

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Franco Denilson Nima Medina

Asesor:

Mg. Ing. Rosa Amelia Coronado Falcon

Lima - Perú

2020



DEDICATORIA

A mis padres, hermana y abuelos, quienes son mi inspiración y pilar fundamental en mi vida, gracias por siempre creer en mí y apoyarme en cada idea y meta que me he planteado, este es el regalo a cada uno de sus esfuerzos y sacrificios.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme el soporte y la energía cada día para salir adelante en todas las cosas que
me he propuesto en mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por ayudarme en todo lo que han podido.

A ustedes les debo todo lo que soy.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.1.1. Antecedentes Internacionales	11
1.1.2. Antecedentes Nacionales	13
1.2. Marco Teórico	18
1.2.1. Cuenca Hidrográfica.....	18
1.2.1.1. Manejo de Cuencas.....	18
1.2.2. Ciclo Hidrológico	18
1.2.2.1. Precipitación	19
1.2.2.2. Evapotranspiración	19
1.2.2.3. Escorrentía	19
1.2.2.4. Infiltración	20
1.2.3. Balance Hídrico.....	20
1.2.4. Aguas subterráneas	20
1.2.4.1. Acuífero.....	20
1.2.4.2. Manantial	21
1.2.4.3. Recarga y zonas de recarga	21
1.2.4.4. Factores que afectan la recarga hídrica	22
1.2.4.5. Clasificación de las zonas de recarga hídrica.....	22
1.2.4.6. Recarga artificial	22
1.2.4.7. Contaminación de aguas subterráneas	23
1.2.5. Uso actual de la tierra.....	23
1.2.6. Relieve o topografía.....	23
1.2.7. Características del suelo.....	23
1.2.7.1. Textura	24
1.2.7.2. Materia orgánica	24
1.2.7.3. Permeabilidad.....	24
1.2.8. Geología	24
1.2.8.1. Roca	24
1.2.8.2. Tipos de roca	25

1.3.	Justificación	25
1.4.	Formulación del Problema.....	26
1.5.	Objetivos	27
1.6.	Hipótesis.....	27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....		28
2.1.	Tipo de investigación	28
2.2.	Población y muestra	28
2.2.1.	Población.....	28
2.2.2.	Muestra.....	28
2.3.	Materiales, Software y metodología.....	28
2.4.	Procedimiento.....	36
2.4.1.	Descripción del área de estudio	36
2.4.2.	Características biofísicas de la cuenca	39
2.4.2.1.	Precipitación	39
2.4.2.2.	Temperatura.....	40
2.4.2.3.	Pendiente y microrrelieve	42
2.4.2.4.	Tipo de suelo	44
2.4.2.5.	Geología	47
2.4.2.6.	Uso de suelo.....	52
2.4.2.7.	Cobertura Vegetal	56
2.4.3.	Aplicación de la metodología.....	60
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....		61
3.1.	Análisis de las características físicas de la cuenca del río Rímac	61
3.1.1.	Ponderaciones.....	61
3.1.1.1.	Pendiente y microrrelieve	61
3.1.1.2.	Tipo de suelo	62
3.1.1.3.	Tipo de roca	64
3.1.1.4.	Cobertura Vegetal	66
3.1.1.5.	Uso actual de suelo	69
3.2.	Potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac	72
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		75
4.1.	Discusiones	75
4.2.	Conclusiones.....	88
REFERENCIAS.....		90
ANEXOS.....		95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica de acuerdo al tipo de pendiente	30
Tabla 2. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según la textura de suelo.....	31
Tabla 3. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según el tipo de roca	32
Tabla 4. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según la cobertura vegetal	34
Tabla 5. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según el uso actual de suelo.....	34
Tabla 6. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto por Matus (2007).....	36
Tabla 7. Unidades hidrográficas menores de la cuenca del río Rímac	38
Tabla 8. Pendiente y microrrelieves de la cuenca del río Rímac	42
Tabla 9. Tipos de suelo preentes en la cuenca del río Rímac	46
Tabla 10. Niveles de permeabilidad que presenta la cuenca del río Rímac.....	50
Tabla 11. Uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac.....	54
Tabla 12. Tipos de cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac	58
Tabla 13. Ponderaciones para las pendientes y microrrelieves de la cuenca del río Rímac	61
Tabla 14. Ponderaciones para el tipo de suelo de la cuenca del río Rímac	63
Tabla 15. Ponderaciones para el tipo de roca que presenta la cuenca del río Rímac.....	65
Tabla 16. Ponderaciones para la cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac.....	66
Tabla 17. Ponderaciones para el uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac	69
Tabla 18. Categorías de Potencial de recarga Hídrica de la cuenca del río Rímac.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Rímac.	37
Figura 2. Unidades hidrográficas dentro del ámbito de la cuenca del río Rímac.	39
Figura 3. Precipitación anual de la cuenca del río Rímac.	40
Figura 4. Temperaturas máximas de la cuenca del río Rímac.	41
Figura 5. Temperaturas mínimas de la cuenca del río Rímac.	42
Figura 6. Microrrelieve que presenta la cuenca del río Rímac.	44
Figura 7. Tipos de suelo que se identificaron en el ámbito de la cuenca del río Rímac.	47
Figura 8. Permeabilidad que presenta la cuenca del río Rímac.	52
Figura 9. Uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac.	56
Figura 10. Cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac.	60
Figura 11. Ponderaciones para el microrrelieve y la pendiente de la cuenca del río Rímac. ..	62
Figura 12. Ponderaciones para el tipo de suelo de la cuenca del río Rímac.	64
Figura 13. Ponderaciones para el tipo de roca de la cuenca del río Rímac.	66
Figura 14. Ponderaciones para la cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac.	69
Figura 15. Ponderaciones para el uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac.	72
Figura 16. Potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac.	73
Figura 17. Potencial de recarga hídrica dentro del ámbito del acuífero del Rímac.	86

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de Matus (2007) para hallar el potencial de recarga hídrica	35
---	----

RESUMEN

El potencial de recarga hídrica representa una característica de un área para identificar la capacidad de infiltración de agua a un acuífero, es por ello que el presente estudio tuvo como objetivo determinar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac en una población de estudio de 3505.04 km² correspondiente a la cuenca, con un diseño de investigación del tipo experimental – correlacional, usando como instrumento la metodología de Matus (2007), apoyado con el software ArcGIS 10.4 para el análisis de las variables como la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, uso actual de suelo y cobertura vegetal; obteniéndose como resultado que la cuenca del río Rímac presenta las categorías de muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto para el potencial de recarga hídrica, los cuales representan el 4.95%, 41.51%, 50.91%, 2.37% y 0.25% del área total de la cuenca, respectivamente. Concluyéndose que la cuenca del río Rímac presenta una tendencia de potencial de recarga hídrica entre moderado y bajo, puesto que ambos representan el 92.42% del área total de la cuenca, en donde las características físicas de la cuenca del río Rímac influyen en la determinación del potencial de recarga hídrica.

Palabras clave: Potencial, recarga hídrica, Rímac

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el mundo entero, la evolución de nuevas tecnologías y el desarrollo de la población han contribuido con la creación de actividades que han ido repercutiendo en nuestro planeta, impactando de forma positiva o negativa a través de los años. Dichas actividades han afectado los diferentes recursos que tenemos como lo son el agua, aire, suelo, etc. En donde, el recurso hídrico es uno de los más afectados debido a su importancia y sus diferentes usos que se le da para las diferentes actividades. La ONU (2015) afirma que el agua es uno de los principales enfoques de desarrollo sostenible que se tiene en cuenta ya que cumple un rol principal en el desarrollo de las diferentes actividades socioeconómicas que existen y también para poder cumplir con el desarrollo correcto de la vida. Tomando esto, las acciones que se tengan con las diferentes actividades que se realizan en un espacio o terreno generan daños irreparables al recurso hídrico.

Dentro de todo lo que abarca el tema referente al recurso hídrico, uno de los ejes principales que abarca y que se encuentra poco estudiando, son las zonas de recarga hídrica. Fernández (2006) en España estudió la gestión de la recarga de acuíferos en España y afirma que una de las ventajas de las zonas de recarga hídrica es que estas pueden abastecer a la población con una dotación de agua aceptable, pero que aún se tiene una incipiente información respecto al tema. La falta de desarrollo del tema a lo largo de los años ha conllevado que solo se escarben conocimientos potenciales, pero con las nuevas tecnologías y metodologías que fueron apareciendo, se llegó a tener un concepto a ciencia cierta respecto a la recarga hídrica de una cuenca.

En Latinoamérica, los problemas que se pueden contemplar respecto al recurso hídrico no tienen fin, inclusive muchos de estos ocurren debido a la falta de estudios cuando se

planea desarrollar un proyecto, por la mala gestión de un territorio en el cual las actividades socioeconómicas pueden repercutir afectando el agua. Vilela & Jiménez (2003) en Brasil estudiaron el uso de las tierras y el potencial de recarga de agua en el río Gama, en donde resultaron que el potencial de recarga hídrica de las cuencas están en función a las actividades socioeconómicas que se desarrollan en el área de estudio y al uso que se le da a sus tierras. En este continente ya se tenía una razón de estudio respecto al tema del potencial de recarga hídrica a comparación de otros continentes, demostrando mediante metodologías primarias que las actividades que se ejercen cerca de una cuenca, afecta de manera directa la recarga hídrica, trayendo consigo problemas para las poblaciones que hacen uso del agua a lo largo de la cuenca.

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Matus (2007) realizó un estudio Nicaragua llamado “Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potencias de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada en la subcuenca del río Jucuapa” cuyos resultados fueron que el potencial de recarga hídrica de la zona de estudio, analizada mediante el método propuesto por el autor, predomina una recarga moderada con un 59.40 %, la recarga alta con un 21.01%, la recarga baja con un 16.72%, la recarga muy alta con un 1.64% y la recarga muy baja con un 1.22% del área total, además demostrando que mediante esta metodología propuesta, se llegó a tener un conocimiento técnico – científico para la identificación del potencial de recarga hídrica. Este estudio es el cual presenta la primicia por los conocimientos que brinda respecto al tema, teniendo en cuenta que la participación ciudadana es muy importante para la protección y manejo de los potenciales de recarga hídrica de la cuenca.

A su vez, García (2009) en su estudio titulado “Determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Tacó y Shusho, Municipio de Chiquimula,

Departamento de Chiquimula” encontró que el debido manejo de los suelos y la vegetación en una gran proporción, ayudan a la recarga hídrica ya que los valores del potencial de recarga hídrica de la zona de estudio fueron una recarga moderada con un 64.80%, la recarga alta con un 18.30%, la recarga baja con un 14.68%, la recarga muy alta con un 1.15% y la recarga muy baja con un 1.07% del área total de la zona de estudio. El potencial de recarga hídrica se ve influenciado por las características que presenta el área de estudio, en donde el uso de suelo y la vegetación tienen un impacto considerable al momento del cálculo.

Por otro lado, Gómez (2016) desarrolló un estudio en Ecuador llamado “Determinación de zonas de importancia hídrica para la propuesta de conservación y recuperación ambiental en el páramo de Mojanda, Parroquia San Rafael, Cantón Otavalo” cuyos resultados fueron que el área de estudio cuenta con un potencial de recarga hídrico medio en su mayoría, seguida de un alto y medio potencial de recarga hídrica, los valores como muy alto, bajo y muy bajo fueron los que obtuvieron menor porcentaje del área de estudio, alegando que las características como la vegetación y el tipo de suelo fueron factores determinantes. Con esto, se sabe que el área de estudio puede sufrir cambios en sus características, esto repercute en el potencial de recarga hídrica y que se necesita tener entidades que puedan monitorear las actividades a lo largo de la zona de estudio.

Además, Herrera (2017) en su estudio titulado “Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la comuna La Esperanza, provincia del Carchi” encontró que el potencial de recarga hídrica del área de estudio fue de recarga moderada con un 55.46%, recarga alta con 36.52%, baja con un 6.70% y muy alta con 1.32% del área total, manifestando que los factores como la pendiente y el uso del suelo son los que más impactaron en el área de estudio puesto que cuenta con un área muy

accidentada. Las condiciones que se presentan en un área de estudio pueden variar debido a las actividades que se realizan en un área determinada o por la geomorfología de la zona, representando factores importantes al momento de la determinación de los potenciales de recarga hídrica.

En igual forma, Aguilar, Ríos y Ureña (2018) realizaron un estudio en Costa Rica llamado “Estimación de las áreas potenciales de recarga hídrica mediante mediciones de infiltración y modelación hidrológica en la microcuenca río Tigre para ayudar a la gestión del agua de la ASADA San Gabriel” cuyos resultados fueron que el potencial del área de estudio fue en un 33.6% alto, mientras que en las zonas con bajo y muy bajo potencial representan un 28.9%, además el potencial alto y moderado son 14.2% y 23.3% respectivamente, obteniendo también que el almacenamiento subterráneo de agua es una alternativa para el suministro humano. Debido a la escasez de agua en algunas épocas del año y a la mayor demanda poblacional que se tiene respecto al agua, las alternativas de almacenamiento subterráneo de agua surgen como solución a este problema.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Entre los antecedentes nacionales se identificaron estudios que guardan relación con el presente tema de estudio. Si bien es cierto, el tema de investigación no es reciente a nivel internacional, en nuestro país aún no contamos con estudios que hayan aplicado la metodología que se tendrá en cuenta para el estudio. Arela (2014) realizó un estudio en Puno llamado “Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa” cuyos resultados fueron que el 39% de la microcuenca están en condiciones aptas para ser consideradas como una zona de recarga hídrica, por lo que puede ser alimentadora de aguas subterráneas para la parte baja de la microcuenca en cuestión y que a su vez, el manejo de estas zonas debe de ser de vital importancia ya que su vulnerabilidad aumenta con las actividades que se

desarrollan y pueden acabar en la degradación total del recurso hídrico. La vulnerabilidad del recurso hídrico va aumentando a medida que se desarrollan las actividades en una zona y esto puede conllevar a que la oferta hídrica disminuya, generando problemas por las demandas de agua para consumo humano.

Así mismo, Gonzales (2016) en su estudio titulado “Recarga del acuífero de Lima mediante el uso de aguas residuales tratadas” encontró que la ciudad de Lima es la segunda ciudad más grande en el mundo asentada en un desierto, la cual atraviesa problemas con respecto al estrés hídrico que se genera debido a las condiciones físicas que presenta y la recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas es una alternativa amortiguadora ambiental sostenible que puede llevar a manejar este problema. Las técnicas van surgiendo dependiendo de la necesidad de la población, al tener problemas de estrés hídricos en muchas ciudades a nivel mundial e inclusive en nuestro país, nos vemos en la condición de aplicar tecnologías que permitan el desarrollo sostenible de la población y así afrontar los problemas que se tengan respecto al recurso hídrico.

A su vez, Mamani (2017) realizó un estudio en Puno llamado “Recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla” cuyos resultados fueron que las características como la precipitación, el relieve y el suelo son factores determinantes al momento de buscar técnicas para incrementar la disponibilidad hídrica ya que si estos presentan las condiciones adecuadas, se llegará a tener un sistema eficiente de recarga artificial de acuíferos que incrementen la disponibilidad de agua para las poblaciones que lo necesiten. El problema de la disponibilidad de agua es relevante en los últimos años y por eso se están buscando alternativas de solución para que el impacto de la escasez hídrica sea leve, por lo que se toman medidas para poder aumentar la recarga de los cuerpos de

agua como manantiales, ríos o aguas subterráneas para aumentar la disponibilidad del recurso hídrico.

Además, Quispe (2019) en su estudio titulado “Relación entre la capacidad de infiltración y la capacidad de adaptación frente al efecto de disminución de la disponibilidad del recurso hídrico en la Quebrada Quilcayhuanca” encontró que las actividades que se realizan en un área tienen un fuerte impacto en el recurso hídrico ya que estas afectan las condiciones naturales del lugar y algunos factores como la infiltración se ven disminuidos, generando problemas para la recarga hídrica y disminuyendo la disponibilidad del agua pero a su vez, algunas poblaciones están tomando medidas de adaptación para afrontar los problemas respecto al tema de agua.

Las condiciones naturales de un área se pueden ver afectadas si no se toman medidas preventivas respecto a los impactos que se pueden generar cuando se desarrolla una actividad y también las medidas de adaptación de la población frente a los problemas que se tienen sobre el agua deben de ser rápidas y eficaces para poder satisfacer sus necesidades y no tener conflictos socio - ambientales.

En igual forma, Cusquisiban (2019) realizó un estudio en Cajamarca llamado “Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán” cuyos resultados determinaron la ubicación de las zonas de recarga hídrica con una certeza de 78.8%, alegando que los índices favorables que se tienen para la recarga hídrica corresponden a factores como la vegetación vigorosa, la cual permite que exista una mayor recarga hídrica en las zonas donde se presenten estas condiciones. El factor de la vegetación es uno de los componentes más importantes que se tiene al momento de la identificación de las condiciones que se deben de tener para que exista la recarga hídrica ya que mientras más vigorosa sea la

vegetación en un lugar, menor será la escorrentía y mayor serán las condiciones de infiltración.

En el Perú y específicamente en Lima existen algunos problemas respecto al recurso hídrico que han ido aumentando en los últimos años debido a las condiciones nacionales que se tienen respecto al abastecimiento de agua para la población pero a su vez se han ido realizando algunos estudios que abarcan esta problemática y han ido brindando información para poder mitigar algunos problemas que se tienen respecto al recurso hídrico. Como es el caso de Chiong (2015) que estudió la estimación de la recarga del acuífero Rímac en el sector Ate en donde resultó que el volumen de agua que ingresa al suelo, un 15% a 25% llega a recargar el acuífero en cuestión y que las áreas verdes que se tienen en el distrito generan un mayor volumen de agua que recarga el acuífero. Como se sabe, la vegetación es uno de los factores resaltantes cuando se habla de la recarga hídrica de una zona, así mismo, las áreas verdes de una ciudad están dentro de este factor y llegan a contribuir a la recarga de acuíferos en cierta magnitud.

El problema de escasez de agua y la no identificación ni conservación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas de una cuenca son unos de los principales que afronta nuestro país y más aún en las ciudades costeras. Lima y Callao se encuentran dentro de las ciudades que han logrado desarrollarse en un desierto, por lo que la escasez de agua es uno de los principales problemas ambientales que acompaña al crecimiento de la ciudad, generando un enorme desafío en la gestión del recurso hídrico, afectando no solo a las aguas superficiales, ya que entre un 15% al 20% de la población es abastecida mediante aguas subterráneas (Zuccheti, Arévalo y Bleeker, 2012). El crecimiento de la ciudad ha conllevado al desarrollo de más actividades a lo largo del territorio, lo que genera a su vez, más problemas respecto al agua. La brecha hídrica actual de la ciudad de Lima tendrá que

ser cubierta por la sobreexplotación del acuífero de Lima y por la extracción del caudal ecológico del río Rímac, ya que el crecimiento poblacional genera una mayor demanda, la cual genera una disminución de la oferta del recurso hídrico (Gonzales, 2016). La escasez de agua en las ciudades costeras y más aún en Lima va en aumento debido al crecimiento de la ciudad y de la población, estas personas buscan satisfacer sus necesidades básicas, siendo el agua uno de los primeros que se busca.

