre naturaleza, big mama oso andino fuentes para el oso andino y oso andino especie paraguas”*. Las comunidades no cumplen a cabalidad con el trabajo que se debió realizar para conservar el recurso hídrico, aunque se dieron trabajos como los

descritos por JP: “Trabaja anualmente en capacitaciones sobre cultivos frutales de mango, aguacate y limón que son los más comunes en coordinación MAG” y JR: “Proyecto de riego tecnificado”.

Tabla 18. Calificación semáforo de FONADERI

Norma	Artículo	Evaluación semáforo		
		Verde	Amarillo	Rojo
Ordenanza para la creación del "fondo de agua y desarrollo responsable de la provincia de Imbabura" (FONADERI)"	Art.2	1	x	
		2	x	
	Art. 3			x
	Art.6	3		x
		4.a)		x
		b)		x
		c)		x
		e)		x
		g)		x
		h)		x
		i)		x
		j)		x
		Art.8		x
	Art.9	b)		x
	Art. 16			x

De acuerdo con la Tabla 19, se califica de amarillo porque no existe dentro del área un proyecto que avale el cumplimiento de la norma de conservación dentro del lugar ya que según SA: “De manera específica, no se cuenta con un proceso explícito de verificación, sin embargo, como cartera de estado y estar sujetas a controlar a las juntas de agua de consumo y riego, se solicita a los beneficiarios de las autorizaciones de uso, ser corresponsables de la limpieza de sus fuentes y canales, así como generar mingas de limpieza y cuidado”.

Tabla 19. Calificación semáforo a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua

Norma	Artículo	Evaluación semáforo		
		Verde	Amarillo	Rojo
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua	1 objetivos			
	5		x	
	a)	x		
	b)		x	
	c)	x		
	d)	x		
e)	x			

f)	x
g)	x
h)	x
i)	x

4.4.2 Propuesta de conservación

La regulación de zonas de protección de recarga hídrica está encaminada a involucrar a las autoridades para realizar lineamientos que conserven y protejan estas áreas, a partir de la información obtenida, los problemas y características permitieron proponer lineamientos, enfocados en el manejo, protección y conservación de agua subterránea.

La problemática sobre el cambio y uso de suelo en las zonas con potencial hídrico se ha visto afectado por las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan en el área, por esta razón, se propone que las zonas de protección deberían estar reguladas bajo:

1. Gestión de zonas de recarga hídrica
2. Regulación de ecosistemas con potencial de recarga hídrica.
3. Conservación, protección y restauración de zonas de recarga hídrica
4. Seguimiento y control de actividades en zonas de recarga hídrica.

El sistema estipula qué medidas se deben aplicar para lograr los objetivos especificados en las directrices para el mantenimiento y la gestión del área de suministro como se observa en la Tabla 20. Por una parte, en el campo del derecho, las leyes de apoyo estipulan la autoridad y los atributos para la gestión y ejecución de acciones de protección y conservación, las mismas que fortalecen las capacidades técnicas de los integrantes del comité de aguas y su posicionamiento.

Tabla 20. Lineamientos de conservación

Lineamiento	Descripción	Responsable	
Gestión del recurso hídrico	1.1. Protección de zonas de recarga hídrica, mediante el manejo sustentable.	a) Trabajo cooperativo para garantizar la estabilidad de las zonas de recarga hídrica.	
	1.2. La responsabilidad de la gestión de zonas de recarga hídrica es deber comunitario y público.	b) Implementar una gestión integral, integrada y participativa referente a la protección de las zonas de recarga hídrica.	Ministerio del Ambiente y Agua: Gobierno Nacional · Gobierno Provincial · Gobiernos Locales ·
	1.3. Acciones para la protección de recarga hídrica y su ecosistema.	a) Establecer liderazgo e implementar políticas públicas relacionadas con las zonas con potencial de recarga hídrica.	Centros de Educación Superior (GADs) · Organismos No Gubernamentales (ONG)
	b) Asegurar la protección, conservación, manejo integrado y aprovechamiento sustentable de las reservas de aguas superficiales y subterráneas.	· Junta Parroquia· Junta de Aguas · Dirigentes comunales	
	c) Coordinar con la autoridad ambiental nacional y la comunidad para acciones de conservación de fuentes de recarga hídrica		

d) Elaborar el plan de manejo de conservación de recarga hídrica y los subplanes para conservación de su ecosistema.

e) Asegurar la protección y el mantenimiento general de las fuentes de agua o áreas que ayudan con la recarga hídrica.

f) Sensibilizar a los usuarios, pobladores y consumidores sobre la importancia de la conservación de ecosistemas de zonas de recarga hídrica.

g) Fomentar un trabajo articulado con la academia.

1.4. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad puede exigir que la autoridad observe los derechos naturales de los ecosistemas de las zonas de recarga hídrica, respete plenamente su estructura, función y proceso regenerativo.

1.5. Gestionar para promover alianzas interinstitucionales que aseguren la conservación, protección, restauración, uso y aprovechamiento sostenible de las zonas de recarga hídrica.

2.1. Revisar toda información y estudios referentes a zonas con potencial de recarga hídrica.

Regulación de ecosistemas con potencial de recarga hídrica	<p>2.2. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.</p> <p>2.3. Se regulará el uso de los ecosistemas de recarga hídrica según su mantenimiento y regeneración de las funciones ecológicas y ciclos vitales de la naturaleza.</p> <p>2.4. Establecer y delimitar las zonas de recarga hídrica.</p> <p>2.5. Ubicar los ecosistemas donde existan zonas de recarga hídrica y determinar el estado de conservación.</p> <p>2.6. Declarar zonas de protección de recarga hídrica en base a la ley y gestión de la autoridad competente.</p>	
Conservación, protección y restauración de zonas de recarga hídrica	<p>3.1. Identificar las condiciones actuales en términos demográficos, topográficos y climáticos para áreas de recarga hídrica.</p> <p>3.2. Identificar y definir áreas con potencial de recarga hídrica para la conservación, manejo sostenible y restauración.</p> <p>3.3. Identificar los factores de conservación y protección de recarga hídrica y de los ecosistemas en los que se encuentra.</p> <p>3.4. Gestionar la protección de ecosistemas y zonas de recarga hídrica para la captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua.</p> <p>3.5. En las zonas de recarga hídrica se delimitarán zonas de restricción en las que se condicionarán las actividades que puedan realizarse en ellas de acuerdo con la ley.</p>	<p>Ministerio del Ambiente y Agua: Gobierno Nacional Gobierno Provincial Gobiernos Locales - Centros de Educación</p>

3.6. Identificar áreas críticas para implementar acciones y medidas para la conservación, protección, restauración, manejo y uso sostenible de las zonas de recarga hídrica.

3.7. La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.

3.8. La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por el cambio y uso de suelo.

3.9. Orientar las intervenciones en el territorio y el aprovechamiento sostenible de zonas de recarga hídrica a través de normas de uso, ocupación y gestión del suelo.

a) Evitar la degradación de los ecosistemas que se encuentran dentro de las zonas de recarga hídrica.

b) Prevenir, reducir y revertir la contaminación dentro de los ecosistemas y zonas de recarga hídrica.

c) Adoptar medidas para la restauración de ecosistemas degradados en las zonas de recarga hídrica.

a) Definir en las zonas de recarga hídrica los planes, programas y proyectos para implementar medidas de conservación, restauración, uso y aprovechamiento sostenible

b) Incluir dentro de las zonas de recarga hídrica enfoques temáticos sobre los cuales se desarrollarán las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de educación ambiental.

Seguimiento y control de actividad en zonas de recarga hídrica

4.1. Controlar y prevenir el manejo eficiente de zonas de recarga hídrica en cuestión a la acumulación en suelo y subsuelo de contaminación de las aguas superficiales o subterráneas.

Ministerio del Ambiente y agua:

- Gobierno Nacional
- Gobierno Provincial
- Gobiernos Locales
- Centros de Educación

La gestión de las áreas de priorización para su conservación mediante un sistema integrado, se especializa en tener un enfoque desde su estructura como ordenamiento territorial y de ahí partir a su conservación mediante alianzas convenios y relaciones afines al agua, de acuerdo con Bremer et al. (2021), que determinaron que la gestión del agua hace parte desde su investigación y conocimiento hasta la planificación de restauración, recuperación, protección y conservación de fuentes hídricas mediante un marco para priorizar las inversiones en la protección y restauración de bosques para la recarga de aguas subterráneas de manera que se incorpore tanto la amenaza de conversión como los cambios en los flujos hidrológicos.

La ubicación de las áreas con potencial de recarga hídrica es mínima, y se encuentran caracterizadas por uso de suelo de cultivo. Se identificaron que los cultivos generalmente son de ciclo corto y árboles frutales, la restauración de áreas debe considerar especies nativas y plantas de raíces cortas porque de acuerdo con Shi et al. (2021), en su estudio determinó que los árboles frutales de raíces profundas consumieron más agua que la vegetación de las tierras de cultivo, limitando la magnitud de la recarga. Ejerciendo una competencia de diferentes especies de plantas por el recurso agua y limitando a este al abastecimiento de agua en las zonas de recarga.

Una respuesta a la conservación de zonas de recarga hídrica es la propuesta por Song et al. (2020), atribuyendo la adaptación de ciertos cultivos, la respuesta de la alta temperatura y baja precipitación, orientadas a la gestión de la tierra y el agua para la agricultura en las regiones montañosas de la meseta de Loess y regiones de tierras secas similares con potencial de recarga hídrica. Por otro lado, la caracterización geofísica con la hidrológica dio un enfoque más amplio de cómo está organizado el territorio. Esto ayudó a reorganizarse para determinar medidas de control de actividades en el área de estudio, así también lo refiere el estudio de Castro et al. (2015), donde se reveló diferencias sustanciales en los servicios ecosistémicos y demostró el importante papel que cumple la gestión para preservar, regular todos aquellos ecosistemas o ciclos hidrológicos que se ven afectados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La variable suelo presentó mayor superficie de vegetación arbustiva con 17 472.17 hectáreas, seguido de los cultivos con 5179.07 hectáreas y en menor área los cuerpos de agua con 733.35 hectáreas. La variable de tipo de suelo presentó molisoles con un área de 19 516.6 hectáreas, entisoles con 8238.06 hectáreas y en menor área los suelos inceptisoles con 260.83 hectáreas. La variable pendiente del terreno presentó una inclinación moderada en 16 302.2 hectáreas y la pendiente muy baja en 349.79 hectáreas con zonas montañas abruptas. La variable litología en su mayoría presentó depósitos aluviales y coluviales con 19 605.69 hectáreas, Rocas volcánicas con 8121.11 hectáreas y con menor área los lahares con 270.95 hectáreas. Dentro del área se existió una precipitación media de 660.01 mm/año, una temperatura media de 17.99 °C, la evapotranspiración media fue de 997.12 mm/año, lo que indica una pérdida del recurso agua en 240.13 mm/año, determinado a partir del cálculo de balance climático.

Las zonas de recarga hídrica identificadas a partir de la combinación de las cuatro variables fueron caracterizadas por 71 puntos de muestreo. La prueba estadística de Kruskal Wallis con los datos obtenidos de cada una de las muestras determinó la asociación de las variables para el modelo de radio frecuencia. La fórmula que determinó la recarga hídrica mostró un porcentaje de 0.7% del área con potencial alto de recarga hídrica, caracterizada por uso de suelo con vegetación arbustiva, 1.14% con potencial medio de recarga hídrica caracterizada por uso de suelo con vegetación arbustiva y cultivos, y finalmente el potencial de recarga bajo que representa el 98.16% del área y se caracteriza por presentar vegetación arbustiva, cultivos, áreas erosionadas, zonas urbanas y cuerpos de agua.

En los lineamientos propuestos a partir de la calificación semáforo se evalúa la Ley de la Constitución de manera jerarquizada de acuerdo con la pirámide de Kelsen. Los criterios utilizados para la evaluación se obtuvieron a partir de los resultados de geología, climatología, zonas de recarga hídrica y entrevistas, con base en la calificación amarilla y roja se estableció cuatro lineamientos. El primer lineamiento representa la gestión de las zonas de recarga hídrica, se genera por falta de responsabilidad dentro de la gestión, ya que no existen proyectos ni una base estructurada que sigan una planificación. El segundo lineamiento representa la regulación de ecosistemas con potencial de recarga hídrica, se debe regular estas áreas por los impactos generados al ambiente causados por las malas prácticas en las actividades humanas. El tercer lineamiento representa la conservación, protección y restauración de zonas de recarga hídrica, es necesario para mantener el ecosistema de las zonas de recarga hídrica con la finalidad de mantener el flujo continuo de la red hídrica. Finalmente el cuarto lineamiento representa el seguimiento y control de actividades en zonas de recarga hídrica, se genera para impulsar la recuperación de ecosistemas a corto, mediano y largo plazo.