Las causas de los problemas de abastecimiento de agua y del incorrecto aprovechamiento del recurso hídrico provienen por parte de la población y las autoridades, ya que sin una eficiente gestión e investigaciones respecto al tema del agua, la población buscará la manera de satisfacer sus necesidades básicas. Los problemas que existen respecto al recurso hídrico es el desconocimiento entre la oferta y la demanda del recurso del agua, el ineficiente aprovechamiento del recurso hídrico que está asociado a la falta de inversión en infraestructuras, la ineficiencia de saberes respecto a la cultura y educación ambiental, a la gestión integrada de los recursos hídricos y sobre todo a la falta de investigaciones que se tienen acerca del agua a nivel nacional (ANA, 2013). La falta de investigación respecto a los recursos hídricos de nuestro país es una de las falencias más abruptas que se tiene, sobretodo acerca del tema de las aguas subterráneas que se tienen a nivel nacional. Un 20% de la población se abastece por aguas subterráneas y esta demanda ha ido en aumento por el crecimiento de la población, la cual busca la manera de poder tener agua en sus hogares provocando la disminución de la oferta de las aguas subterráneas (Zuccheti et al., 2012).

A consecuencia de la ineficiente gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú y a la falta de investigaciones que se tiene sobre el tema, se convierte en un problema ambiental grave. Enfocándonos en este último, la falta de investigaciones respecto al

recurso hídrico, y sobre todo en lo que vienen a ser las aguas subterráneas, que es uno de los ejes del presente estudio, han provocado la disminución de las fuentes de agua subterráneas, convirtiéndose en insuficiente para la población. La realización de más estudios científicos de las aguas subterráneas es urgente porque no se tiene información exacta respecto a los pozos operativos, el volumen de extracción ni el impacto que se tiene en el nivel de la napa freática (Zuccheti et al., 2012). Todo esto, ha conllevado a la disminución del recurso hídrico, por lo que llevaría a Lima a serios problemas de estrés hídrico si no se busca una manera de poder amortiguar el impacto que se tiene a las aguas subterráneas que están siendo degradadas y sobreexplotadas por la población y por empresas del sector privado.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Cuenca Hidrográfica

Es un espacio de territorio que se delimita por la línea divisoria de aguas y su terreno está limitado por las partes altas como lo son las colinas y montañas, en este se desenvuelve un sistema de drenaje que reúne sus aguas por medio de los afluentes a un río principal, el cual desemboca en el mar, lago o un río más grande; en su ámbito existen recursos naturales bióticos como fauna y flora, y abióticos como el agua y suelo, que son básicos para el desarrollo de las actividades humanas (Faustino y Jiménez, 2000; Aguirre, 2007).

1.2.1.1. Manejo de Cuencas

El manejo de cuencas es una disciplina o técnica que trata de alcanzar el uso adecuado de los recursos naturales en función del desarrollo de las actividades humanas y las necesidades que tengan, favoreciendo a la vez la sostenibilidad, la calidad de vida y la armonía ambiental (Faustino y Jiménez, 2000).

1.2.2. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico son las distintas etapas sucesivas que recorre el agua al pasar de la tierra hacia la atmósfera y de vuelta, en los diferentes estados que tiene el agua como lo son el líquido, sólidos y gaseoso; en donde cumple un ciclo iniciando con la evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, se condensa en las nubes, precipita, se acumula en el suelo nuevamente o en las masas de agua y comienza de nuevo el proceso (Ordoñez, 2011).

1.2.2.1. Precipitación

Según Castany (como se citó en Matus, 2007) la precipitación es la porción de agua meteórica total, que cae sobre una superficie llamada sección pluviométrica; esta se puede presentar de forma líquida como la lluvia, niebla, rocío o en su fase sólida como nieve, granizo o escarcha.

1.2.2.2. Evapotranspiración

Según Hämmerly (2001) el fenómeno de la evapotranspiración es una combinación entre la pérdida de agua por medio de la transpiración y evaporación directa del agua que se encuentra en el suelo y corresponde a un fenómeno físico en donde el agua en su estado líquido pasa al gaseoso en condiciones naturales, teniendo factores dependientes como la disponibilidad de agua que existe para la vegetación y la cantidad de energía que requiere el proceso para que pueda suceder.

1.2.2.3. Escorrentía

La escorrentía es la corriente de agua que se deposita al rebosar de su cauce ya sea de manera natural o artificial, se refiere a la lámina de agua que recorre por encima de la superficie de la cuenca de drenaje; es también representado como uno de los factores de mayor importancia que ocasiona la erosión en la superficie terrestre, los cuales se aprecian mejor en suelos poco permeables y en lugares donde no existe vegetación en abundancia (Caxi, 2017).

Según Villón (como se citó en Matus, 2007) la escorrentía se puede clasificar en tres diferentes tipos, el primero es la escorrentía superficial que es la que se genera por medio de la precipitación que no es filtrada y escurre sobre toda la superficie, la segunda es la escorrentía sub superficial que se genera a partir de la precipitación que se infiltra y la tercera es la escorrentía subterránea que proviene de las aguas subterráneas, la cual es recargada en cierta magnitud por la precipitación que se infiltra en los suelos.

1.2.2.4. Infiltración

La infiltración se le atribuye al movimiento del agua a través de la estructura interior del suelo, en donde los componentes horizontal y vertical de la velocidad son diferentes en puntos de la sección transversal del suelo (Palacios, 2016).

1.2.3. Balance Hídrico

La Sociedad Geográfica de Lima (como se citó en Paredes, 2017) se refiere al balance hídrico como la determinación de la condición de la oferta y demanda en lo que respecta al recurso hídrico, teniendo en cuenta el espacio y el tiempo en el que se desarrolla para permitir el establecimiento de reglas que protejan y busque un desarrollo sostenible de este recurso.

1.2.4. Aguas subterráneas

El agua subterránea es un recurso de la naturaleza de vital importancia para el suministro económico y el abastecimiento de agua potable de calidad tanto para las poblaciones urbanas como rurales, además que tiene un rol fundamental en la calidad de vida del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos que lo conforman (Foster et al., 2002).

1.2.4.1. Acuífero

Un acuífero es una unidad geológica saturada que tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua debido a su permeabilidad que presenta el tipo de roca, es susceptible de

ser explotada en aspectos económicos considerables ya que pueden atender diversas necesidades que se pueden presentar por parte de la población (Chambilla, 2014).

A su vez, Villón (como se citó en Matus, 2007) menciona que los acuíferos se pueden clasificar de acuerdo a las capas de perfil que presente el suelo en donde se desarrollan, para lo que se tienen los acuíferos libres que son formaciones permeables saturadas que limitan en su parte inferior con una capa que es impermeable, los acuíferos confinados que son formaciones saturadas de agua en donde sus límites superior e inferior son impermeables y los acuíferos semiconfinados que se caracterizan por que las capas inferior y/o superior no son completamente impermeables ya que permiten el paso vertical del agua.

1.2.4.2. Manantial

Según Burga (como se citó en Ocas, 2017) los manantiales son el punto en donde aflora el agua subterránea por factores como la permeabilidad del suelo y la geología que presenta la superficie que permiten este rebrote de agua, en el Perú tiene otros nombres como ojo, fuente o puquio.

1.2.4.3. Recarga y zonas de recarga

Según el ANA (como se citó en Chiong, 2015) define recarga al proceso por el cual ingresa a un acuífero agua que procede del exterior del área que lo limita, en donde el volumen de agua que se infiltra en un intervalo de tiempo, sirve para aumentar las reservas de agua.

A su vez, Custodio (como se citó en Arela, 2014) las zonas de recarga hídrica son áreas en donde ingresa agua a un acuífero procedente del exterior, las procedencias de la recarga son variadas, una es la infiltración por la precipitación que es la más importante, otro es por las aguas superficiales y por último la transferencia de agua entre los diferentes acuíferos en un área determinada.

1.2.4.4. Factores que afectan la recarga hídrica

Según INAB (como se citó en Matus, 2007) los principales factores que afectan la capacidad de recarga hídrica son el clima debido a los fenómenos como la transpiración de las plantas, la evaporación y las lluvias, el suelo por su permeabilidad debido a los diferentes tipos que existen y las texturas con las que se cuenta, la topografía porque las pendientes tienen un rol importante para la generación de las escorrentías, la geología de la zona ya que el material de los estratos o las capas del suelo afectan la cantidad que se recarga, la cobertura vegetal ya que esta disminuye la escorrentía superficial y aumenta la capacidad de recarga por lo mismo que permite un mayor contacto del agua con la superficie y facilita la infiltración, y por último el escurrimiento porque el agua que precipita forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos que son captados por los ríos.

1.2.4.5. Clasificación de las zonas de recarga hídrica

Según Faustino (como se citó en Matus, 2007) las zonas de recarga hídrica se clasifican según el movimiento que tiene el agua en el suelo, subsuelo y el manto rocoso, para lo que tenemos las zonas de recarga hídrica superficial en donde básicamente es toda la cuenca excepto las zonas que son totalmente impermeables, las zonas de recarga hídrica subsuperficial que son las zonas de la cuenca que presentan suelos con una capacidad de retención que permite la concentración de aguas abajo del sistema de drenaje y las zonas de recarga hídrica subterráneas en donde el flujo de infiltración es significativo ya que de esta forma se alimentan los acuíferos.

1.2.4.6. Recarga artificial

La UNESCO (como se citó en Mamani, 2017) se refiere a la recarga artificial como el incremento de la alimentación natural de agua hacia los acuíferos o embalses de agua

subterránea a través de pozos y otras acciones que mejoren las condiciones naturales de recarga.

1.2.4.7. Contaminación de aguas subterráneas

La contaminación de las aguas subterráneas es un fenómeno relativo e importante de considerar ya que todos los acuíferos presentan contaminación en diferentes grados por diferentes sustancias, debido a actividades antropogénicas o naturales, que se han infiltrado por los diferentes procesos de recarga, y esto conlleva a que no se considere al subsuelo como una reserva de agua para poder explotarlo más adelante, si no que se debe considerar la capacidad de almacenamiento que tiene para su debida protección (Echeverri, 1998).

1.2.5. Uso actual de la tierra

El uso actual de la tierra es el producto de la relación e interacción del ser humano y el entorno que lo rodea con la finalidad de satisfacer sus necesidades, en un lugar y tiempo determinado, por eso mismo, está relacionado de una manera estrecha a los factores como el clima, la pendiente que presenta un terreno, al tipo de suelos que se tiene y a la actividad humana que se desarrolla (Valderrama, 2014).

1.2.6. Relieve o topografía

Según Núñez (como se citó en Matus, 2007) se refiere al relieve como la estructura física que presenta la superficie de la tierra, en el cual se incluyen las irregularidades como lo son las elevaciones y depresiones, estas se forman producto de los procesos geológicos y de meteorización que poco a poco van formando el suelo, dentro de las características que presenta están la pendiente que modifica las condiciones que presenta el suelo.

1.2.7. Características del suelo

Según SEMARNAT (como se citó en Herrera, 2019) define al suelo como la capa de material fértil que cubre la superficie de la tierra y que es explotada en gran magnitud por las raíces de las plantas por lo cual obtienen sus nutrientes, también tiene un papel

fundamental en los procesos que se dan en el ecosistema ya que tiene funciones principales como la regulación y distribución del agua a través de las distintas capas.

1.2.7.1. Textura

La textura es una de las principales características físicas que presenta el suelo, los tipos están conformados por grandes grupos representativos como los son las arenas, limos y arcillas, y están referidos como la proporción relativa de los tipos de tamaño de partícula que se encuentran en un volumen de suelo determinado (Erazo, 2019).

1.2.7.2. Materia orgánica

La materia orgánica es la fracción orgánica proveniente de los residuos de plantas y animales que se encuentran en el suelo que beneficia tanto el movimiento de agua y aire, como la retención del agua en el suelo ya que este distribuye de una manera equilibrada los tipos de poros, también disminuye la densidad aparente del suelo por lo que agrega materiales que son menos densos dentro de un mismo volumen que se tiene de suelo (Matus, 2007).

1.2.7.3. Permeabilidad

Según Puga (como se citó en Tolentino, 2018) define a la permeabilidad de los suelos como la capacidad de un cuerpo para posibilitar el paso de un fluido como el agua, sin que este último no vea afectado su tránsito en el interior de su estructura.

1.2.8. Geología

Escobar (como se citó en Matus, 2007) define a la geología como la ciencia que estudia el planeta tierra en su estructura conjunta, ya que describe los materiales que han moldeado y formado la tierra para averiguar la historia y evolución para tratar de comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos.

1.2.8.1. Roca

Una roca es un agregado de minerales de diferentes índoles, estas rocas son las que constituyen el planeta, exactamente en lo que respecta a la corteza terrestre, en donde sus propiedades dependerán de los minerales que están conformados, la dureza, el tamaño de las partículas que la conforman, la cantidad y tamaño de los poros (Aguilar y Carrillo, 2014).

1.2.8.2. Tipos de roca

Las rocas se pueden diferenciar en tres tipos o grupos representativos como las rocas ígneas las cuales son resultado de la solidificación del magma en la superficie (rocas volcánicas) o en el interior de la tierra (rocas plutónicas), las rocas sedimentarias que son formadas sobre la superficie por agentes atmosféricos y superficiales (ríos, glaciares, mares y lagos), y las rocas metamórficas que se refieren a las que se han cristalizado por las altas presiones y temperaturas (Aguilar y Carrillo, 2014).

1.3. Justificación

Actualmente, algunas personas aún cuentan con la idea de que el recurso hídrico es inagotable pero los problemas que se tienen nos dan una vista de la realidad problemática que se afronta con respecto al agua. La verdad es que el agua de calidad es un recurso agotable y muy valioso para el desarrollo de la población no solo del Perú, sino del mundo. Las aguas subterráneas son explotadas a nivel nacional y no se tienen en cuenta aspectos como la capacidad máxima de recarga o cual es el potencial de recarga hídrica de un lugar.

La cuenca del río Rímac, es una de las cuencas más explotadas a nivel nacional, y por lo mismo presenta problemas de escasez de agua. Además, por lo mismo de las condiciones que se tienen como que prácticamente la ciudad de Lima, que está dentro de la cuenca de estudio, se desarrolla en un área desértica y por eso la disponibilidad de agua es menor respecto a otras cuencas que tenemos en el Perú.

A través del presente trabajo se podrá identificar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac porque en nuestro país, y más aún en Lima, no se tienen suficientes estudios respecto a temas de recursos hídricos y en especial de las aguas subterráneas. Por esa razón, el presente estudio se realiza en función de generar nueva información, la cual nos brindará datos de las zonas que deben tener un mayor manejo para poder conservar la recarga natural de las aguas subterráneas y estas no se vean afectadas.

El presente trabajo aportará, en primera instancia, información respecto al tema de los recursos hídricos, que es un tema poco estudiado en el Perú, centrándose en las aguas subterráneas, brindando información acerca del potencial de recarga hídrica de distintas partes de la cuenca del río Rímac, la cual generará información importante para poder llevar un manejo de estas zonas y tener estrategias para mantener los potenciales y que no se vean afectados por las actividades que se realizan en una zona en específica a lo largo de la cuenca.

El presente estudio, es un tema interesante y novedoso, ya que en nuestro país no se tienen estudios exactos acerca del tema y no se han hecho estudios aplicando la misma metodología de la presente investigación, contribuyendo en gran manera a la carrera de Ingeniería Ambiental, ya que con esto se tendrá una primicia del tema aplicado a la cuenca del río Rímac la cual tiene problemas respecto al recurso hídrico y puede beneficiar a otros investigadores a que se puedan plantear y efectuar medidas de manejo a lo largo de la cuenca para poder mantener el potencial de recarga hídrica de la cuenca para que no sea degradada y así no perder la recarga natural de las aguas subterráneas, y poder seguir abasteciendo a la población con el recurso hídrico que es uno de los básicos para poder continuar con el desarrollo de la vida.

1.4. Formulación del Problema

¿Cómo está influenciada la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac según la metodología de Matus?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- ✓ Determinar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac según la metodología de Matus.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Analizar las características físicas de la cuenca del río Rímac.
- ✓ Evaluar el resultado del potencial de recarga hídrica según la metodología de Matus que presenta la cuenca del río Rímac.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- ✓ Se determinará que el potencial de recarga hídrica para la cuenca del río Rímac estará en el rango de 3.5 – 4.09 (alto) según la metodología de Matus.

1.6.2. Hipótesis específicas

- ✓ Las características físicas de la cuenca del río Rímac tendrán influencia en los resultados de la determinación del potencial de recarga hídrica.
- ✓ Los resultados del potencial de recarga hídrica según la metodología de Matus presentan variaciones a lo largo del ámbito de la cuenca del río Rímac.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental – correlacional y tendrá un enfoque cualitativo – cuantitativo. Se determinará el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac aplicando un diseño cuasi experimental. Se utilizarán variables como cobertura vegetal, tipo de roca, tipo de suelo, uso actual de suelo y pendiente, con diseño descriptivo para determinar el potencial de recarga hídrica de la cuenca estudiada.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población de estudio será la información cartográfica de un área de 3505.04 km² correspondiente a la cuenca del río Rímac.

2.2.2. Muestra

Información cartográfica sobre cobertura vegetal, pendiente, tipo de roca, tipo de suelo y uso actual del suelo, con un área de 3505.04 km² correspondiente a la cuenca del río Rímac.

2.3. Materiales, Software y metodología

2.3.1. Materiales

- ✓ Laptop

2.3.2. Software

- ✓ Software ArcGIS 10.4: sistema que permite la realización de acciones como recopilar, organizar, analizar y administrar información cartográfica (ESRI, 2020).
- ✓ Información cartográfica en formato shapefile de la cuenca del río Rímac correspondiente a la cobertura vegetal, pendiente, tipo de roca, tipo de suelo y uso actual de suelo.

2.3.3. Metodología

2.3.3.1. Técnica e instrumento de recolección de datos

Las técnicas utilizadas son la observación y el análisis de la información cartográfica en formato shapefile sobre la cobertura vegetal, pendiente, tipo de roca, tipo de suelo y uso actual de suelo, correspondiente a la cuenca del río Rímac. El instrumento que se utilizará para el presente trabajo de investigación es la metodología de Matus (2007), la cual es una metodología adaptada para nuestra área de estudio y la cual cumplirá con los objetivos de la investigación. Según Matus (2007), esta metodología está validada y soportada por las contribuciones que se obtuvieron de los técnicos, comunitarios y especialistas, que se recolectaron por medio de entrevistas especializadas y también en la revisión de la literatura en la cual se analizaron las metodologías existentes para la determinación del potencial de recarga hídrica; agregando a esto, la confiabilidad de esta metodología se encuentra en el análisis estadístico de nombre Chi Cuadrado, en el cual se observó que no existe diferencias significativas en los criterios brindados por los especialistas, comunitarios y técnicos, para los elementos que conforman el análisis del potencial de recarga hídrica. Teniendo en cuenta el proceso de análisis desarrollado por Matus (2007) para el planteamiento de su metodología, el instrumento que se usará para el presente trabajo de investigación presenta elementos de validez y confiabilidad que están fundamentados.

2.3.3.2. Proceso de recolección de datos

Para la realización del proceso de recolección de datos se basa en la recopilación y creación de información cartográfica reunida de entidades que hayan realizados estudios en el ámbito de la cuenca del río Rímac, en donde, para el presente trabajo, se utilizó la información correspondiente a entidades como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, el Ministerio de Ambiente y El Observatorio del Agua Chillón, Rímac y

Lurín. La información cartográfica recolectada y creada a partir de los estudios de estas entidades se basó en la información respecto a la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y tipo de suelo que presenta la cuenca del río Rímac. Según Matus (2007), esta información cartográfica es la necesaria para realizar la determinación del potencial de recarga hídrica, para su póstumo análisis por medio de la revisión de los datos obtenidos y también con el uso del software ArcGIS 10.4, el cual servirá como herramienta principal en el presente trabajo.

2.3.3.3. Proceso de análisis de datos

Para el proceso de análisis de datos, la metodología que se aplicará para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac será la metodología propuesta por Matus (2007), en la cual, por medio de las variables de cobertura vegetal, pendiente, tipo de roca, tipo de suelo y uso actual de suelo, se logrará determinar el potencial de recarga hídrica. A continuación, se presentarán, según Matus (2007), las características de las variables, la ponderación que se le da a cada una y también la fórmula final con la cual se determinará el potencial de recarga hídrica.

✓ Pendiente

Se observa que la pendiente presenta diferente ponderación para la posibilidad de recarga hídrica (Tabla 1), notándose que mientras más elevada sea esta, menos posibilidad de recarga tendrá.

Tabla 1

Ponderación de la Capacidad de Recarga Hídrica de acuerdo al Tipo de Pendiente

Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Planos a casi			
planos/con o sin rugosidad	0 – 6	Muy alta	5

Moderadamente ondulados/cóncavos	6 – 15	Alta	4
Ondulados/cóncavos	15 – 45	Moderada	3
Escarpados	45 – 65	Baja	2
Fuertemente escarpados	> 65	Muy baja	1

Nota: Esta tabla muestra las ponderaciones y la posibilidad de recarga que se tienen para la variable de pendiente y microrrelieve. Recuperado de Matus (2007).

✓ Tipo de suelo

Se contempla que el tipo de suelo que presenta la superficie de un terreno cuenta con diferente ponderación dependiendo del tamaño de partícula y la capacidad de infiltración que presenta (Tabla 2), en donde los suelos con mayor tamaño de partícula son los que tienen mayor posibilidad de recarga hídrica.

Tabla 2

Ponderación de la Capacidad de Recarga Hídrica según la Textura de Suelo

Textura	Posibilidad de Recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos a arenosos o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a	Moderada	3

moderadamente rápida capacidad de infiltración

Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración

Baja

2

Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración

Muy baja

1

Nota: La presente tabla muestra la ponderación y la posibilidad de recarga que se tienen para la variable de tipo de suelo. Recuperado de Matus (2007).

✓ Tipo de roca

Se observa que el tipo de roca que se encuentra en una superficie tiene diferente ponderación debido a características como su permeabilidad o del tamaño del grano de la roca (Tabla 3), en donde las rocas constituidas por agregados gruesos y que presenten mayor porosidad, contarán con mayor posibilidad de recarga.

Tabla 3

Ponderación de la Capacidad de Recarga Hídrica según el Tipo de Roca

Rocas	Posibilidad de Recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macro poros interconectados	Muy alta	5

entre si, con arenas gruesas, piedras

pómez, gravas o cascajos.

Rocas permeables, suaves, constituidas
por cristales o agregados medianos, con
poros conectados entre si, como arenas
finas, areniscas, con poca cementación.

Alta

4

Rocas moderadamente permeables, semi –
suaves, con regular conexión de poros
entre si.

Moderada

3

Rocas poco permeables, un poco duras,
moderadamente compactadas, constituidas
por partículas finas, una combinación de
gravas con arcillas, con presencia de
fracturas conectadas entre si.

Baja

2

Rocas impermeables, duras, cementadas,
compactadas, constituidas por partículas
muy finas, sin presencia de fracturas.

Muy baja

1

Nota: La tabla muestra la ponderación y la posibilidad de recarga que se tienen para la variable de tipo
de roca. Recuperado de Matus (2007).

✓ Cobertura vegetal

Se nota que la cobertura vegetal que presenta un área determinada presenta diferente
ponderación dependiendo de la abundancia de esta (Tabla 4), observándose que los
terrenos que cuenten con mayor porcentaje de cobertura vegetal, serán los que tengan
mayor posibilidad de recarga hídrica.

Tabla 4

Ponderación de la Capacidad de Recarga Hídrica según la Cobertura Vegetal

Cobertura Vegetal (%)	Posibilidad de Recarga	Ponderación
> 80%	Muy alta	5
70 – 80%	Alta	4
50 – 70%	Moderada	3
30 – 50%	Baja	2
< 30%	Muy baja	1

Nota: La tabla muestra la ponderación y la posibilidad de recarga que se tienen para la variable de porcentaje de cobertura vegetal. Recuperado de Matus (2007).

✓ Uso actual del suelo

Se contempla que el uso actual del suelo que presenta un área, tiene diferente ponderación debido a las actividades que se realizan en el mismo (Tabla 5), notándose que los suelos que presenten menos actividades agrícolas, son los que cuentan con una mayor posibilidad de recarga hídrica.

Tabla 5

Ponderación de la Capacidad de Recarga Hídrica según el Uso Actual del Suelo

Uso del suelo	Posibilidad de Recarga	Ponderación
Bosques que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	Moderada	3

Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	Muy baja	1

Nota: La tabla muestra la ponderación y la posibilidad de recarga que se tienen para la variable de uso actual de suelo. Recuperado de Matus (2007).

Para poder determinar el potencial de recarga hídrica según Matus (2007), se aplicará la fórmula que propone (Ecuación 1):

Ecuación 1. Fórmula de Matus (2007) para hallar el potencial de recarga hídrica

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cv) + 0.13(Us)]$$

Donde:

- ✓ **Pend:** Pendiente y microrrelieve
- ✓ **Ts:** Tipo de suelo
- ✓ **Tr:** Tipo de roca
- ✓ **Cv:** Cobertura vegetal
- ✓ **Us:** Uso de suelo

Finalmente, para poder hallar el potencial de recarga con el modelo propuesto por Matus (2007), se analizarán junto con una tabla, los valores obtenidos de los resultados de la operación anterior, que serán comparados con un rango y con esto se determinará el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, esto se realizará con ayuda del software ArcGIS 10.4, el cual servirá para realizar las ponderaciones y cálculos. Se observa que el potencial de recarga hídrica presenta rangos que van acorde al valor final que resulte de la fórmula presentada anteriormente (Tabla 6), notándose que los valores mayores a 3.5 tendrán un potencial de recarga hídrica alto o muy alto.

Tabla 6

Potencial de Recarga Hídrica según el Modelo Propuesto por Matus (2007)

Potencial de Recarga Hídrica	Rango
Muy Alto	4.5 – 5
Alto	3.5 – 4.09
Moderado	2.6 – 3.49
Bajo	2 – 2.59
Muy bajo	1 – 1.99

Nota: En la presente tabla se muestran los rangos de los valores que resultaran de la fórmula aplicada junto con sus respectivos potenciales de recarga hídrica. Recuperado de Matus (2007).

2.3.4. Aspectos éticos

Acorde con el punto de vista ético, se deben de cumplir con las normas técnicas nacionales e internacionales, además de tener en cuenta los estándares mínimos para evaluar los parámetros o variables, y no crear algún tipo de afectación o daño al medio en nuestro rol de investigadores debido a que no se interactúa solo con el medio ambiente, sino también con comunidades, las cuales debemos de respetar sus costumbres y cultura.

Debido a ello, por medio del presente trabajo de investigación se busca realizar un correcto análisis de las variables establecidas anteriormente en la metodología planteada, siguiendo sus lineamientos y dejando en claro su uso para el presente trabajo, teniendo en cuenta que no se va a atender contra ningún aspecto ético.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Descripción del área de estudio

La cuenca de estudio se encuentra limitada entre los paralelos 11°30' y 12°15' de latitud sur, 76° y 77° longitud oeste, teniendo un área de 3505.04 km² (Observatorio del agua

Chillón, Rímac y Lurín, 2019). Su ubicación política se encuentra en la jurisdicción de los departamentos de Lima y Junín, siendo este último en una menor proporción. La cuenca del río Rímac se centra en las provincias de Lima, Huarochirí y Yauli, los cuales se encuentran frente a la costa del Perú. Limita al norte con la cuenca del río Chillón, al sur con la cuenca del río Lurín y al este con la cuenca del río Mantaro (Figura 1).

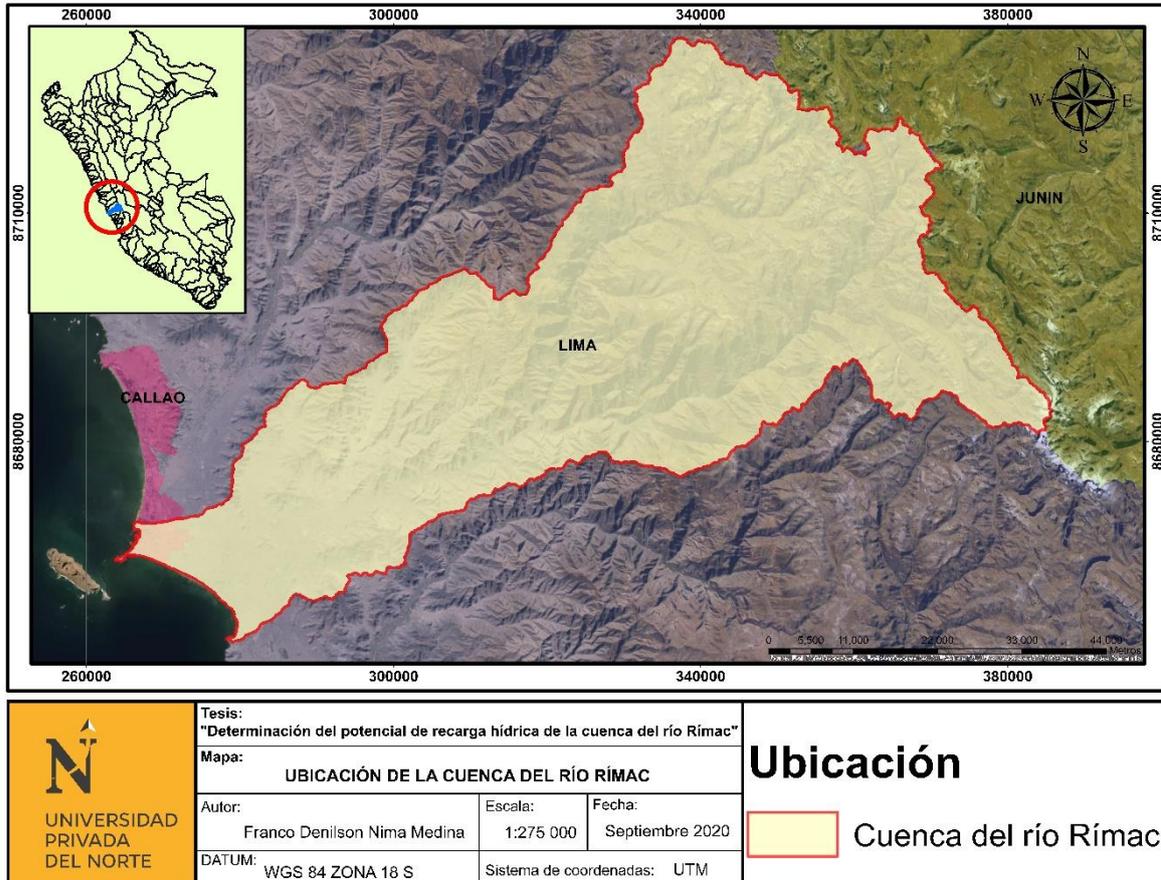


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Rímac.

El principal río es el Rímac, el cual tiene su origen en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes con una altitud máxima aproximada de 5500 m.s.n.m. en el nevado de nombre Pacay. Dicho nevado se encuentra aproximadamente a 132 km al noreste de la ciudad de Lima, el presente río desemboca en el Callao, exactamente en el Océano Pacífico.

Según la Autoridad Nacional del Agua (como se citó en el Observatorio del agua Chillón, Rímac y Lurín, 2019), la cuenca del río Rímac se divide en 9 unidades hidrográficas menores a lo largo de su recorrido (Tabla 7).

Tabla 7

Unidades Hidrográficas menores de la cuenca del río Rímac

Unidades Hidrográficas	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Bajo Rímac	441.03	13%
Jicamarca	432.31	14%
Medio Rímac	267.6	8%
Santa Eulalia	1077.37	31%
Medio Alto Rímac	633.31	18%
Parac	130.43	4%
Parac – Alto Rímac	55.93	2%
Blanco	237.75	7%
Alto Rímac	169.81	5%
Total	3505.54	100%

Nota: En la presente tabla se muestran las unidades hidrográficas menores que se encuentran dentro de la cuenca del río Rímac, con sus respectivas áreas. Recuperado del Observatorio del agua Chillón, Rímac y Lurín (2019).

La cuenca del río Rímac presenta 9 unidades hidrográficas ya mencionadas anteriormente, estas se distribuyen y se sitúan a lo largo de su recorrido. Se puede apreciar que existe una variación de los tamaños de las unidades hidrográficas (Figura 2), en donde resalta que la unidad gráfica más grande es la de Santa Eulalia y la más pequeña es la de Parac – Alto Rímac.

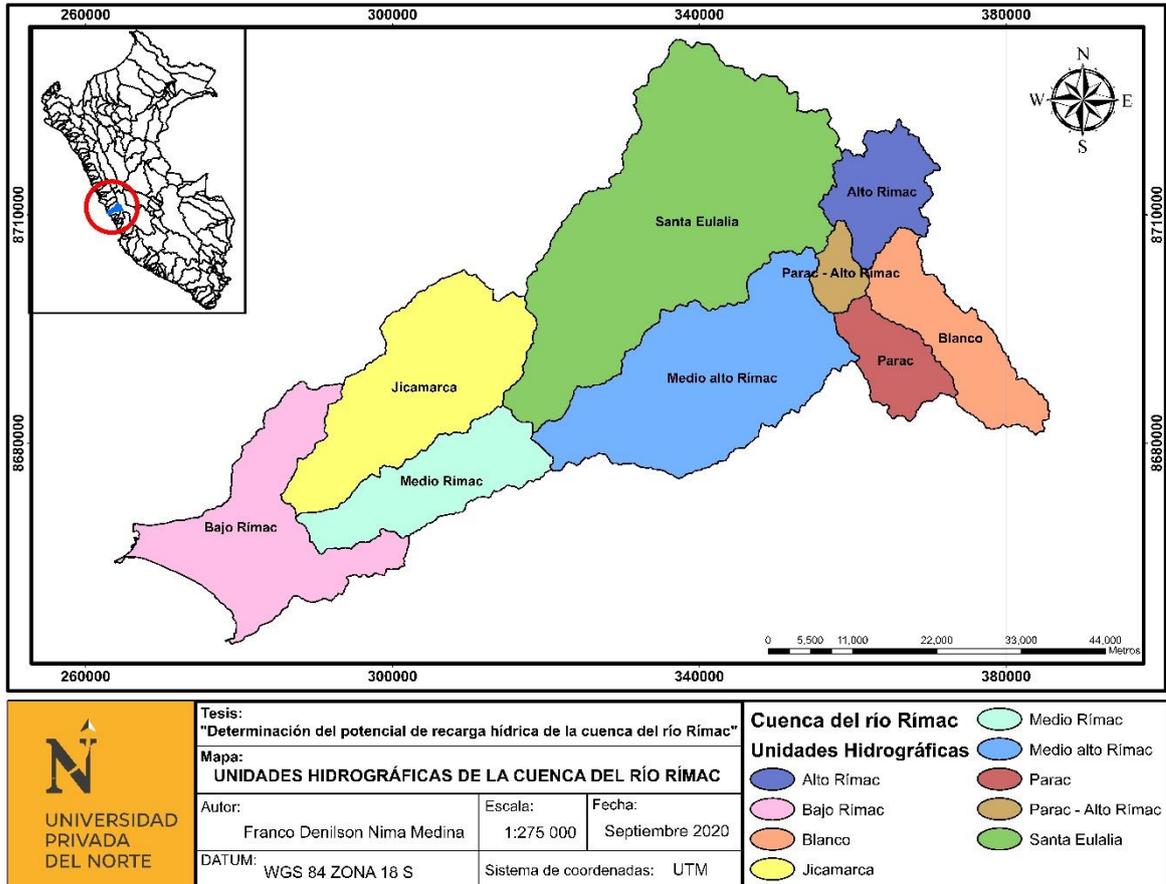


Figura 2. Unidades hidrográficas dentro del ámbito de la cuenca del río Rímac.

2.4.2. Características biofísicas de la cuenca

2.4.2.1. Precipitación

La cuenca del río Rímac presenta un comportamiento variado en lo que respecta a la precipitación ya que este varía dependiendo de la elevación del terreno que se tenga. Dicho esto, la mayor intensidad de precipitación se encuentra en las partes altas, mientras que en las partes bajas de la cuenca la precipitación es mínima.

En nuestro país, tenemos una demarcada temporada de lluvias que se diferencian en los distintos meses del año, con esto tenemos que la temporada de fuertes lluvias corresponden a los meses de noviembre a abril, mientras que los meses de bajas lluvias corresponden a los meses de mayo a octubre.

Según el Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín (2019), hicieron un análisis de la precipitación en su estudio de las cuencas en mención, de donde se rescata que la

precipitación promedio multianual entre los años 1981 – 2017 es de 385.4 mm para la cuenca del río Rímac y que la precipitación promedio anual varía a lo largo de su recorrido (Figura 3).