5.2 Recomendaciones

Fomentar la investigación hidrológica en la cuenca del río Chota de manera que se pueda generar un diagnóstico general y específico de cada componente, con relación a la ecología, economía y sociedad donde se trabaje de forma integrada y participativa con los actores locales, comunidades y entes encargados en la gestión de recursos hídricos.

Fortalecer la unión equitativa entre el Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica y las juntas parroquiales para ejecutar un control del recurso agua para no generar escasez que afecten el flujo del sistema productivo.

Fomentar un trabajo articulado con entidades como son los GADs y juntas parroquiales que exijan incluir la importancia de la identificación, protección y

monitoreo de puntos de recarga hídrica, dentro del Programa de Ordenamiento Territorial parroquial y acciones de conservación o recuperación.

REFERENCIAS

- Adiat, K., Nawawi, M., y Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool - A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440–441, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.028>
- Aju, C., Achu, A., Raicy, M., y Reghunath, R. (2021). Identification of suitable sites and structures for artificial groundwater recharge for sustainable water resources management in Vamanapuram River Basin, South India. *HydroResearch*, 4, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.04.001>
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., y Lee, S. (2012). Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, 44, 120–135. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.03.003>
- Alvarez, M., Hernández, M., Trovatto, M., y González, N. (2011). Estimación de la recarga en zonas áridas según distintos métodos área medanosa del Sur de Península Valdés. *VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/103263>
- Alzate, D., Araujo, G., Rojas, E., Gómez, D., y Martínez, F. (2018). Regnie interpolation for rain and temperature in the andean, caribbean and pacific regions of Colombia. *Colombia Forestal*, 21(1), 102–118. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11601>
- Arbito, J. (2015). *Caracterización del Agua Subterránea para Uso en Actividades Productivas y Humanas en El Cantón Pasaje*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Digital Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2692>
- Arnáez, J., Ruiz, P., Lasanta, T., Ortigosa, L., Llorente, J., Pascual, N., y Lana, N. (2012). Efectos de las rodadas de tractores en la escorrentía y erosión de suelos en laderas cultivadas con viñedos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1), 115. <https://doi.org/10.18172/cig.1278>
- Ashraf, S., Ali, M., Shrestha, S., Hafeez, M., Moiz, A. y Sheikh, Z. (2022). Impacts

- of climate and land-use change on groundwater recharge in the semi-arid lower Ravi River basin, Pakistan. *Groundwater for Sustainable Development*, 17. 10.1016/J.GSD.2022.100743
- Baeza, R., y Vázquez, J. (2014). Transición de un modelo de regresión lineal múltiple predictivo, a un modelo de regresión no lineal simple explicativo con mejor nivel de predicción: Un enfoque de dinámica de sistemas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 71, 59–71. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Bautista, F., Aguilar Duarte, Y., y Batllori, E. (2011). Amenazas, vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán. *Teoría y Praxis*, 55. www.elaleph.com
- Ben, H., Awadi, A., y Makni, M. (2017). Ambient temperature and host specialization drive mitochondrial genome evolution in fruit flies of the genus *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae). *Evolutionary Ecology Research*, 18(4), 443–457.
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., y Abera, T. (2020). Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains, northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 164, 103795. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103795>
- Bremer, L., DeMaagd, N., Wada, C., y Burnett, K. (2021). Priority watershed management areas for groundwater recharge and drinking water protection: A case study from Hawai‘i Island. *Journal of Environmental Management*, 111622. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111622>
- Brewington, L., Keener, V., y Mair, A. (2019). Simulating land cover change impacts on groundwater recharge under selected climate projections, Maui, Hawaii. *Remote Sensing*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/rs11243048>
- Cano, L., Rodríguez, R., Valdez, J., Beltrán, R., González, C., y Acevedo, O. (2016). Perspectiva del diseño cartográfico para estudios de uso del suelo y ordenamiento territorial: una revisión internacional, técnica y normativa. *Terra Latinoamericana*, 34, 409–417.

- Canora, F., Musto, M., y Sdao, F. (2018). Groundwater recharge assessment in the carbonate aquifer system of the lauria mounts (southern Italy) by GIS-based distributed hydrogeological balance method. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*:10961. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95165-2_12
- Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narváez, C., y Morocho, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>
- Castro, A., Martín, B., López, E., Plieninger, T., Alcaraz, D., Vaughn, C., y Cabello, J. (2015). Do protected areas networks ensure the supply of ecosystem services? Spatial patterns of two nature reserve systems in semi-arid Spain. *Applied Geography*, 60, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.02.012>
- Castro, J., Cortez, J., y Aguirre, C. (2011). *Plan de manejo y conservación de una zona con potencial de recarga hídrica en El Manantial, municipio La Conquista.*
- Celaya, H., y Castellanos, A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29, 343–356. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n3/2395-8030-tl-29-03-00343.pdf><http://www.cabdirect.org/abstracts/20123049100.html>
- Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Miralles-Mellado, I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F., Calvo-Cases, A., Sole-Benet, A., y Cantón, Y. (2010). Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos*, 165(165), 69–96. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165004>
- Chamorro, M. (2017). *Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas SIG de los acuíferos la Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del

Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6920>

- Chenini, I., Msaddek, M., y Dlala, M. (2019). Hydrogeological characterization and aquifer recharge mapping for groundwater resources management using multicriteria analysis and numerical modeling: A case study from Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 154, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.02.031>
- Constantinou, E., Sarris, D., y Vogiatzakis, I. (2021). The possible role of Ziziphus lotus as an ecosystem engineer in semiarid landscapes. *Journal of Arid Environments*, 195(August), 104614. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104614>
- Constitución Política de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Reformas en Registro Oficial-Suplemento de 13 de julio de 2011. https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Díaz, M., Rodríguez, J., y Castaño, S. (2009). Distribución isotópica espacial y aportación al conocimiento del ciclo hidrológico. *Ingeniería Civil*, 3, 87–97. http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/155/revip_ciclo_hidrologico.pdf
- Donis, L. (2015). Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río negro, ciudad de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. *Consejo de la facultad ciencias ambientales y agrícolas*. <https://doi.org/10.1590/s1809-98232013000400007>
- Dörner, J., y Dec, D. (2008). Efecto de la estructura sobre el movimiento de agua en una catena de suelos. *Agro Sur*, 36(2), 93–100. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n2-05>
- Elmahdy, S., y Mohamed, M. (2014). Probabilístico modelo de relación de frecuencia para el mapeo de potencial de agua subterránea en Al Jaww llano. *Arabian Journal of Geosciences*.
- Flores, E., Miranda, M., y Villasís, M. (2017). Metodología de la investigación. *Revista Alergia México*, 64(3), 364–370. <http://www.revistaalergia.mx>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nau, T., Peters, T., y Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152 17-30.