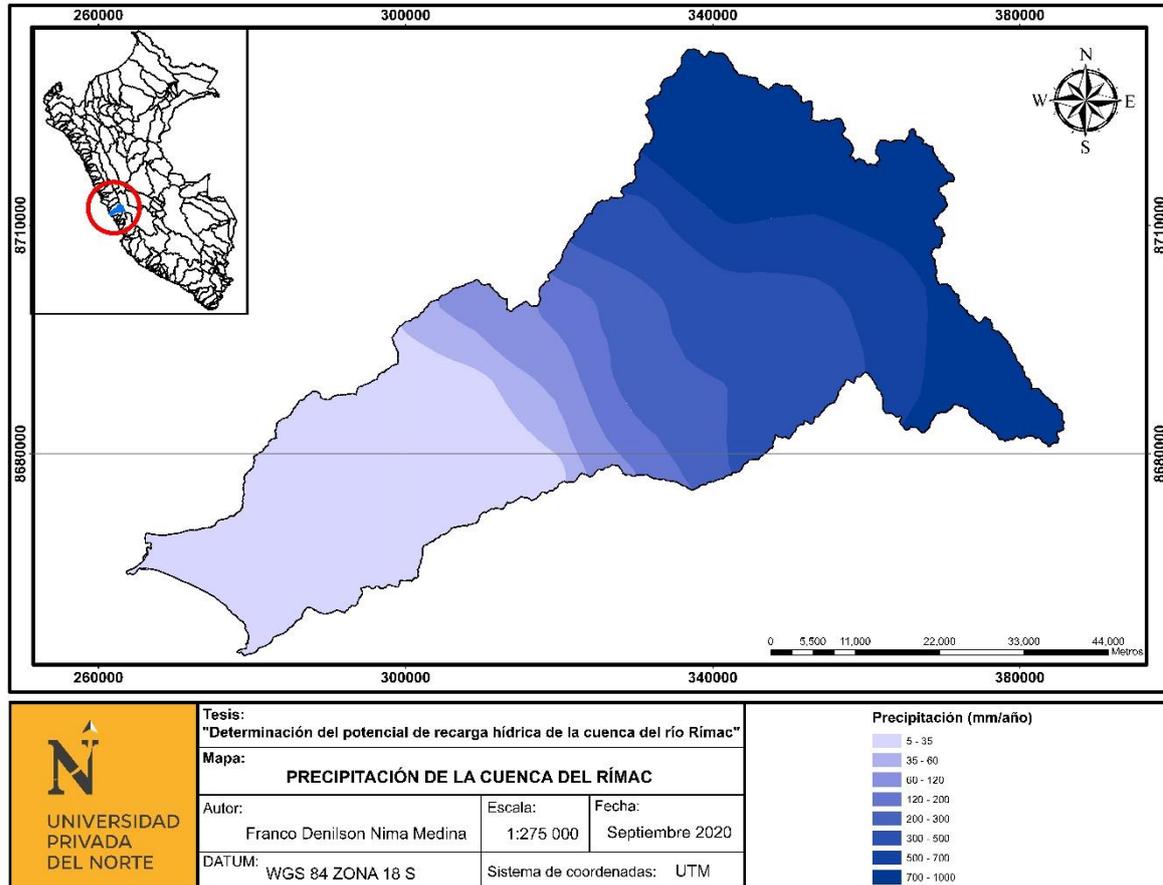


Figura 3. Precipitación anual de la cuenca del río Rímac.

2.4.2.2. Temperatura

De acuerdo con el SENAMHI (como se citó en Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín, 2019), la temperatura es una variable que tiene una cercana relación con la altura que presenta el área de estudio, además de la variación de las estaciones climáticas que se tiene en el año.

En lo que respecta a las temperaturas máximas de la cuenca del río Rímac, se tiene que en la parte baja de la cuenca se encuentran las condiciones climáticas más cálidas, las cuales predominan con temperaturas entre los 24°C y 28°C. Para lo que corresponde a la parte de la cuenca media, en donde el piso altitudinal va aumentando, la temperatura varía

entre los 16°C y 22°C. Por último, en la parte alta de la cuenca, en donde se encuentra el máximo nivel altitudinal de la cuenca, ya se encuentran las condiciones más frías y esto se nota por la presencia de los nevados, para lo que se tiene una temperatura que varía entre los 8°C y 16°C (Figura 4).

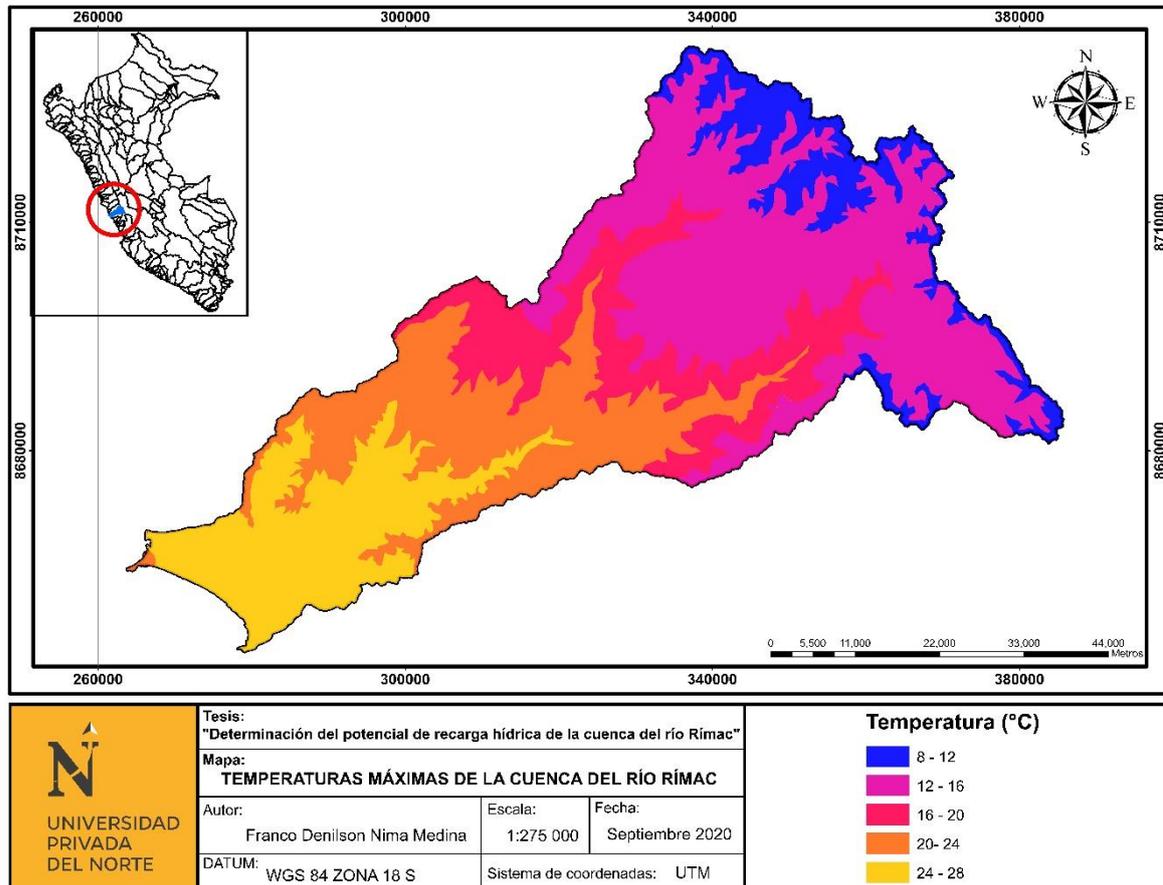


Figura 4. Temperaturas máximas de la cuenca del río Rímac.

Por otro lado, para lo que son las temperaturas mínimas de la cuenca del río Rímac, en la parte baja de la cuenca se tienen temperaturas correspondientes entre los 12°C y 16°C, en la parte de la cuenca media los valores varían entre los 4°C y 10°C, y en la parte de la cuenca alta, en donde ya se sienten las temperaturas mínimas y se notan por la presencia de la nieve, se tienen valores entre los -8°C y -4°C (Figura 5).

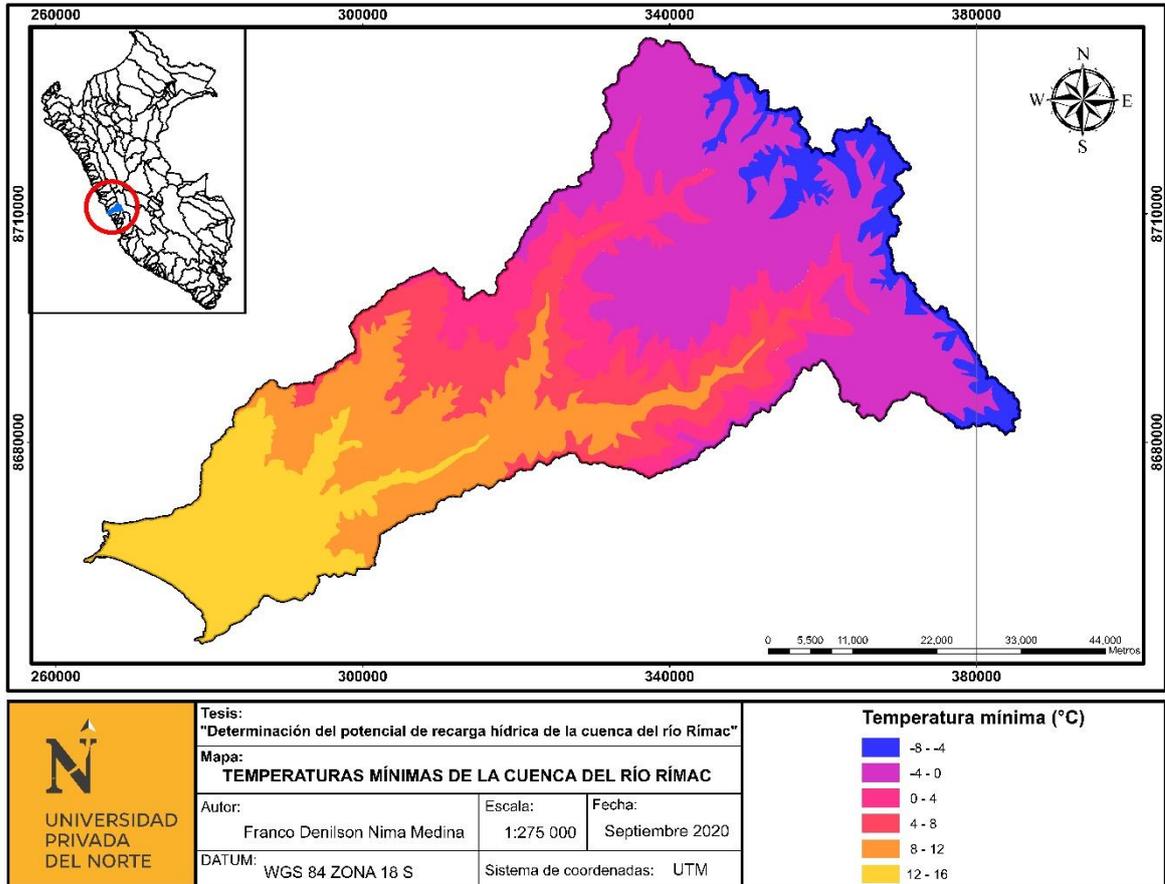


Figura 5. Temperaturas mínimas de la cuenca del río Rímac.

2.4.2.3. Pendiente y microrrelieve

El relieve del terreno es una de las características principales para poder determinar el potencial de recarga hídrica. En el caso de la cuenca del río Rímac, debido a los pisos altitudinales que presenta a lo largo de sus diferentes zonas como lo son la parte baja, media y alta de la cuenca, se tiene en cuenta que esta característica varía en su recorrido. Para el presente estudio se tomó en consideración la categorización según Matus (2007) junto con la información del Geoservidor del MINAM en formato shapefile para poder tener las pendientes respectivas de la cuenca de estudio y los valores de las áreas por cada rango de pendiente que tenemos (Tabla 8).

Tabla 8

Pendientes y microrrelieves de la Cuenca del río Rímac

Microrrelieve	Pendiente (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	278.67	8%
Moderadamente ondulado/cóncavo	6 – 15	279.71	8%
Ondulado/Cóncavo	15 – 45	1343.55	38%
Escarpado	45 – 65	901.69	26%
Fuertemente escarpado	> 65	701.41	20%
Total		3505.04	100%

Nota: En la presente tabla se muestran las áreas que se tienen para cada tipo de microrrelieve que se encuentra en la cuenca del río Rímac. Recuperado del Geoservidor del MINAM (2020).

El microrrelieve y la pendiente presentan variaciones a lo largo del recorrido de la cuenca del río Rímac (Figura 6), esto se llega a dar debido a las diferentes características que presenta el terreno en el cual se desarrolla la cuenca.

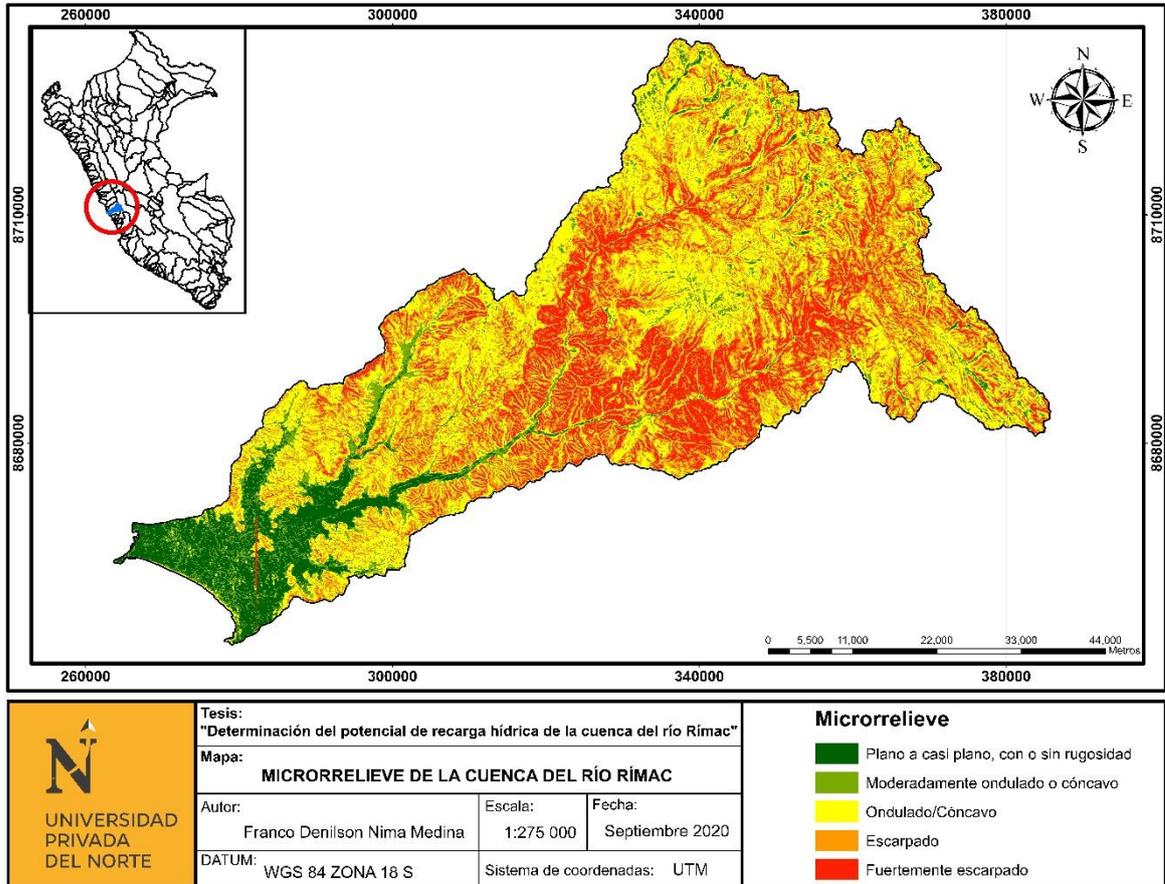


Figura 6. Microrrelieve que presenta la cuenca del río Rímac.

2.4.2.4. Tipo de suelo

La clasificación de los suelos del Perú fue desarrollado según el INRENA (como se citó en el Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín, 2019), para lo cual, en lo que respecta a la cuenca del río Rímac se identificaron 5 tipos de asociaciones de suelos en el ámbito de estudio, los cuales son:

✓ Fluvisol éutrico – Regosol éutrico (Fle – RGe):

- Fluvisol éutrico: es un tipo de suelo que se desarrolla en los depósitos aluviales y está presente junto al río principal de nuestro estudio. Según FAO (2008) menciona que los suelos de este tipo son jóvenes, que cuentan con un material parental entre franco y arenoso debido a que su formación es cercana a los ríos y mares.
- Regosol éutrico: es un tipo de suelo que es gravoso ligeramente y que se ha desarrollado a partir de materiales no consolidados. Este tipo de suelo presenta como

material parental desde gravas hasta materiales finos no consolidados, por lo cual facilita su avenamiento (FAO, 2008).

- ✓ Leptosol lítico – Afloramiento lítico (LPq – R): es un tipo de suelo que presenta como característica principal su desarrollo de manera muy superficial ya que nace a partir de rocas duras, coherentes y consolidadas. El material de su litología se originó principalmente por rocas como las cuarcitas, lutitas, areniscas, rocas volcánicas y calizas. Según FAO (2008) menciona que este tipo de suelo presenta varios tipos de roca continua y entre un 20% en volumen de tierra fina, además se refiere a que el término lítico deriva a que este tipo de suelo contiene roca continua que inicia después de 10 cm de superficie del suelo.
- ✓ Leptosol dístrico – Afloramiento lítico (LPd – R): tipo de suelo que se desarrolla de manera normal en laderas que presentan una fuerte pendiente, cuenta con poco espesor y debido a esto se caracterizan por ser un suelo muy superficial que se origina a partir de rocas duras o áreas muy pedregosas. El término dístrico se refiere a que presenta una saturación con bases en su estructura que es menor al 50%, en el caso de los leptosoles luego de 5 cm aproximadamente de la capa del suelo comienza directamente una roca continua (FAO, 2008).
- ✓ Regosol dístrico – Afloramiento lítico (RGd – R): tipo de suelo que se presenta más que nada en las cadenas occidentales de los Andes. Según FAO (2008) mencionan que el material parental de este tipo de suelo es un material no consolidado de grano fino, además que presenta características como la baja retención del agua.
- ✓ Arenosol háplico – Solonchak háplico (ARh – SCh):
 - Arenosol háplico: es un tipo de suelo que se desarrolló a partir de materiales transportados por los vientos, caracterizado por ser un suelo profundo y también por su drenaje excesivo debido a que presenta un material parental de textura gruesa

como la arena o arena gruesa. El término háplico se refiere a cuando el suelo no presenta una característica adicional a las que existen normalmente (FAO, 2008).

- Solonchek háplico: es un tipo de suelo caracterizado por ser altamente salino, para cuyas sales que hay en su estructura se presentan en forma de cloruros, sulfatos de sodio, calcio y magnesio. Presenta un material parental de textura gruesa de tipo arena y arena – franca. Según FAO (2008) este tipo de suelos presenta una gran concentración de sales solubles en alguna época del año y presentan un perfil que va desde débil hasta fuertemente meteorizados.

Los tipos de suelo que presenta la cuenca del río Rímac varían ya sea dependiendo del proceso de meteorización que han sufrido a lo largo de los años y también por las condiciones que se encuentran que pueden alterar su estructura formando características independientes por cada tipo de suelo. En el caso de la presente cuenca estudiada, se organizó la información para tener una mejor visualización de los tipos de suelo que conforman la cuenca en todo su recorrido (Tabla 9).

Tabla 9

Tipos de suelo presentes en la cuenca del río Rímac

Tipo de suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Arenosol háplico – Solonchak háplico	28.48	1%
Fluvisol éutrico – Regosol éutrico	408.14	12%
Leptosol dístrico – Afloramiento lítico	1034.81	30%
Leptosol lítico – Afloramiento lítico	692.76	20%
Regosol dístrico – Afloramiento lítico	1340.85	38%
Total	3505.04	100%

Nota: En la presente tabla se muestran los tipos de suelos que existen en la cuenca del río Rímac con sus respectivas áreas. Recuperado del Observatorio del agua Chillón, Rímac y Lurín (2019).

En la cuenca del río Rímac se presentan características de suelo que varían dependiendo de las condiciones que se presentan, estas condiciones hacen que se tengan tipos de suelo definidos a lo largo de la cuenca. Para el caso de la cuenca del río Rímac se identificaron 5 tipos de suelos que la conforman y varían en su recorrido (Figura 7).

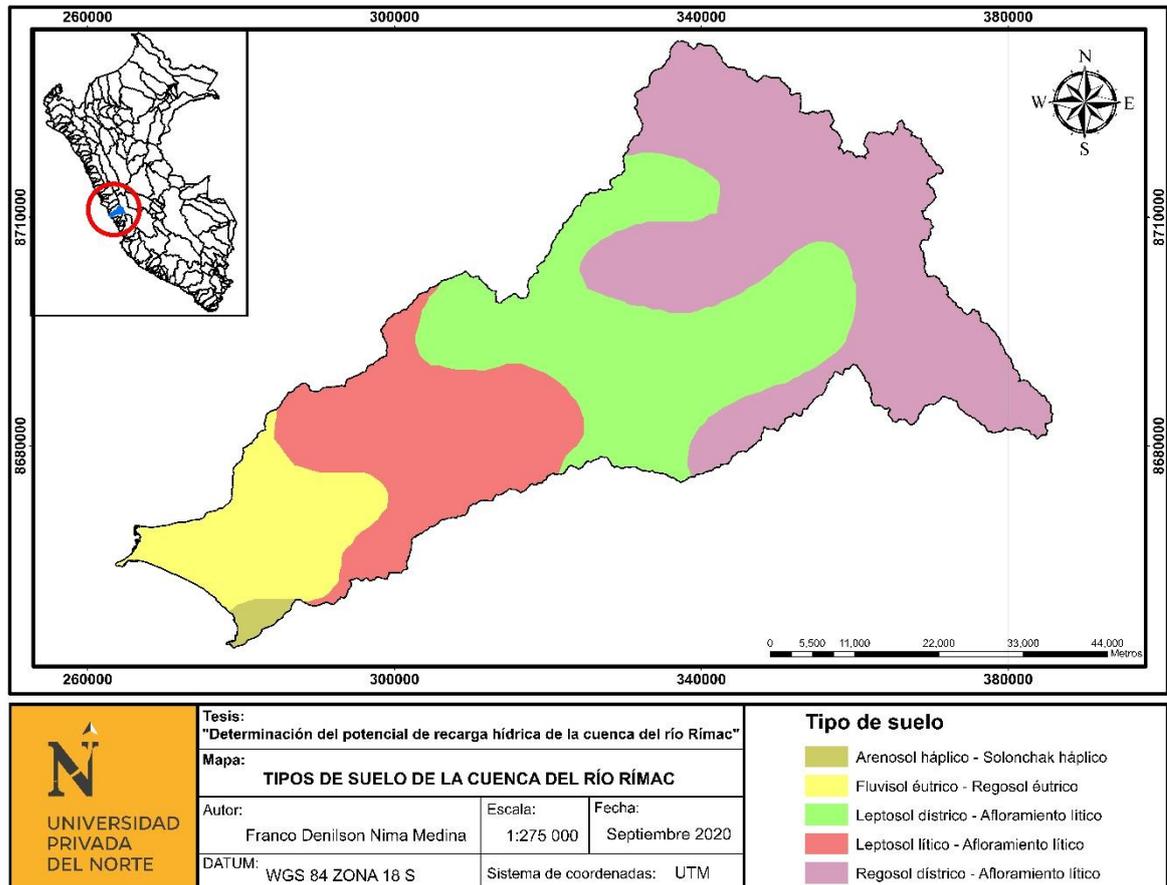


Figura 7. Tipos de suelo que se identificaron en el ámbito de la cuenca del río Rímac.

2.4.2.5. Geología

La clasificación de las formaciones geológicas fue desarrollada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (como se citó en el Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín, 2019), para lo que se refiere a la cuenca del presente estudio, se identificaron 5 unidades litológicas que fueron clasificadas según su composición y origen, además que cada unidad litológica se caracteriza por la presencia de formaciones, grupos y miembros, las cuales son:

- ✓ Depósitos superficiales: son depósitos que fueron formados sobre la superficie terrestre por la acción de diferentes agentes de la atmósfera y superficiales como lo son los ríos, mares, lagos, entre otros (Gisbert y Carrillo, 2002). Algunos tipos de depósitos son:
 - Depósitos glaciales: son conocidos también como depósitos morrénicos, se sitúan en los valles glaciares, más que nada en las cabeceras de las cuencas.
 - Depósitos fluvioglaciares: son depósitos que presentan materiales glaciares que han sido transportados en su mayoría por agua producto del deshielo.
 - Depósitos aluviales: formado por acumulaciones de material transportado por la escorrentía superficial, los cuales dan como resultado el alejamiento de su lugar de origen.
 - Depósitos fluviales: son material acumulado que se ubica en el cauce del río Rímac y sus principales tributarios.
 - Depósitos eólicos holocenos: depósitos de material producido por la acción del viento, los cuales se reclasifican en arenas finas y limos.
- ✓ Rocas intrusivas: también conocido como rocas plutónicas, formadas en el interior de la tierra y son producto del enfriamiento del magma (Gisbert y Carrillo, 2002). En el caso de la cuenca del río Rímac, se presenta la súper unidad Santa Rosa que en su composición presenta cuerpos dioríticos, otros cuerpos que afloran en menor magnitud son las súper unidades Patap y Paraíso.
- ✓ Rocas volcánicas: son también conocidas como rocas extrusivas, se forman producto de la solidificación del magma fundido en la superficie terrestre (Gisbert y Carrillo, 2002). Algunas de las formaciones de rocas volcánicas que presenta la cuenca del río Rímac son:

- Volcánico Milotingo: aflora en la parte alta de la cuenca del río Rímac. Algunas de las secuencias que está formado son las andesitas, las cuales se encuentran intercaladas con lodolitas y areniscas.
 - Grupo Colqui: es otra de las formaciones volcánicas que afloran en la parte alta de la presente cuenca de estudio. En su composición presenta secuencias de derrames andesíticos, tufos, aglomerados volcánicos y también algunas partes con capas de areniscas y calizas.
 - Volcánico Yangas: aflora en mayor magnitud en la parte baja de la cuenca del río Rímac. Presenta secuencias de lavas andesíticas, lodolitas y limolitas que en diferentes niveles se intercalan. En lo que respecta a la parte más superficial, se constituyen por limolitas y areniscas.
- ✓ Rocas volcano – sedimentarias: son formaciones de rocas que se han enfriado en la superficie terrestre y han pasado por procesos de erosión debido a diferentes agentes atmosféricos (Gisbert y Carrillo, 2002). Algunas de las formaciones que presenta la cuenca en estudio son:
- Formación Huarochirí: aflora en la parte de la cuenca alta del río Rímac. Presenta una secuencia intercalada de rocas sedimentarias y volcánicas, que se alternan con limolitas y areniscas.
 - Grupo Rímac: aflora más que nada en la parte alta de la cuenca de estudio, para lo cual presenta tres series que son serie volcano – sedimentarias, serie volcánico tobácea y serie tobácea, en las cuales predominan en su composición las tobas y areniscas.
- ✓ Rocas sedimentarias: este tipo de rocas se forman sobre la superficie y son producto de la acción de agentes superficiales como los ríos y glaciares, y también por agentes

atmosféricos (Gisbert y Carrillo, 2002). Algunas de las formaciones que presenta la cuenca del río Rímac son:

- Formación río Blanco: se presentan esencialmente en la parte baja de la cuenca de estudio y consta principalmente de intercalaciones de calizas.
- Formación Carlos Francisco: es otra de las formaciones que aflora en la parte baja de la cuenca del río Rímac y es fácilmente afecta por la erosión, en su composición cuenta con areniscas, andesitas y limolitas.
- Formación Casapalca: su afloramiento se presente en las partes altas de la cuenca de estudio y en su composición presenta areniscas, conglomerados y limo – arcillas.
- Formación Jumasha: afloran en menor magnitud en la cuenca del río Rímac y en su composición presenta intercalaciones de calizas.
- Formación Atocongo: afloramiento que se presenta principalmente en la parte baja de la cuenca de estudio y está constituido por intercalaciones de limolitas y calizas.

La cuenca del río Rímac presenta diferentes unidades litológicas a lo largo de su recorrido, cada una fue identificada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (como se citó en el observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín), por lo cual, para este presente trabajo se hizo una reclasificación tomando en cuenta las características de cada una de las unidades litológicas, para lo cual nos basaremos en la característica de la permeabilidad de estas unidades. Esta nueva reclasificación permite analizar esta característica que va acorde a lo planteado por Matus (2007), la permeabilidad varía a lo largo del recorrido de la cuenca de estudio, para lo cual se ordenó la información que tenemos según esta característica (Tabla 10).

Tabla 10

Niveles de permeabilidad que presenta la cuenca del río Rímac

Permeabilidad	Área (km ²)	Porcentaje (%)
---------------	-------------------------	----------------

Baja	32.66	1%
Moderada	301.53	9%
Alta	2381.95	68%
Muy Alta	789.4	23%
Total	3505.54	100%

Nota: En la presente tabla se muestran niveles de permeabilidad que existen en la cuenca del río Rímac con sus respectivas áreas. Recuperado del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2020).

La reclasificación acorde a la metodología de Matus (2007), permite tener una visión de una de las características principales que presenta la litología de la cuenca del río Rímac, estos tipos de roca presentan particularidades, las cuales fueron definidas por la metodología mencionada anteriormente, por lo cual se obtuvieron diferentes permeabilidades en el recorrido de la cuenca de estudio (Figura 8).

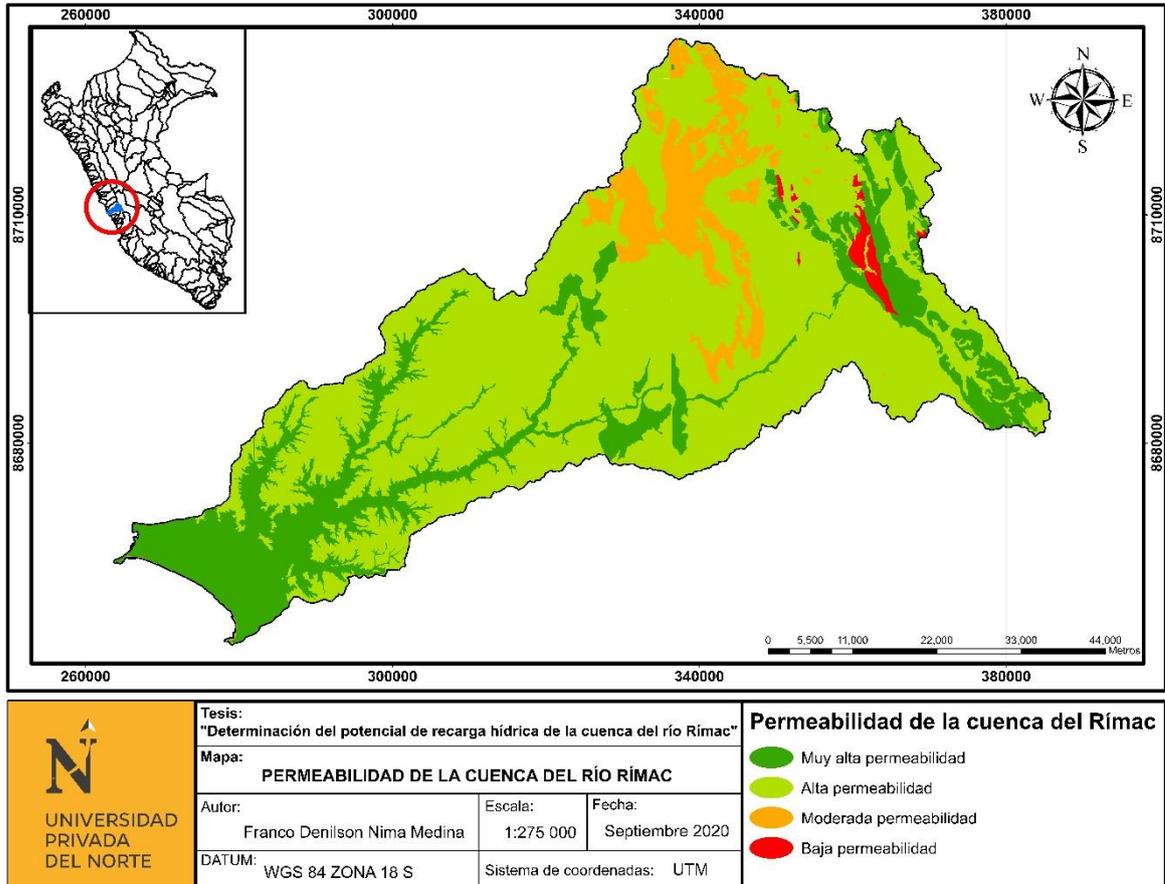


Figura 8. Permeabilidad que presenta la cuenca del río Rímac.

2.4.2.6. Uso de suelo

La clasificación del uso de suelo fue desarrollado en base al mapa nacional de cobertura vegetal e imágenes satelitales (como se citó en el Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín, 2019), en lo que respecta a la cuenca del río Rímac se identificaron usos de suelo que se complementaron con la información presentada por la memoria descriptiva de cobertura vegetal nacional (MINAM, 2015), los cuales son:

- ✓ Agricultura costera, andina y áreas verdes: este tipo corresponde a los lugares donde se generan actividades agropecuarias, estando activas o en descanso. En lo que se refiere a las áreas verdes, se refiere a los terrenos con presencia de vegetación que se encuentran dentro de la ciudad y reciben cuidado de las autoridades correspondientes.

- ✓ Área alto andina con escasa y sin vegetación: son áreas que no presentan actividades antropogénicas para la productividad agrícola, por lo que no cuentan con cuidados del suelo de este tipo.
- ✓ Área urbana: suelo que está conformado por las grandes ciudades que se encuentra en la presente cuenca, resaltando el área de Lima como principal elemento, cuenta con el desarrollo de diferentes actividades y está constituido por edificios y otros componentes que han alterado las condiciones naturales de un lugar.
- ✓ Bofedal: áreas donde se desarrollan actividades pecuarias que se basan en los camélidos y ovinos. Algunas otras actividades antrópicas que se presentan son el sobrepastoreo, obras de drenaje, construcción de presas, reservorios y algunos usos extractivos de madera.
- ✓ Bosque relicto alto andino: áreas donde se presentan estratos de árboles, arbustos y hierbas, donde se presenta actividad antropogénica como extracción de leña y carbón pero en una magnitud mínima.
- ✓ Bosque relicto meso andino: es un área que se desarrolla en laderas rocosas, por lo que presenta estratos como árboles y arbustos, los cuales son extraídos para la obtención de la leña, el detalle radica que el área donde se encuentran son de difícil acceso por lo que conlleva a que la actividad antropogénica sea casi nula.
- ✓ Cardonal: en esta área se desarrollan actividades como el pastoreo temporal y la recolección de plantas que tienen fines medicinales, para alimentos y para la generación de artesanías.
- ✓ Centro minero: es un área donde se desarrollan actividades antropogénicas extractivas mineras, por lo cual genera un alto impacto en el uso del suelo.
- ✓ Desierto Costero: áreas donde no se desarrollan actividades agrícolas en gran magnitud por las características físicas que presenta. A su vez, cuenta con la presencia de

vegetación escaza que a veces es usada por la población para fines medicinales o artesanales.

- ✓ Glaciar: ecosistema donde no se desarrollan actividades antropogénicas debido a las características físicas que presenta pero si influencia a la recarga de aguas subterráneas por los procesos de deshielo que cuenta.
- ✓ Lagunas, lagos y cochas: áreas donde se desarrollan diferentes actividades que van acorde a las características de estos cuerpos de agua.
- ✓ Loma: son áreas de protección donde se presentan estratos de árboles, arbustos y hierbas, cuentan con actividades de cuidado de estos lugares, además que las actividades antropogénicas que se desarrollan como lo es el turismo verde, no afecta la calidad de estos lugares.
- ✓ Matorral arbustivo: áreas que cuentan con actividades de reforestación y actividades de tipo conservacionista. Por otro lado, presenta actividades de extracción de plantas medicinales y leña.
- ✓ Pajonal andino: suelo que es usado para el desarrollo de actividades ganaderas de camélidos y ovinos, además presenta actividades de pastoreo y quema agrícola para el desarrollo de estas actividades antropogénicas.

En lo que es el recorrido de la cuenca del río Rímac se identificaron áreas representativas donde se desarrollan diferentes actividades, los cuales fueron organizados para evidenciar cual es el valor en área de los elementos representativos donde se desarrollan los diferentes usos de suelo (Tabla 11).

Tabla 11

Uso Actual de suelo de la cuenca del río Rímac

Uso Actual de Suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura costera, andina y áreas verdes	170.16	4.85%

Área alto andina con escasa y sin vegetación	513.3	14.64%
Área Urbana	338.67	9.66%
Bofedal	12.32	0.35%
Bosque relicto alto andino	7.18	0.20%
Bosque relicto meso andino	15.28	0.44%
Cardonal	409.55	11.68%
Centro Minero	0.91	0.03%
Desierto Costero	522.39	14.90%
Glaciar	13.1	0.37%
Lagunas, lagos y cochas	13.6	0.39%
Loma	10.13	0.29%
Matorral arbustivo	617.19	17.61%
Pajonal andino	861.76	24.58%
Total	3505.54	100%

Nota: En la presente tabla se muestran los usos de suelo que se presentan en la cuenca del río Rímac con sus respectivas áreas. Recuperado del Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín (2019).