- Galárraga, R. (2000). Agua para el siglo XXI para America del Sur. In *Cepal*.
<https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23346/InEc00100.23346.pdf>
- Galindo, M. (2018). La pirámide de kelsen o jerarquía normativa en la nueva CPE y el nuevo derecho autonómico. *Revista Jurídica Derecho*, Vol 7, 126–148.
- Garramone, M., Moretti, N., Scaioni, M., Ellul, C., Re Cecconi, F., y Dejacó, M. (2020). Bim and GIS Integration for Infrastructure Asset Management: a Bibliometric Analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4/W1-20(4/W1), 77–84.
<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-77-2020>
- Giraldo, L., Chará, J., Del Carmen, M., Chará, A., y Pedraza, G. (2014). Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja. *Revista de Biología Tropical*, 62(April), 203–219. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15788>
- Githinji, T., Dindi, E., Kuria, Z., y Olago, D. (2022). Application of analytical hierarchy process and integrated fuzzy-analytical hierarchy process for mapping potential groundwater recharge zone using GIS in the arid areas of Ewaso Ng'iro – Lagh Dera Basin, Kenya. *HydroResearch*, 5, 22–34.
<https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.11.001>
- Griesbauer, H., DeLong, S. C., Rogers, B., y Foord, V. (2021). Growth sensitivity to climate varies with soil moisture regime in spruce–fir forests in central British Columbia. *Trees - Structure and Function*.
<https://doi.org/10.1007/s00468-020-02066-8>
- Guitarra, D. (2018). Determinación de la capacidad de campo en suelos de textura franco arcilla arenosa en la provincia de Imbabura Ecuador. *Puce Ibarra*.
https://www.academia.edu/16922733/Determinación_de_la_capacidad_de_campo_en_suelos_de_textura_franco_arcilla_arenosa_en_la_provincia_de_Imbabura_Ecuador
- Guru, B., Seshan, K., y Bera, S. (2017). Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *Journal of King Saud University - Science*, 29(3), 333–347.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.08.003>

- Hagos, Y., y Andualem, T. (2021). Geospatial and multi-criteria decision approach of groundwater potential zone identification in Cuma sub-basin, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 7(9), e07963. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07963>
- Herrera, K. (2017). *Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la comuna la Esperanza, provincia del Carchi*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6547>
- Huaman, J. (2016). Evaluación de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha-Abancay. In *Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos*.
- Huerta, J., Oropeza, J., Guevara, R., Ríos, J., Martínez, M., Barreto, O., Olguín, J., y Mancilla, O. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia*, 36(2), 153–162. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- Iniciativa Finanzas Para La Biodiversidad [BIOFIN]. (2020). *Determinación de gastos asociados a la biodiversidad en proyectos de generación hidroeléctrica y necesidades de financiamiento para alcanzar los resultados establecidos en la ENB y su plan de acción 2015-2020*.
- Jácome, G., Mejía, J., Guerra, N., Romero, A., Piedmag, V., Padilla, C., Tanaí, I., y Pupiales, N. (2020). Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico. Imbabura-Ecuador. *FICAYA Emprende*.
- Jiménez, F., Matus, O., y Faustino, J. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica Índice. *CATIE*, 38, 74–82.
- Kashiwar, S., Dongarwar, U., Mondal, B., y Kundu, M. (2016). Una visión general sobre la recarga de aguas subterráneas por agua de lluvia en las cosechas. *Journal of Energy Research and Environmental Technology*.
- Lentswe, G. y Molwalefhe, L. (2020). Delineation of potential groundwater recharge zones using analytic hierarchy process-guided GIS in the semi-arid

- Motloutse watershed, eastern Botswana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100674>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Quito, Ecuador: Registro Oficial-Segundo Suplemento 305, de 06 de agosto de 2014. <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-RecursosH%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Li, R., Shi, Y., Feng, C., y Guo, L. (2021). The spatial relationship between ecosystem service scarcity value and urbanization from the perspective of heterogeneity in typical arid and semiarid regions of China. *Ecological Indicators*, 132, 108299. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108299>
- Liang, M., y Zhu, X. (2020). Research on GIS and CAE cooperative coupled dynamic geographical situational response. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 569(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/569/1/012058>
- Liu, X., He, Y., Sun, S., Zhang, T., Luo, Y., Zhang, L., Wang, M., Cheng, L., Hu, H. y Xu, Y. (2022). Restoration of sand-stabilizing vegetation reduces deep percolation of precipitation in semi-arid sandy lands, northern China. *CATENA*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100743>
- Luzardo, M., y Villalva, M. (2012). Diseño de Cuadro de Mando Integral en una empresa dedicada a la comercialización y distribución de equipos electrónicos de seguridad de alta tecnología, ubicada en la ciudad de Guayaquil. *Instituto de Ciencias Matemáticas, 1*.
- Maghribi, A., y Supriatna. (2020). Analysis of groundwater recharge zone using remote sensing method in Bayah Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012024>
- Matus, O. (2007). Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua. In *CATIE*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Mazza, R., La Vigna, F., y Alimonti, C. (2014). Evaluating the available regional

- groundwater resources using the distributed hydrogeological budget. *Water Resources Management*, 28(3), 749–765. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0513-6>
- Ministerio del Ambiente. (2013). Modelo Bioclimático para la Representación Cartográfica de Ecosistemas del Ecuador Continental. *Sistema de Nacional de Información. (SNI)*, 50.
- Navale, V., y Mhaske, S. (2020). GIS-based study of groundwater monitoring of villages, Karhe Region, Maharashtra, India. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012089>
- Norton, A., Rayner, P., Wang, Y., Parazoo, N., Baskaran, L., Briggs, P., Haverd, V., y Doughty, R. (2022). Hydrologic connectivity drives extremes and high variability in vegetation productivity across Australian arid and semi-arid ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 272, 112937. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2022.112937>
- Nyembo, L. O., Larbi, I., Mwabumba, M., Selemani, J. R., Dotse, S.-Q., Limantol, A. M., y Bessah, E. (2022). Impact of climate change on groundwater recharge in the lake Manyara catchment, Tanzania. *Scientific African*, 15, e01072. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01072>
- Ordenanza Para la Creación del “Fondo de Agua y Desarrollo Responsable de la Provincia de Imbabura” [FONADERI]. (2019). Ibarra, Ecuador. Registro Oficial de 18 de enero de 2019. <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/biblioteca/file/208-ordenanza-refnro-01-2019?tmpl=component>
- Organización de las Naciones Unidas. [ONU]. (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo. In *Onu- Wwap*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. In *FAO*. [https://doi.org/10.1016/S0096-3003\(99\)00104-6](https://doi.org/10.1016/S0096-3003(99)00104-6)
- Peñuela, L., y Carrillo, J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua

- subterránea a partir de indicadores superficiales: Centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas*, 81, 18–32. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30518/41962>
- Ponce, C. (2017). *Análisis multicriterio de la cobertura vegetal del Valle Interandino del Chota e identificación de restauración ecológica*. Universidad Técnica del Norte.
- Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador clima, precipitaciones, escorrentía. In I. N. y M. (INAMHI) & M. de A. y G. (MAG) (Eds.), *El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. Nacional.
- Quan, Q., Liang, W., Yan, D., y Lei, J. (2022). Influences of joint action of natural and social factors on atmospheric process of hydrological cycle in Inner Mongolia, China. *Urban Climate*, 41, 101043. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2021.101043>
- Rajasekhar, M., Ajaykumar, K., Raju G, S., y Bhagat, V. (2021). Identification of artificial groundwater recharge zones in semi-arid region of southern India using geospatial and integrated decision-making approaches. *Environmental Challenges*, 5, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100278>
- Ramos, R., Palma, D., Ortiz, C., y Díaz, G. (2017). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de Sistemas De Información Geográfica en una Región Cacaotera. *Geotropico*, 5(1), 287–304. http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/25_Agua_Crespo_Uso_tierra_LpS.pdf
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente [RCOA]. (2019). Decreto Ejecutivo 752. Quito, Ecuador. Registro Oficial-Suplemento 507, de 12 de junio de 2019. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-09/Documento_RCOA%20RO%20507.pdf
- Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B., y Woo, A. (2006). Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería En Las Américas*, 45(1022–7482), 66–71.
- Rodríguez, D., y Pérez, P. (2014). Determinación de la recarga hídrica potencial en

- la cuenca hidrográfica Guara, de Cuba. *Agua-LAC*, 6(c), 58–70. <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051>
- Romero, E., y Casimiro, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(3), 42–52.
- Ruíz, J. . (2007). Utilización del balance de cloruros en la zona no saturada en la estimacion de la recarga naturala un acuífero dentríco. *Instituto Geológico y Minero de España (IGME)*, VIII(1994), 173–178.
- Sáenz, Á., Bravo, L., Torres, M., y Alatorre, C. (2015). Localización de zonas con potencial natural de recarga hídrica : Ensayo de enfoque multiescalar en el acuífero. *SELPER-XXI-México-UACJ*, 12–16.
- Saiz, J., Lomeli, M., Salazar, C., Ruiz, J., y Mungaray, A. (2019). Allocation of groundwater recharge zones in a rural and semi-arid region for sustainable water management: Case study in Guadalupe Valley, Mexico. *Water (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/w11081586>
- Salas, J. (2000, December). Hidrología de zonas áridas y semiáridas. *Hidrología de Zonas Aridas y Semiaridas*, 409–429. <https://iwaponline.com/IA/article-pdf/7/4/409/576820/ia20002855.pdf>
- Sashikkumar, M., y Linora, D. (2012). GIS approach for the demarcation of groundwater recharge potential zones in hard rock terrain. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 5(1), 117–120.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34–35, 19. <http://www.redalyc.org/html/454/45437342002/>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. Quito- Ecuador, https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf
- Segarra, P. (2017). *Consultoría para definir las medidas y acciones de conservación para las fuentes y zonas de recarga hídrica prioritarias que serán financiadas con la aplicación de la tarifa de uso y aprovechamiento de agua cruda en el Ecuador* (Issue Ic).

- Serrano, G., Perevochtchikova, M., y Carrillo, J. (2014). Posibles Controles Hidrogeológicos de Impacto Ambiental por la Extracción de Agua Subterránea en Xochimilco, Mexico. *JSTOR*, 7(1), 39–56. <https://www.jstor.org/stable/25765198?seq=1>
- Serrano, P., & Calderón, M. (2016). *Análisis geoespacial del cambio de las zonas de vida de Holdridge en la provincia del Guayas*. January. <https://doi.org/10.18687/laccei2016.1.1.185>
- Shi, P., Huang, Y., Ji, W., Xiang, W., Evaristo, J., y Li, Z. (2021). Impacts of deep-rooted fruit trees on recharge of deep soil water using stable and radioactive isotopes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 300, 108325. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108325>
- Song, X., Gao, X., Wu, P., Zhao, X., Zhang, W., Zou, Y., y Siddique, K. (2020). Drought responses of profile plant-available water and fine-root distributions in apple (*Malus pumila* Mill.) orchards in a loessial, semi-arid, hilly area of China. *Science of the Total Environment*, 723, 137739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137739>
- Thornthwaite, C. . (1971). On the deformation mechanisms in sap single crystals. *Stor*, 41(2), 161–166. [https://doi.org/10.1016/0022-3115\(71\)90076-6](https://doi.org/10.1016/0022-3115(71)90076-6)
- Troya, A., Bersosa, F., y Vega, M. (2012). Diversidad preliminar de Artrópodos en los remanentes de bosques secos andinos del Valle del Chota en el norte del Ecuador. *Puce*.
- Tsoraeva, E., Mezhyan, S., Kataeva, M., Hugaeva, L., y Rogova, T. (2020). GIS technologies used in zoning agricultural land for optimizing regional land use. *E3S Web of Conferences*, 224. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022403001>
- UNESCO. (2018). *Soluciones basadas en la naturaleza para gestión del agua*. 168.
- Valayamkunnath, P., Sridhar, V., Zhao, W. y Allen, R. (2019). A comprehensive analysis of interseasonal and interannual energy and water balance dynamics in semiarid shrubland and forest ecosystems. *Science of The Total Environment*, 651, 381 - 398. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.130>
- Valle, J., y Guerra, W. (2012). La Multicolinealidad en modelos de Regresión Lineal Múltiple. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 80–83. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-