A lo largo de la cuenca del río Rímac se presentan diferentes características de cobertura vegetal que influyen en las actividades que se pueden realizar, esto conlleva que las actividades que se desarrollen en un área presenten variaciones debido a las condiciones en la que se encuentra, entre otras características (Figura 9).

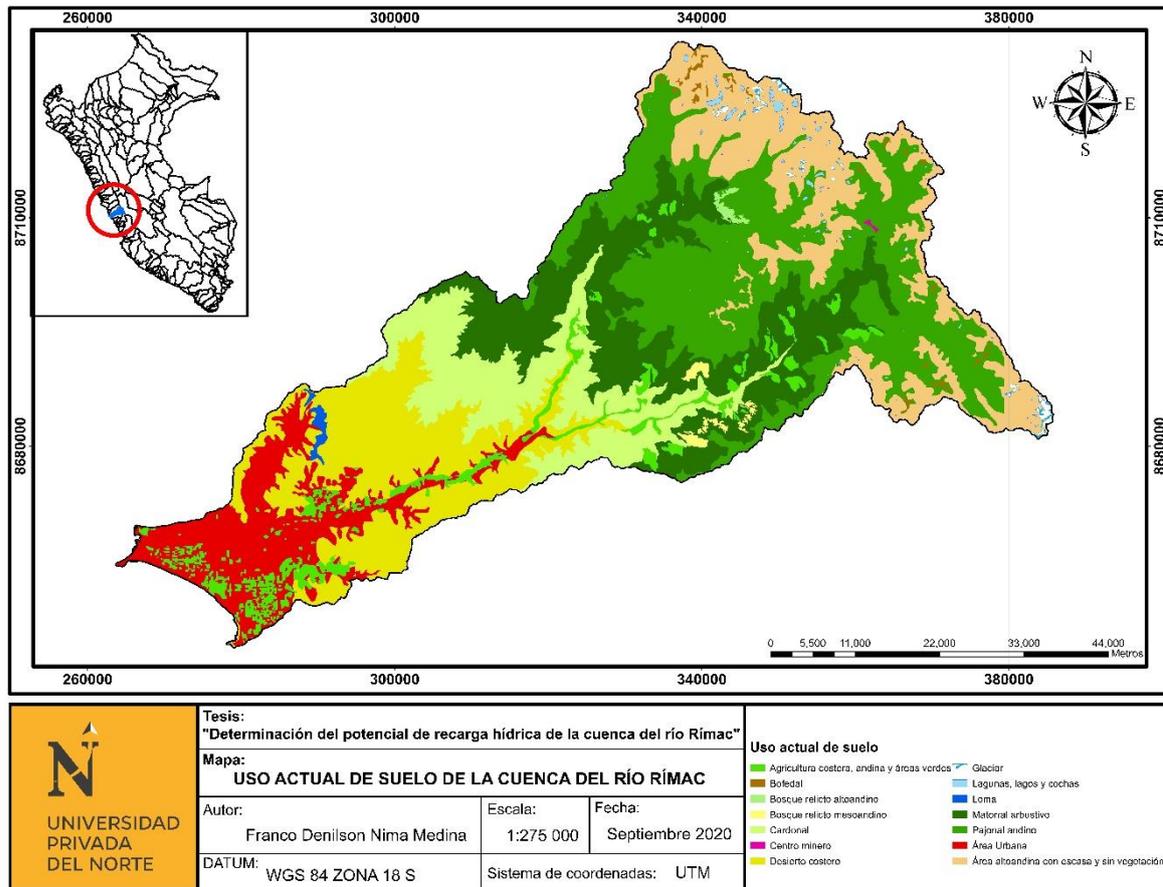


Figura 9. Uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac.

2.4.2.7. Cobertura Vegetal

La clasificación de la cobertura vegetal a nivel nacional fue desarrollado y presentado en la memoria descriptiva de cobertura vegetal nacional (MINAM, 2015), para lo cual, en lo que respecta a la cuenca del río Rímac se identificaron los siguientes tipos de cobertura a lo largo de su recorrido:

- ✓ Agricultura costera y andina: en este tipo de cobertura se realizan actividades agropecuarias que se encuentran activas o en descanso. En este tipo también están incluida la vegetación natural ribereña que se encuentran en los cauces de los ríos y las quebradas.
- ✓ Área alto andina con escasa y sin vegetación: tipo de cobertura que no presenta vegetación en grandes aspectos, además en algunas áreas cuenta con suelos desnudos.

- ✓ Área Urbana: tipo de cobertura en el cual se desarrolla las civilizaciones y se presenta con áreas que se encuentran asfaltadas y con edificaciones.
- ✓ Bofedal: también conocidos como “oconal” o “turbera”, es un tipo de cobertura que se caracteriza por ser un ecosistema hidromórfico. Es un humedal alto andino que se encuentra situado en los valles fluvio – glaciales, por lo que se alimentan del deshielo de los glaciares y de afloramientos de agua subterránea, además presentan vegetación herbácea hidrófila como una de sus características principales.
- ✓ Bosque relicto alto andino: tipo de cobertura que se desarrolla sobre terrenos montañosos con pendientes intercaladas entre empinadas y escarpadas, la vegetación que presenta son árboles de porte achatado y especies arbustivas.
- ✓ Bosque relicto meso andino: es un tipo de cobertura que se encuentra en las laderas de las montañas y es muy difícil su accesibilidad, se encuentran entre los 3000 y 3800 m.s.n.m. Dentro de sus características principales se encuentran los árboles dispersos con porte achatado y estratos herbáceos.
- ✓ Cardonal: se desarrolla en una menor proporción ya que es una franja angosta y larga que recorre desde La Libertad hasta Tacna. Este tipo de cobertura presente condiciones de aridez por lo que la vegetación que presenta se baja en arbustos y ralas de hierbas.
- ✓ Centro minero: tipo de cobertura en el cual se desarrollan actividades extractivas mineras por lo cual han alterado las condiciones naturales del área.
- ✓ Desierto Costero: es un tipo de cobertura que se caracteriza por la escasa vegetación y la aridez que lo representa.
- ✓ Glaciar: se desarrolla principalmente en la cabecera de la cuenca y no presente vegetación debido a las condiciones climáticas en la que se encuentra.
- ✓ Lagunas, lagos y cochas: cuerpos de agua que se caracterizan por la presencia de vegetación acuática.

- ✓ Loma: es un tipo de cobertura que se encuentra en las estibaciones andinas que están cerca al mar y se localizan en el gran desierto costero de Lima. La cobertura varía dependiendo las estaciones climáticas, como principal característica se encuentran formaciones vegetales de árboles, arbustos y estratos herbáceos.
- ✓ Matorral arbustivo: tipo de cobertura que está repartido en la región andina y se caracteriza por la presencia de estratos arbustivos que se diferencian por las condiciones climáticas en el que se encuentran, ya sea árido, subhúmedo y húmedo.
- ✓ Pajonal andino: es un tipo de cobertura que se caracteriza principalmente por la presencia de herbazales y se ubica en la parte superior de la cordillera de los andes. En este tipo se identifican estratos representativos de vegetación como lo son las hierbas, césped y arbustos.
- ✓ Río: cuerpo de agua principal de nuestro estudio ya que representa el recorrido que desarrolla el río Rímac.

La cobertura vegetal varía dependiendo de las características o condiciones que presenta un área de estudio, en el caso de la cuenca del río Rímac, se organizó la información respecto a los tipos de cobertura que existen en el recorrido de la cuenca (Tabla 12).

Tabla 12

Tipos de cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac

Cobertura Vegetal	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura costera y andina	95.38	2.72%
Área alto andina con escasa y sin vegetación	513.3	14.64%
Área Urbana	351.18	10.02%
Bofedal	12.32	0.35%
Bosque relicto alto andino	7.18	0.20%
Bosque relicto meso andino	15.28	0.44%

Cardonal	409.55	11.68%
Centro minero	0.91	0.03%
Desierto Costero	584.49	16.67%
Glaciar	13.1	0.37%
Lagunas, lagos y cochas	13.6	0.39%
Loma	10.13	0.29%
Matorral arbustivo	617.19	17.61%
Pajonal andino	861.72	24.58%
Río	0.21	0.01%
Total	3505.54	100%

Nota: En la presente tabla se muestran los tipos de cobertura vegetal que se encuentran en la cuenca del río Rímac con sus respectivas áreas. Recuperado del Ministerio de Ambiente (2015).

La cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac varía en su recorrido (Figura 10), la cual es influenciada por las diferentes condiciones que se tienen, la altitud y la precipitación y otros aspectos atmosféricos son los encargados de la determinación del tipo de cobertura vegetal que presenta un área.

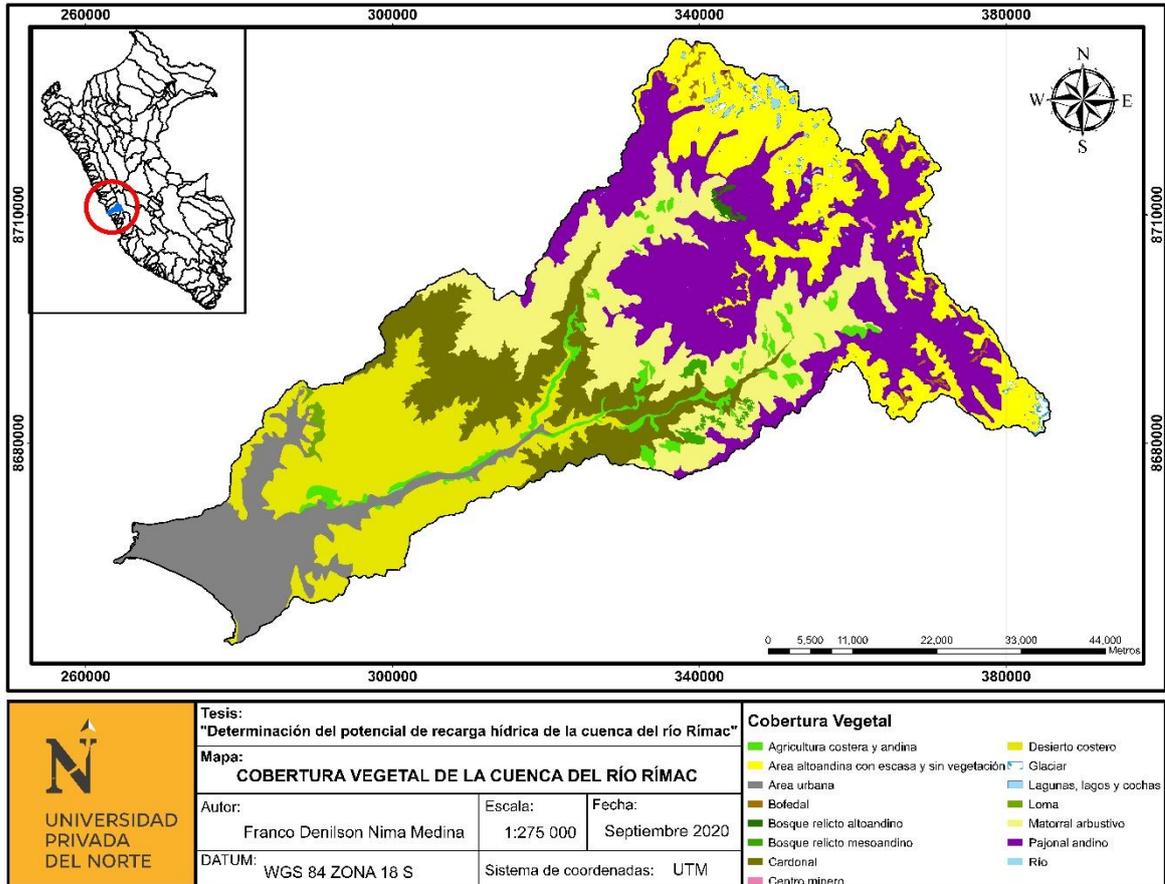


Figura 10. Cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac.

2.4.3. Aplicación de la metodología

En la elaboración del mapa para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac se utilizaron las unidades de mapeo con información cartográfica en formato shapefile de la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso actual de suelo; cada unidad fue evaluada según el criterio y características que presenta la metodología de Matus (2007) para proceder con su respectiva ponderación. Para lograr esta ponderación y aplicación de la fórmula final de dicha metodología se hizo uso de la herramienta “Calculadora de Campo” del programa ArcGIS, y con la respectiva metodología se obtuvo el mapa final del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, para la cual fue esencial la información presentada anteriormente con la cual se hizo el análisis y evaluación de las ponderaciones y así la determinación del potencial de recarga hídrica.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Análisis de las características físicas de la cuenca del río Rímac

3.1.1. Ponderaciones

Las ponderaciones se realizaron dependiendo las características de cada una de las variables que tenemos en el presente estudio, las cuales son la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso actual de suelo, fueron analizadas dependiendo de las características presentadas anteriormente. Cada ponderación se rige a un criterio escogido para el presente estudio, el cual, se rige también a las características de la ponderación de las variables realizada por Matus (2007), con todo esto se planteó tener las respectivas ponderaciones para cada elemento de las variables, contemplando un criterio pertinente para su póstuma evaluación con la formula final para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac.

3.1.1.1. Pendiente y microrrelieve

Esta variable es una de las características a evaluar necesarias para poder hallar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del Rímac. Siguiendo la metodología, tenemos que la ponderación respectiva para esta variable se acomoda a lo que viene a ser la pendiente y el microrrelieve, en este caso el criterio utilizado para la ponderación es el presentado por la metodología ya mencionada anteriormente (Tabla 13).

Tabla 13

Ponderaciones para las Pendientes y microrrelieves de la Cuenca del río Rímac

Microrrelieve	Pendiente (%)	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	278.67	8%	5

Moderadamente ondulado/cóncavo	6 – 15	279.71	8%	4
Ondulado/Cóncavo	15 – 45	1343.55	38%	3
Escarpado	45 – 65	901.69	26%	2
Fuertemente escarpado	> 65	701.41	20%	1
Total		3505.04	100%	

Nota: En la presente tabla se muestra las ponderaciones respectivas según la metodología de Matus (2007) para la variable de pendientes y microrrelieves que presenta la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta los 5 niveles de ponderación identificados según la metodología de Matus (2007), permitiendo observar que la cuenca presenta variaciones en su terreno generando así diferentes microrrelieves (Figura 11).

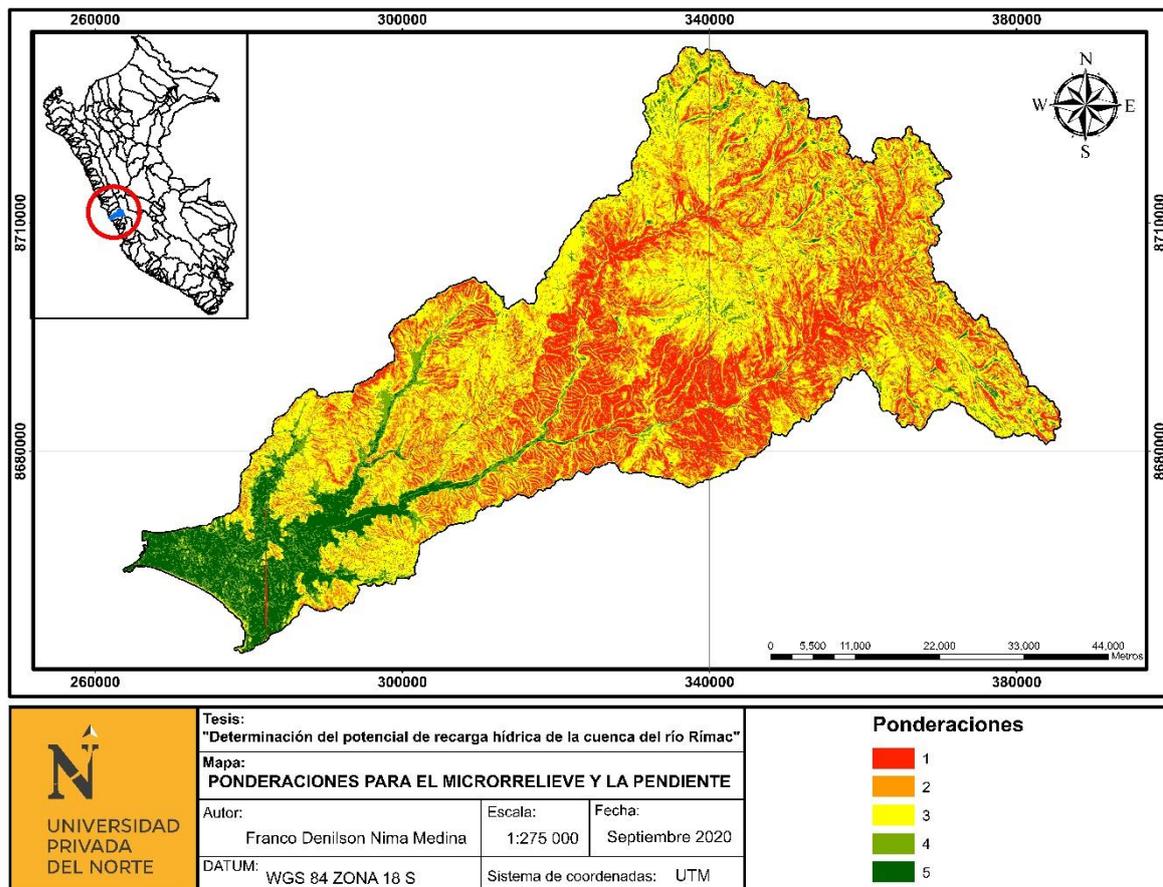


Figura 11. Ponderaciones para el microrrelieve y la pendiente de la cuenca del río Rímac.

3.1.1.2. Tipo de suelo

La presente variable cuenta con características que influyen en la recarga hídrica de la cuenca del río Rímac. La presencia de diferentes tipos de suelo, junto con sus texturas, indica la variedad de características físicas que se presentan en todo el recorrido de la cuenca de estudio. Cada uno de los elementos de la variable fue analizado y constatado con la información presentada anteriormente, para lo cual se obtuvieron sus ponderaciones respectivas para cada tipo de suelo (Tabla 14).

Tabla 14

Ponderaciones para el tipo de suelo de la cuenca del río Rímac

Tipo de suelo	Criterio característico	Ponderación
Arenosol háplico – Solonchak háplico	Textura gruesa (arena y arena – franca) con buen drenaje	5
Fluvisol éutrico – Regosol éutrico	Textura franco – arenosa con buen drenaje	5
Leptosol dístrico – Afloramiento lítico	Textura variada por la presencia de arcillas y limos; con imperfecto drenaje	2
Leptosol lítico – Afloramiento lítico	Textura variada por la presencia de areniscas, calizas y lutitas; muestras de compactación	2
Regosol dístrico – Afloramiento lítico	Textura de granos finos que no se encuentra consolidado	3

Nota: En la presente tabla se muestran las ponderaciones respectivas según la metodología de Matus

(2007) para la variable de tipo de suelo que presenta la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta 3 niveles de ponderaciones según la metodología de Matus (2007), tomando de criterio las características de cada tipo de suelo. En lo que respecta a los porcentajes de terreno según cada ponderación, se obtuvo que un 49% del terreno presenta una ponderación de 2, un 38% presenta una ponderación 3 y un 12% del ámbito de la cuenca del río Rímac presenta una ponderación 5 para la variable de tipo de suelo (Figura 12).

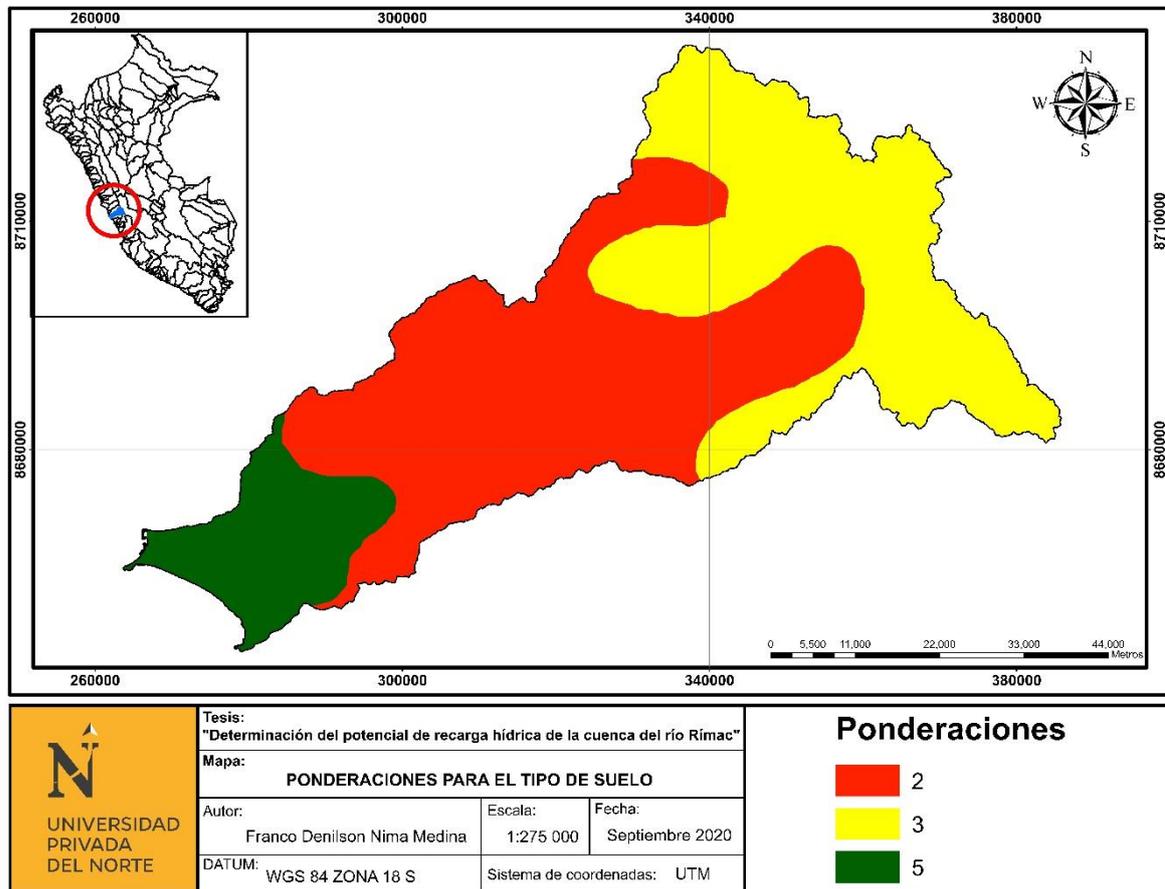


Figura 12. Ponderaciones para el tipo de suelo de la cuenca del río Rímac.

3.1.1.3. Tipo de roca

La presencia de los diferentes tipos de roca a lo largo de la cuenca del río Rímac generan un variación en el potencial de recarga hídrica ya que la principal característica tomada por

la categorización de Matus (2007), es la permeabilidad que presenta la roca, para lo que en el caso de la cuenca de estudio se encontraron 4 niveles de ponderación de dicha metodología (Tabla 15).

Tabla 15

Ponderaciones para el tipo de roca que presenta la cuenca del río Rímac

Permeabilidad	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Ponderación
Baja	32.66	1%	2
Moderada	301.53	9%	3
Alta	2381.95	68%	4
Muy Alta	789.4	23%	5
Total	3505.54	100%	

Nota: En la presente tabla se muestran las ponderaciones respectivas según la metodología de Matus (2007) para la variable de tipo de roca que presenta la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta 4 niveles de ponderaciones según la metodología de Matus (2007), tomando de criterio la permeabilidad de los tipos de roca, este variable se basa en como fluye el agua entre a través de la roca que presenta la cuenca de estudio, dependiendo las características que la representan (Figura 13).

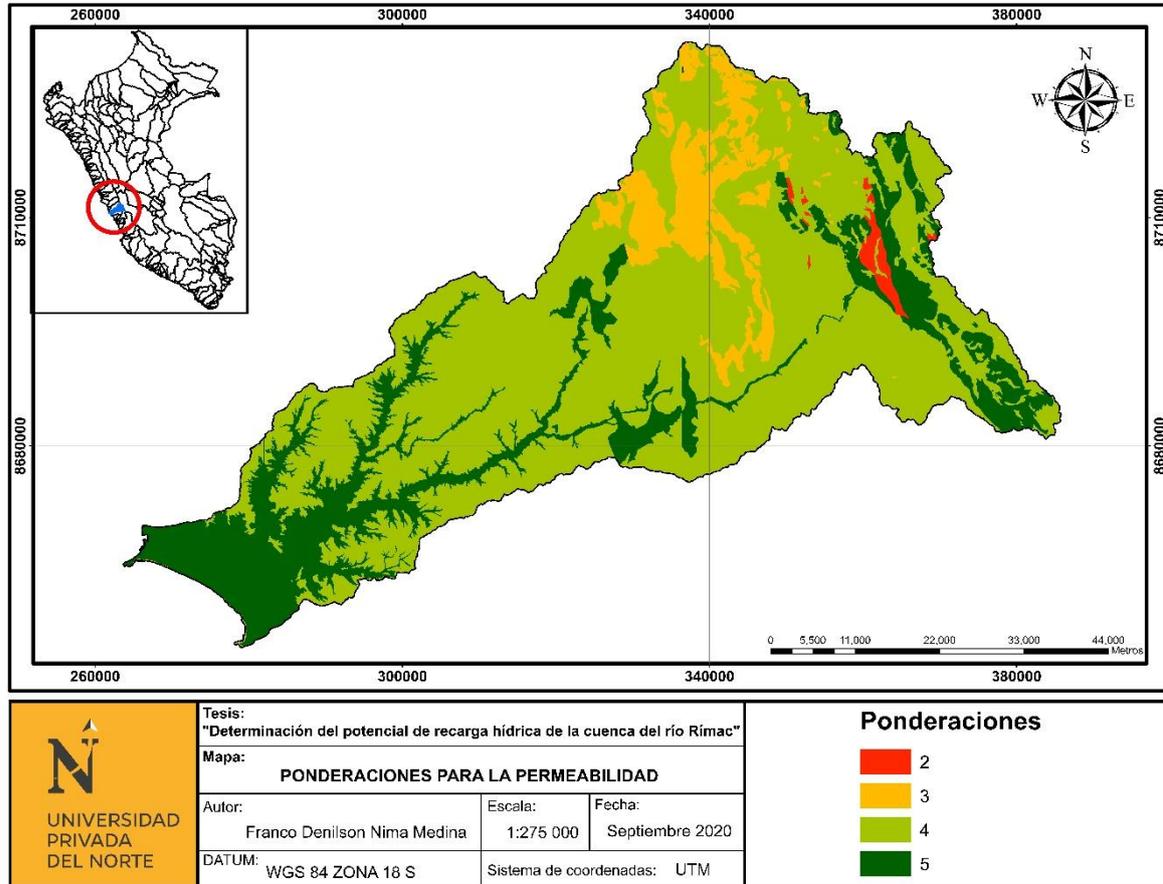


Figura 13. Ponderaciones para el tipo de roca de la cuenca del río Rímac.

3.1.1.4. Cobertura Vegetal

La variable de cobertura vegetal es una de los principales en la determinación del potencial de recarga hídrica debido a que la vegetación cuenta con características que favorecen a la recarga hídrica. En lo que respecta a la cuenca del río Rímac se identificaron 15 tipos de cobertura que la conforman que fueron analizadas con la información presentada anteriormente (Tabla 16).

Tabla 16

Ponderaciones para la cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac

Cobertura Vegetal	Criterio Característico	Ponderación
Agricultura costera y andina	Agrupaciones de cultivos con un 50 – 70% de vegetación permanente	3

Área alto andina con escaza y sin vegetación	Vegetación permanente menor al 30%	1
Área Urbana	Presencia de áreas verdes pero con vegetación permanente menor al 30%	1
Bofedal	Presencia de vegetación hidrófila y permanente mayor al 80%	5
Bosque relicto alto andino	Presencia de árboles y arbustos pero con terreno empinado, considerando un 50 – 70% de vegetación permanente	3
Bosque relicto meso andino	Presencia de árboles de mediana altura pero con terreno empinado, se considera un 50 – 70% de vegetación permanente	3
Cardonal	Presencia de cactus, arbustos y ralas de hierbas pero con condiciones de aridez	2
Centro minero	Cobertura vegetal menor al 30% debido a las actividades extractivas	1
Desierto Costero	Condiciones de aridez y vegetación permanente menor al 30%	1
Glaciar	Condiciones de frío extremo que no permite el desarrollo de la vegetación	1
Lagunas, lagos y cochas	Por consideraciones del análisis de la variables se pone la menor ponderación	1
Loma	En temporada de Lomas presenta una vegetación mayor al 80%	5

Se desarrolla en condiciones áridas y

Matorral arbustivo	húmedas por lo que presenta una vegetación entre 50 – 70%	3
Pajonal andino	Condiciones extremas que no permiten el desarrollo a grandes de la vegetación, siendo entre un 30 – 50%	2
Río	Mínima ponderación debido al análisis de la variable	1

Nota: En la presente tabla se muestran las ponderaciones respectivas según la metodología de Matus (2007) para la variable de cobertura vegetal que presenta la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta 4 niveles de ponderaciones según la metodología de Matus (2007), tomando de criterio la el porcentaje de cobertura vegetal permanente que presenta cada uno de los tipos de cobertura. Dentro de estos 4 niveles, tenemos que en lo que respecta el ámbito de la cuenca del río Rímac, se tiene un 42% con ponderación 1, un 36% con ponderación 2, un 21% con ponderación 3 y solo un 1% con ponderación 5 para lo que es la variable de cobertura vegetal (Figura 14).

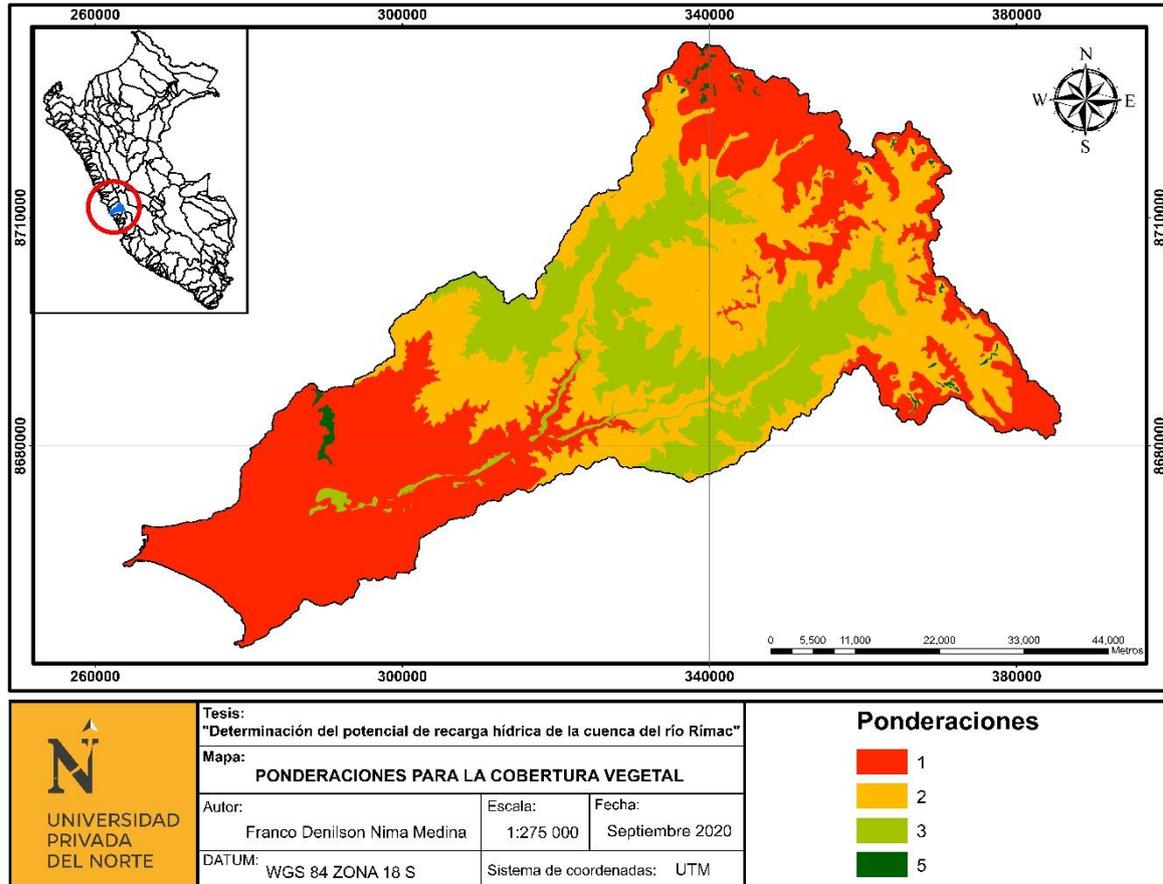


Figura 14. Ponderaciones para la cobertura vegetal de la cuenca del río Rímac.

3.1.1.5. Uso actual de suelo

Las actividades que se desarrollan en un área determinada influyen en el potencial de recarga hídrica, por lo que el uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac varía a lo largo de su recorrido debido a las actividades que se ejercen en su ámbito, el cual fue caracterizado por las actividades que se desarrollan por los tipos de cobertura que se encuentran en la presente cuenca. Los diferentes usos de suelos fueron analizados siguiendo la metodología de Matus (2007) junto con la información presentada anteriormente (Tabla 17).

Tabla 17

Ponderaciones para el uso Actual de suelo de la cuenca del río Rímac

Uso Actual de Suelo	Criterio Característico	Ponderación
---------------------	-------------------------	-------------

Agricultura costera, andina y áreas verdes	Presenta actividades de conservación de suelo y agua	3
Área alto andina con escasa y sin vegetación	Sistema agroforestal menor sin presencia de actividades de conservación	4
Área Urbana	Suelos con alta actividad antropogénica que afecta al suelo	1
Bofedal	Escasa presencia de actividad antropogénica (Pecuaria)	4
Bosque relicto alto andino	Presencia de árboles, arbustos y hierbas; sin actividad antropogénica	5
Bosque relicto meso andino	Presencia de árboles menores, arbustos y hierbas; sin actividad antropogénica	5
Cardonal	Presencia de pastoreo temporal y sin actividades de conservación de suelo y agua	2
Centro Minero	Presencia de actividad extractivas en un alto nivel	1
Desierto Costero	Sin actividades antropogénicas pero con un suelo con buena capacidad de infiltración	5
Glaciar	Presencia de actividad antropogénica nula o casi nula; los procesos de deshielo favorecen a la recarga	4

	Por el análisis de la variable, se	
Lagunas, lagos y cochas	califica con la menor ponderación	1
	Zona de protección que presenta	
Loma	estratos de árboles, arbustos y hierbas	5
	Presenta actividades de agricultura	
Matorral arbustivo	conservacionista	3
	Presencia de sobre pastoreo y no	
Pajonal andino	cuentan con actividades de	2
	conservación de agua ni suelo	

Nota: En la presente tabla se muestran las ponderaciones respectivas según la metodología de Matus (2007) para la variable de uso actual de suelo que presenta la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta 5 niveles de ponderaciones según la metodología de Matus (2007), tomando de criterio las actividades que se desarrollan en cada tipo de cobertura y teniendo en cuenta actividades de conservación de agua y suelo. Dentro de los 5 niveles que se tienen en el ámbito de la cuenca del río Rímac, se identificó que un 10% presenta una ponderación de 1, un 37% presenta una ponderación de 2, un 22% presenta una ponderación de 3, un 15% presenta una ponderación de 4 y un 15% presenta una ponderación de 5 para la variable de uso actual de suelo (Figura 15).

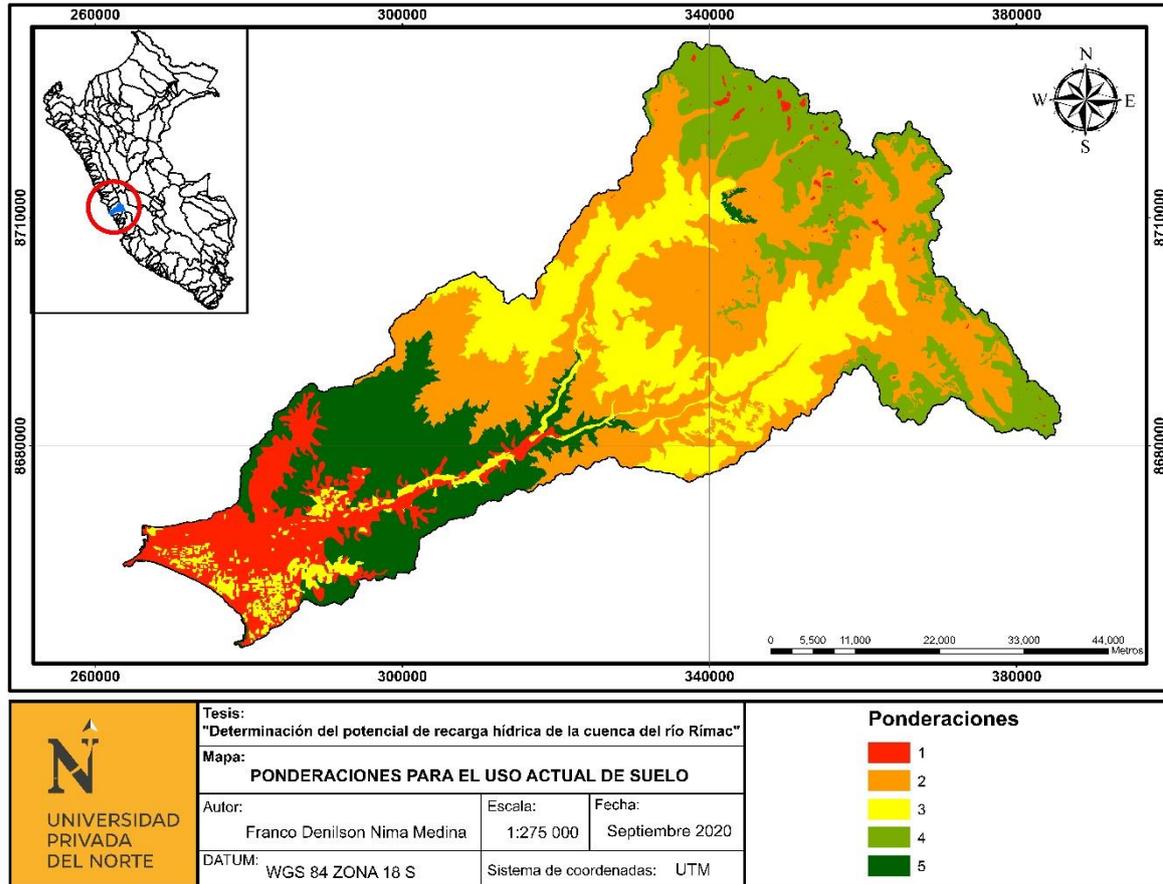


Figura 15. Ponderaciones para el uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac.