00542012000400013&lng=es&nrm=iso&tlng=pt

- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., y Hernández, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), 322–329. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000500006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Vishwakarma, A., Goswami, A., y Pradhan, B. (2021). Prioritization of sites for Managed Aquifer Recharge in a semi-arid environment in western India using GIS-Based multicriteria evaluation strategy. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100501. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100501>
- Wang, Q., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Tan, Z., y Ma, Y. (2021). Simulating land use/land cover change in an arid region with the coupling models. *Ecological Indicators*, 122, 107231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107231>
- Xie, Q., Cleverly, J., Moore, C., Ding, Y., Hall, C., Ma, X., Brown, L., Wang, C., Beringer, J., Prober, S., Macfarlane, C., Meyer, W., Yin, G., y Huete, A. (2022). Land surface phenology retrievals for arid and semi-arid ecosystems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 185, 129–145. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2022.01.017>
- Yonaba, R., Koïta, M., Mounirou, L. A., Tazen, F., Queloz, P., Biaou, A., Niang, D., Zouré, C., Karambiri, H., y Yacouba, H. (2021). Spatial and transient modelling of land use/land cover (LULC) dynamics in a Sahelian landscape under semi-arid climate in northern Burkina Faso. *Land Use Policy*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105305>

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de variables

Anexo 1.1. Tabla de combinaciones

Código	Uso De Suelo	Litología	Tipo De Suelo	Pendiente	Coordena - das X	Coordena - das Y	Altitud (m.s.n.m)
1AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	833 033.61	10 057 450.65	2636
2AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50° Inclinación regular	841 006.60	10 046 261.68	1810
3AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	836 180.99	10 055 395.89	2219
4AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	o moderado ondulado 5° - 25°	836 259.24	10 055 526.20	2226
5AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	832 812.97	10 055 695.52	2020
6AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50° Inclinación regular	837 581.28	10 051 862.85	2547
7AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	838 443.0	10 052 724.5	2614
8AE	áreas erosionadas	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	833 057.2	10 056 171.4	2152
9AE	áreas erosionadas	Lahar	Mollisol	o moderado ondulado 5° - 25°	836 590.3	10 051 173.4	1957
10AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Entisol	Débil, plano o casi plano <5° Inclinación regular	835 168.4	10 057 679.4	2427
11AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Entisol	o moderado ondulado 5° - 25°	835 642.4	10 056 214.5	2211

12AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	835 760.1	10 056 225.1	2217
13AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	835 209.6	10 057 647.3	2436
14AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	834.613,1	10.055.284,6	2021
15AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	835 920.7	10 054 825.8	2121
16AE	áreas erosionadas	Volcánicas	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	835 920.7	10 054 940.5	2122
17C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	829 979.5	10 051 981.4	1561
18C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	842 279.7	10 043 397.6	1809
19C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	842 001.9	10 042 603.8	1996
20C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	842 121.0	10 042 722.9	1972
21C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	834 739.1	10 048 279.1	1681
22C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	Débil, plano o casi plano <5°	819 808.3	10 045 917.0	1842
23C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	820 239.2	10 047 381.9	1799

24C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	820 627.0	10 048 933.0	1729
25C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	830 849.7	10 051 692.3	1578
26C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	843 391.0	10 051 612.9	2048
27C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	840 335.1	10 052 446.3	2231
28C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	838 271.3	10 051 176.3	2433
29C	Cultivos	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	840 855.8	10 051 044.2	2276
30C	Cultivos	Rocas intrusivas (granodiorita, diorita y granito)	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	842 622.3	10 044 021.2	1767
31C	Cultivos	Volcánicas	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	832 540.2	10 051 001.1	1625
32C	Cultivos	Volcánicas	Entisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	834 823.7	10 055 395.8	2051
33C	Cultivos	Volcánicas	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	841 501.8	10 044 702.6	1923
34C	Cultivos	Volcánicas	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	841 444.9	10 044 734 0	1923
35C	Cultivos	Volcánicas	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	841 327.2	10 044 945.4	1897
36C	Cultivos	Volcánicas	Mollisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	840 890.7	10 045 143.8	1876

37C	Cultivos	Volcánicas	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50° Inclinación regular	843 527.1	10 052 250.6	1963
38C	Cultivos	Volcánicas	Mollisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	834 866.8	10 054 448.0	1916
39C	Cultivos	Volcánicas	Mollisol	o moderado ondulado 5° - 25°	839 477.0	10 042 987.1	2314
40VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	839 606.3	10 042 427.0	2378
41VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	822 716.6	10 053 370.8	1565
42C	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50° Inclinación regular	842 191.4	10 043 633.4	1895
43VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	821 036.3	10 051 733.5	1750
44VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Entisol	o moderado ondulado 5° - 25°	820 971.6	10 051 431.9	1689
45VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	Débil, plano o casi plano <5°	820 971.6	10 051 130.3	1689
46VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50° Inclinación regular	819 722.2	10 045 486.1	1867
47VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	o moderado ondulado 5° - 25° Inclinación regular	820 540.8	10 048 200.5	1742
48VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Inceptisol	o moderado ondulado 5° - 25°	820 627.0	10 047 468.0	1877

49VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	820 885.5	10 049 062.2	1767
50VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	820 519.2	10 053 672.4	1589
51VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	841 329.7	10 052 250.6	2190
52VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	840 941.9	10 052 940.0	2298
53VA	Vegetación arbustiva	Depósitos coluviales - aluvial	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	841 071.2	10 052 552.2	2268
54VA	Vegetación arbustiva	Lahar	Mollisol	Débil, plano o casi plano <5°	839 778.6	10 052 293.7	2271
55VA	Vegetación arbustiva	Lahar	Mollisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas >50°	837 710.5	10 053 801.7	2857
56VA	Vegetación arbustiva	Lahar	Mollisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	837 322.7	10 052 767.6	2480
57VA	Vegetación arbustiva	Lahar	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	837 365.8	10 053 370.8	2657
58VA	Vegetación arbustiva	Lahar	Mollisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	837 064.2	10 051 647.4	2363
59VA	Vegetación arbustiva	Rocas intrusivas (granodiorita, diorita y granito)	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	836 590.3	10 054 232.5	2202
60VA	Vegetación	Rocas intrusivas		Fuerte colinado o			

	arbustiva	s (granodiorita, diorita y granito)	Entisol	escarpado 25° - 50°	842 794.6	10 044 107.4	1776
61VA	Vegetación arbustiva	Rocas intrusivas (granodiorita, diorita y granito)	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	842 148.3	10 042 082.3	1872
62VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Entisol	Débil, plano o casi plano <5°	841 932.9	10 042 082.3	1961
63VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Entisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas as >50°	833 057.2	10 050 096.3	1668
64VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Entisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	834 780.7	10 055 266.6	2042
65VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	832 497.1	10 044 710.6	1973
66VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Entisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	832 540.2	10 044 452.0	1974
67VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Mol lisol	Débil, plano o casi plano <5°	832 454.0	10 044 839.8	1958
68VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Mol lisol	Muy fuerte escarpado, abruptas, montañas as >50°	839 907.9	10 045 960.0	1876
69VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Mol lisol	Fuerte colinado o escarpado 25° - 50°	837 021.1	10 053 112.3	2326
70VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Mol lisol	Inclinación regular o moderado ondulado 5° - 25°	837 021.1	10 051 819.7	2287
71VA	Vegetación arbustiva	Volcánicas	Mol lisol	Inclinación regular o moderado	835 426.9	10 051 862.8	1705

ondulado
5° - 25°

Anexo 1.2. Texturas del suelo

Arcillas %	Arenas %	Limos %	Código	Descripción
3.87	70.95	25.16	1AE	Franco arenoso (FA)
18.18	48.08	33.72	2AE	Franco (F)
10.56	59.49	29.93	3AE	Franco arenoso (FA)
15.4	57.08	27.46	4AE	Franco arenoso (FA)
8.89	69.75	21.35	5AE	Franco arenoso (FA)
3.78	68.69	27.51	6AE	Franco arenoso (FA)
21.69	42.13	36.16	7AE	Franco (F)
5.71	65.69	28.58	8AE	Franco arenoso (FA)
7.53	84.93	7.53	9AE	Franco arenoso (FA)
5.40	46.80	47.79	10AE	Franco arenoso (FA)
8.98	71.24	19.77	11AE	Franco arenoso (FA)
1.84	79.73	18.42	12AE	Arenoso Franco (AF)
17.24	62.04	20.71	13AE	Franco arenoso (FA)
6.67	75.47	17.84	14AE	Franco arenoso (FA)
6.86	68.98	24.15	15AE	Franco arenoso (FA)
6.63	65.24	28.11	16AE	Franco arenoso (FA)
19.44	49.45	31.10	17C	Franco (F)
16.02	66.39	17.57	18C	Franco arenoso (FA)
15.60	57.98	26.41	19C	Franco arenoso (FA)
11.13	63.33	25.53	20C	Franco arenoso (FA)
4.91	78.53	16.55	21C	Arenoso Franco (AF)
9.30	54.31	36.37	22C	Franco arenoso (FA)
7.51	60.57	31.91	23C	Franco arenoso (FA)
7.60	49.95	42.44	24C	Franco (F)
11.46	57.61	30.91	25C	Franco arenoso (FA)
11.55	63.69	24.75	26C	Franco arenoso (FA)
13.30	51.23	35.45	27C	Franco (F)
14.07	57.66	28.27	28C	Franco arenoso (FA)
17.33	62.41	20.25	29C	Franco arenoso (FA)
17.05	64.64	18.3	30C	Franco arenoso (FA)
8.79	74.97	16.23	31C	Franco arenoso (FA)
13.94	65.07	20.98	32C	Franco arenoso (FA)
12.17	62.87	24.94	33C	Franco arenoso (FA)
10.85	63.86	25.28	34C	Franco arenoso (FA)
8.48	55.33	36.18	35C	Franco arenoso (FA)
6.31	69.39	24.29	36C	Franco arenoso (FA)
26.45	48.11	25.43	37C	Franco arcillo
14.64	56.61	28.74	38C	Franco arenoso (FA)
11.79	59.56	28.64	39C	Franco arenoso (FA)
11.74	63.67	24.57	40C	Franco arenoso (FA)
1.23	83.54	15.22	41VA	Arenoso Franco (AF)
6.70	64.00	29.28	42VA	Franco arenoso (FA)

1.26	85.09	12.64	43VA	Arenoso Franco (AF)
3.92	57.70	38.36	44VA	Franco areanoso (FA)
1.26	73.29	25.44	45VA	Arenoso Franco (AF)
5.07	76.91	18.00	46VA	Arenoso Franco (AF)
1.24	84.40	14.35	47VA	Arenoso Franco (AF)
1.25	76.46	22.27	48VA	Arenoso Franco (AF)
5.11	65.15	29.73	49VA	Franco areanoso (FA)
1.23	88.44	10.31	50VA	Arenosos (A)
4.83	65.22	29.94	51VA	Franco areanoso (FA)
4.83	59.67	35.48	52VA	Franco areanoso (FA)
4.85	65.04	30.09	53VA	Franco areanoso (FA)
6.95	63.71	29.33	54VA	Franco areanoso (FA)
33.16	40.14	26.68	55VA	Franco Arcilloso (FAr)
21.27	45.16	33.56	56VA	Franco (F)
10.79	62.41	26.79	57VA	Franco areanoso (FA)
3.19	73.42	23.38	58VA	Arenoso Franco (AF)
14.05	54.67	31.27	59VA	Franco areanoso (FA)
10.81	60.42	28.75	60VA	Franco areanoso (FA)
16.45	49.25	34.28	61VA	Franco (F)
6.86	68.61	24.52	62VA	Franco areanoso (FA)
1.26	77.02	21.71	63VA	Arenoso Franco (AF)
7.84	74.49	17.66	64VA	Franco areanoso (FA)
5.20	80.99	13.79	65VA	Arenoso Franco (AF)
3.94	84.94	11.11	66VA	Arenoso Franco (AF)
1.25	94.09	4.64	67VA	Arenoso (A)
7.65	62.44	29.91	68VA	Franco areanoso (FA)
3.68	56.42	39.89	69VA	Franco areanoso (FA)
15.23	61.90	22.85	70VA	Franco areanoso (FA)
15.10	56.56	28.32	71VA	Franco areanoso (FA)

Anexo 2. Entrevistas

Anexo 2.1. Estructura de entrevista



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Entrevista dirigida a las entidades encargadas de la gestión integral de los recursos hídricos.

Tema de tesis: “Determinación de zonas de recarga hídrica en áreas semiáridas de la cuenca del río Chota”

Autora: Madelayn Shirley Villota Huertas

Correo electrónico: msvillotah@gmail.com

Objetivo general

Determinar las zonas de recarga hídrica en áreas semiáridas de la Cuenca del río Chota.

Objetivos específicos

- Determinar los factores, climatológicos y geológicos de recarga hídrica en las áreas semiáridas de la Cuenca del río Chota.
- Identificar las zonas de recarga hídrica en las áreas semiáridas en la Cuenca del río Chota.
- Definir lineamientos para la conservación de zonas de recarga hídrica.

Esta entrevista tiene como objetivo recolectar información sobre la planificación, regulación, conservación y seguimiento en el uso del recurso hídrico en la cuenca del río Chota. La misma que será usada con fines académicos.

¿Está usted de acuerdo en participar de forma voluntaria?

Si_____ No_____

1. Como entidad, ¿Qué amenazas y necesidades se han identificado en gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Chota?
2. Dentro de su jurisdicción, ¿Cuál es el manejo y los trabajos que existen para contrarrestar las amenazas a los recursos hídricos en la cuenca del río Chota?
3. En la cuenca del río Chota ¿existe alguna gestión específica o direccionada a las zonas de recarga hídrica o estas se las maneja de manera implícita?
4. ¿Qué acciones se realizan en la cuenca del río Chota para disminuir el impacto generado por la actividad humana en el uso de suelo?
5. ¿Qué acciones se han considerado para el mal manejo de agroquímicos en cultivos que afectan a los recursos hídricos en la cuenca del río Chota?
6. ¿Qué acciones se toman en cuenta para la verificación del cumplimiento de la gestión del recurso hídrico implementado dentro de la cuenca del río Chota?

Anexo 2.2. Matriz de tabulación de entrevistas

	Entrevistado 1 JP	Entrevistado 2 JR	Entrevistado 3 ER	Entrevistado 4 SA
Como entidad, ¿Qué amenazas y necesidades se han identificado en gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Chota?	Falta de conocimiento en los pobladores. Mejorar la productividad.	Mal uso del agua, los desbordamientos y el mal uso de agroquímicos.	La calidad del agua bajo, retención y regulación hídrica regular. 48% de cobertura natural. Parte agrícola y pecuaria degradada. Expansión urbana. Avance de la frontera agrícola, cambio y uso del suelo. Estado de la cuenca regular.	Amenazas: Actividades humanas como la sedimentación, la contaminación, el cambio climático, la deforestación, los cambios en el paisaje y el crecimiento urbano. Necesidades: la degradación de los ecosistemas, cambios en el paisaje como el desmonte, la transformación de los paisajes naturales en tierras agrícolas, el crecimiento urbano, la construcción de carreteras y la minería a cielo abierto. Necesidades: La planificación a largo plazo de los recursos hídricos y la gestión de las cuencas. La adopción de nuevos enfoques integrales que beneficien a la naturaleza
Dentro de su jurisdicción, ¿Cuál es el manejo y los trabajos que existen para contrarrestar las amenazas a los recursos	Trabaja anualmente en capacitaciones sobre cultivos frutales de mango, aguacate y limón que son los más	Proyecto de riego tecnificado.	Acompañamiento en la creación del reporte Mira-Mataje. Trabajo con jóvenes mediante capacitaciones y escuela, creación de clubs ecológico	Sobre el trabajo específico en la cuenca del río Chota, no se presentan labores puntuales, pero si existen programas que se enfocan en la cuenca alta de varios sitios de Imbabura y que

hídricos en la cuenca del río Chota?	comunes en coordinación MAG.		chota con indicadores de 5 especies endémicas de aves. Proyecto de ACUS Proyecto hombre naturaleza. Big mama oso andino fuentes para el oso andino. Oso andino especie paraguas.	benefician a las zonas de recarga hídrica y páramos, como nuevas figuras de protección hídrica.
En la cuenca del río Chota ¿existe alguna gestión específica o direccionada a las zonas de recarga hídrica o estas se las maneja de manera implícita?	No tengo conocimiento del tema.	Desconozco del tema.	Se la trabaja de manera implícita.	No existe algo puntual en el entorno del río Chota, pero de manera implícita se encuentran desarrollando al momento la aplicación de Áreas de Protección Hídrica.
¿Qué acciones se realizan en la cuenca del río Chota para disminuir el impacto generado por la actividad humana en el uso de suelo?	Dentro de nuestro trabajo se maneja la producción y la educación referente a la misma.	Proyecto de riego para mejorar el mal uso del agua y evitar desbordamientos.	Trabajo con jóvenes y niños, la escuela y clubs ecológicos. Trabajo conjunto con el comité del Ángel en la capacitación ambiental y la conservación de páramos. Trabajar con GADs.	Por competencia de acuerdo al COOTAD en los Art.54 y 55 y sobre las funciones de los GAD Municipales y conforme a este el Art. 14 de la LORHUYA. Además, existen infracciones de acuerdo al Art. 151.
¿Qué acciones se han considerado para el mal manejo de agroquímicos en cultivos que afectan a los	Capacitaciones para minimizar los agroquímicos y capacitaciones acerca de	En el tema de manejo de agroquímicos se ubicó casetas para que arrojen los recipientes y	Proyecto de riego tecnificado por la Junta de Rigo de San Vicente de Puzir.	De manera específica no se consideran procesos sobre el manejo de agroquímicos, ese sector corresponde al MAG, lo que como ente de control si se realiza es

recursos hídricos en la cuenca del río Chota?	alternativas ecológicas.	en cuanto a capacitación.		generar procesos de capacitación sobre gestión integral del recurso hídrico.
¿Qué acciones se toman en cuenta para la verificación del cumplimiento de la gestión del recurso hídrico implementado dentro de la cuenca del río Chota?	Dentro de los proyectos el resultado es los productos frescos.	El Ministerio de Agricultura nos ayuda con capacitaciones y el asesoramiento.	Veedores, conciencia propia y el trabajo que hacen los GADs en acciones de manejo en colectivo con la educación.	De manera específica, no se cuenta con un proceso explícito verificación, sin embargo, como cartera de estado y estar sujetas a controlar a las juntas de agua de consumo y riego, se solicita a los beneficiarios de las autorizaciones de uso, ser corresponsables de la limpieza de sus fuentes y canales, así como generar mingas de limpieza y cuidado.

Anexo 3. Mapas temáticos

MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CHOTA



PROYECCIÓN UNVERSAL
TRANSVERSA DE MECATOR
DATUM WGS1984
ZONA 17 HEMISFERIO SUR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FAULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
 ELABORADO POR:
MADELAYN SHIRLEY VILLOTA HUERTAS
 FUENTE: SNI, 2003 Y IGM, 2015
 11/02/2022