3.2. Potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac

Para la elaboración del mapa final que nos sirve para saber el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac se utilizó la información cartográfica respecto a la pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso actual de suelo; en donde cada una de estas unidades de mapeo fue evaluada según la metodología de Matus (2007), y con la ayuda de la herramienta “Calculadora de campo” del programa ArcGIS, se aplicó dicha metodología con la cual se determinó el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac (Figura 16).

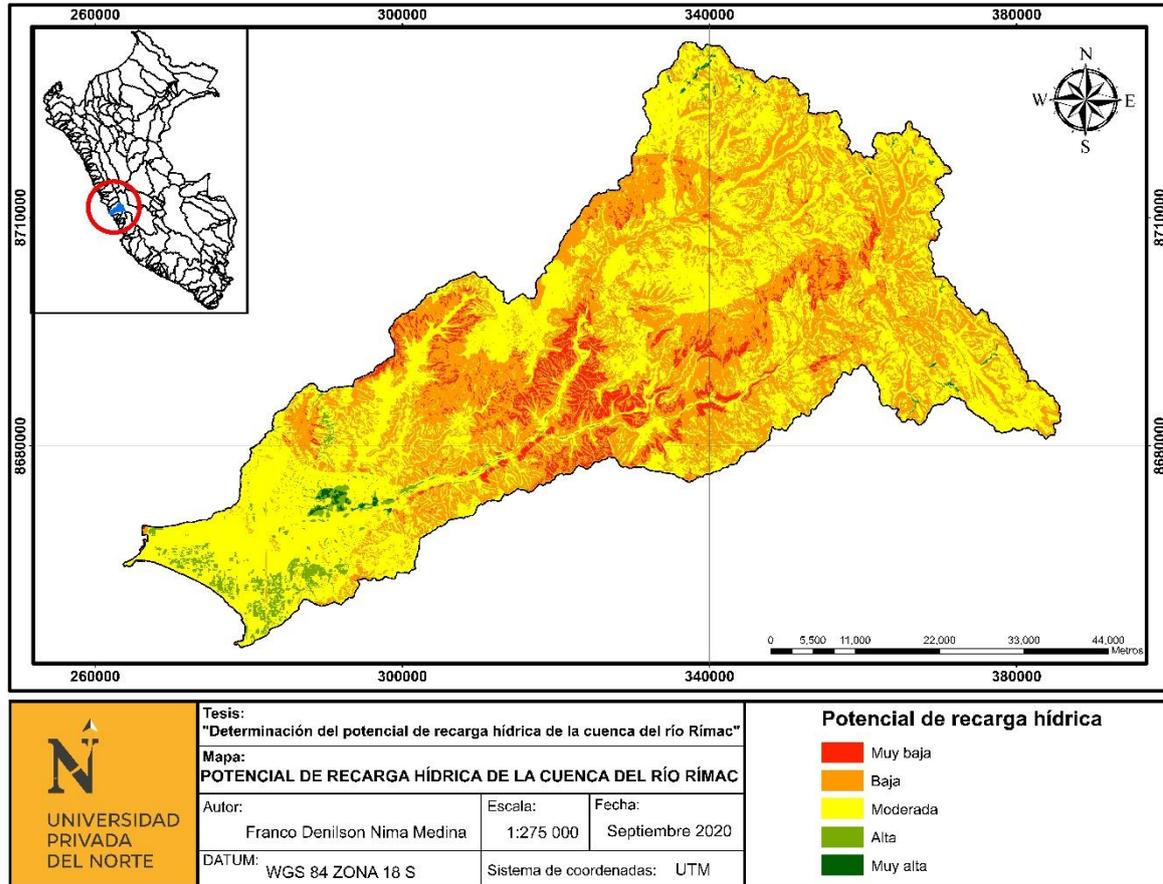


Figura 16. Potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac.

La cuenca del río Rímac presenta las 5 categorías de potencial de recarga hídrica según la metodología de Matus (2007), estas se distribuyen en el ámbito de la cuenca presentando diferentes áreas que cuentan con diferentes potenciales (Tabla 18).

Tabla 18

Categorías de Potencial de Recarga hídrica de la cuenca del río Rímac

Potencial de recarga hídrica	Rango según Matus (2007)	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Muy Bajo	1 – 1.99	173.51	4.95%
Bajo	2 – 2.59	1454.91	41.51%
Moderado	2.6 – 3.49	1784.55	50.91%
Alto	3.5 – 4.09	83.22	2.37%

Muy Alto	4.1 – 5	8.85	0.25%
Total		3505.04	100%

Nota: En la presente tabla se muestran las categorías del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac obtenidas según la aplicación de la metodología de Matus (2007).

En el mapa anterior se puede apreciar, al aplicar la metodología propuesta por Matus (2007), que en la cuenca del río Rímac se pueden identificar las 5 categorías de potencial de recarga hídrica, de las cuales, en la cuenca del río Rímac predomina un moderado potencial de recarga hídrica con un 50.91% del área total, luego se encuentra el potencial bajo de recarga hídrica con un 41.51% del área total, seguido se encuentra el potencial muy bajo de recarga hídrica con un 4.95% del área total, en cuarto lugar está el potencial alto de recarga hídrica con un 2.37% del área total y el 0.25% del área total de la cuenca del río Rímac presenta un potencial muy alto de recarga hídrica.

Es decir, que la cuenca del río Rímac por sus características físicas se clasifica como media baja en lo que respecta a la recarga hídrica o la infiltración de agua en el suelo, al encontrarse un 92.42% del área total entre las categorías de bajo y moderado potencial de recarga hídrica. En otras palabras, la cantidad de agua que precipita y queda disponible en la cuenca del río Rímac tiene de bajas a moderadas posibilidades para que se infiltre y recargue las aguas subterráneas.

Las características físicas de la cuenca del río Rímac, como lo son la pendiente, cobertura vegetal, tipo de roca, tipo de suelo y uso actual de suelo, comprenden un aspecto importante e influyente en el cálculo del potencial de recarga hídrica para el presente trabajo. Debido a estas características físicas, en el ámbito de la cuenca en estudio, se encuentran resultados variables respecto al potencial de recarga hídrica.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

La investigación realizada ha permitido determinar que la cuenca del río Rímac presenta diferentes potenciales de recarga hídrica y que estos se ven influenciados por las características físicas que presenta. Como factor principal para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, se debe de tener en cuenta las ponderaciones que hemos usado según la fórmula de Matus (2007), en donde la pendiente, el tipo de suelo y la cobertura vegetal son las variables que cuentan con mayor ponderación, mientras que el tipo de roca y el uso actual de suelo presentan menor ponderación. Siendo así, las variables dominantes para el cálculo del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac fueron la pendiente, la cobertura vegetal y el tipo de suelo.

La cuenca del río Rímac presenta potenciales de recarga hídrica muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, teniendo en su ámbito las 5 categorías respecto al potencial de recarga hídrica, para lo cual tenemos que el potencial que presenta mayor porcentaje en la cuenca en estudio es el potencial de recarga hídrica moderado con un 50.91% del área total. En primera instancia, este potencial de recarga hídrica moderado se debe a que en la cuenca del río Rímac presenta una pendiente ondulada – cóncava en su mayoría, lo cual favorece en una moderada manera al potencial de recarga hídrica. En lo que corresponde al tipo de suelo, se atribuye que los suelos regosoles, arenosoles, leptosoles y los afloramientos líticos son los que influyen en este potencial debido a que presenta fuertes pendientes y un suelo poco desarrollado. Para lo que es la variable de cobertura vegetal, contribuyó con áreas en donde se desarrollan el desierto costero, algunos centros mineros, el área urbana y el área alto andina con escasa y sin vegetación, estos tipos de cobertura vegetal fueron los que influyeron para obtener un potencial de recarga hídrica moderado debido a que presentan

una cobertura vegetal menor al 30%, siendo así un factor que no deja que el potencial de recarga hídrica sea mayor.

Por otro lado, en lo que se considera para el tipo de roca, basándonos en la permeabilidad, se tiene en cuenta que la cuenca del río Rímac presenta en su mayoría muy alta y alta permeabilidad, siendo un balance para el potencial de recarga hídrica, ya que debido a las características de alta permeabilidad, en donde la mayoría de la cuenca presenta formaciones con aglomeraciones de limolitas, areniscas, limos, entre otras intercalaciones, estas se encargan de equilibrar el potencial de recarga hídrica de la cuenca a un nivel moderado. Para lo que es el uso actual de suelo, hace un balance a lo largo de la cuenca por la presente da bosques relictos, los cuales se desarrollan en fuertes pendientes, además de otras áreas que están destinadas a la agricultura, cumpliendo una actividad de conservación del suelo y del recurso hídrico que favorece al potencial de recarga hídrica. Teniendo todas estas características físicas y habiendo sido analizadas junto con la fórmula de Matus (2007), se tiene que estas son parte fundamental para que el resultado de mayor proporción de potencial de recarga hídrica sea el moderado para la cuenca del río Rímac.

El segundo potencial de recarga hídrica que más se presenta en la cuenca del río Rímac es el potencial bajo con un 41.51% del área total de la cuenca, la cual se presenta más que nada en la parte media – alta de la cuenca en estudio. Esto se debe en primera instancia a la pendiente y microrrelieve que presenta, ya que en esta parte se encuentran fuertes pendientes y microrrelieves escarpados y fuertemente escarpados. En lo que respecta al tipo de suelo, obtenemos que en la parte media – alta de la cuenca se tiene un suelo de tipo Leptosol con afloramientos líticos, los cuales no son suelos desarrollados y cuentan con mucha compactación. Para lo que es la cobertura, se le atribuye el bajo potencial de recarga hídrica a las áreas alto andinas con escasa y sin vegetación, cardonal, glaciares y pajonales andinos,

los cuales cuentan con una vegetación menor al 50% debido a las condiciones en las cuales se encuentran.

Por otro lado, para las variables con menor ponderación, luego del análisis según la permeabilidad que presenta el tipo de roca, se obtuvo que en la parte media – alta de la cuenca del río Rímac, se presentan depósitos glaciales y fluvioglaciares, los cuales cuentan con una muy baja permeabilidad, seguido de las rocas intrusivas como el grupo volcánico Milotingo, que presentan intercalaciones de andesitas con lodolitas y areniscas, generando características de moderada permeabilidad. Para lo que es el uso actual de suelo, se obtiene que el pajonal andino, los centros mineros y el cardonal, son los que influyen para una baja ponderación, teniendo en cuenta que se realizan actividades antropogénicas y sobrepastoreo, lo cual disminuye el potencial de recarga hídrica.

El tercer potencial de recarga hídrica que más se presenta en la cuenca del río Rímac es el potencial muy bajo con un 4.95% del área total, la cual se presenta en pequeños rasgos a lo largo del recorrido de la cuenca, centrándose más que nada en la parte media – alta. Como factor principal para este potencial obtenido, se tiene que a la pendiente, ya que se enfoca más que nada en las pendientes mayores al 65% y a los microrrelieves fuertemente escarpados. Para lo que es el tipo de suelo, obtenemos que en esta parte se desarrollan los suelos leptosoles y afloramientos líticos, los cuales no cuentan con un suelo muy desarrollado, lo que dificulta la recarga hídrica. En el caso de la cobertura vegetal, lo que prima para este potencial muy bajo son las áreas alto andinas con escasa y sin vegetación, los pajonales, glaciares y centros mineros, los que cuentan con suelos que cuentan con una cobertura vegetal menor al 30%, lo cual dificulta en un alto grado la recarga hídrica.

Por otro lado, en lo que respecta a las variables con menor ponderación, se obtuvo que el tipo de roca, según su permeabilidad, presenta variabilidad a lo largo de la cuenca, por lo que no es un factor constante para la determinación del potencial de recarga hídrica muy

bajo. Mientras que en el caso del uso de suelo, se le atribuye este potencial debido a los pajonales y cardonales, los cuales presentan actividades de sobrepastoreo y no cuentan con actividades de conservación de suelo ni del recurso hídrico.

El cuarto potencial de recarga hídrica que más se presenta en la cuenca del río Rímac es el potencial alto con un 2.97% del área total, la cual se presenta en pequeños rasgos en la parte media – baja de la cuenca. Se obtuvo que según la pendiente, en esta parte media – baja de la cuenca, se encuentra una pendiente menor al 6% y presenta un microrrelieve plano a casi plano, lo que favorece demasiado a la recarga hídrica. En el caso de la cobertura vegetal, se tiene como factor principal a las áreas donde se realiza la agricultura y los bosques relictos, los cuales presentan más del 50% de vegetación. Y en el caso de lo que es el tipo de suelo, al ser la parte baja de la cuenca, se presentan suelos más desarrollados como los de tipo Arenosol o Fluvisol, los cuales presentan intercalaciones de areniscas y limolitas, que favorecen a la infiltración del agua.

En lo que corresponde al tipo de roca para este potencial de recarga hídrica alto, se le atribuye a que en la parte baja de la cuenca se desarrolla un tipo de roca con alta permeabilidad, debido a los procesos de erosión que han ocurrido. Por otro lado, en el caso del uso de suelo, se le atribuye el alto potencial de recarga hídrica a lo que son las áreas verdes que se encuentran dentro del área urbana, debido a que estas cuentan con actividades de conservación de suelo y agua.

El último potencial de recarga hídrica presente en la cuenca del río Rímac es el potencial muy alto con un 0.25% del área de la cuenca, y este solo se presenta en un pequeño espacio en la parte media – baja. Esta se manifiesta en primer lugar por la conjugación de las variables que hemos utilizado, que son la pendiente, tipo de roca, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso actual de suelo, siendo estos dos últimos el factor determinante ya que se les atribuye esta característica de alto potencial por la agricultura costera y andina que se

desarrolla en la zona, los cuales realizan actividades de conservación del recurso hídrico y cuidado del suelo para los mecanismos de agricultura.

Según el objetivo general, determinar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, los resultados que se obtuvieron según la fórmula de Matus (2007), se determinó que la cuenca del río Rímac presenta los potenciales de recarga hídrica muy bajo con un 4.95% del área total de la cuenca, bajo con un 41.51, moderado con un 50.91%, alto con un 2.37% y muy alto con un 0.25% del área total de la cuenca del río Rímac. Así mismo, para los objetivos específicos que se basaron en analizar las características físicas de la cuenca y evaluar los resultados del potencial de recarga hídrica, según los resultados que se obtuvieron, se realizó el análisis del tipo de roca, tipo de suelo, pendiente, uso actual de suelo y cobertura vegetal para la determinación del potencial de recarga hídrica, los cuales influyeron para que la cuenca del río Rímac presente potenciales de tipo muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto según la metodología aplicada, siendo estos 5 factores, los determinantes para el resultado final del potencial de recarga hídrica.

A partir de los hallazgos encontrados, se aceptó la hipótesis general parcialmente, ya que según los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología, la cuenca del río Rímac presenta un potencial de recarga hídrica alto con un 2.37% del área total de la cuenca, y se debe a la presencia de áreas verdes que cuentan con actividades de conservación de suelo y agua. Caso contrario presenta las hipótesis específicas, debido a que estas se cumplen completamente, ya que según los resultados obtenidos, las características físicas que se analizaron según la metodología de Matus (2007), tienen influencia para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca. Además que debido a estas características físicas que presenta la cuenca del río Rímac, se presentan variaciones en el potencial de recarga hídrica a lo largo de su ámbito.

Los resultados que se obtuvieron respecto al potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, presentaron que la cuenca en estudio contiene los 5 niveles de potencial de recarga hídrica, teniendo en su mayor magnitud el potencial de recarga hídrica moderado y bajo, para lo cual se debe a la relación de las variables que se usaron en la metodología, en donde la cobertura vegetal, tipo de suelo y la pendiente fueron los más influyentes. Matus (2007) en su estudio presentó que la cuenca del río Jucuapa cuentan con los 5 potenciales de recarga hídrica, en lo que resaltan los potenciales moderado y alto, los cuales se deben a la abundante vegetación que presenta la cuenca y al tipo de suelo que presenta. Con estos resultados se afirma que la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la pendiente son los más influyentes en la determinación del potencial de recarga hídrica en una cuenca.

El potencial de recarga hídrica muy alto se debe a las características físicas específicas de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, en donde se tiene en cuenta que la cobertura vegetal corresponde a áreas donde se desarrolla agricultura costera y andina con actividades de conservación de suelo y agua, mientras que los suelos son desarrollados por la baja pendiente y cuentan con tipos como el Arenosol, presentando granos gruesos, entre areniscas y arenas gruesas, más que nada por lo que es la parte baja de la cuenca. García (2009) en su estudio obtuvo que el potencial de recarga hídrica muy alto del Municipio de Chiquimula se debe a características de cobertura vegetal de tipo bosques de pino, los cuales cuentan con texturas gruesas de suelo, los cuales superan la pendiente escarpada del lugar y maximizan el potencial de recarga hídrica. Teniendo en cuenta esto, al ser las principales variables para el cálculo del potencial de recarga hídrica, la cobertura vegetal de tipo bosque y las áreas donde se tienen actividades de conservación de agua y suelo, maximizan el potencial de recarga hídrica de la cuenca.

La estrecha relación que presenta la cobertura vegetal y el uso actual de suelo de la cuenca del río Rímac, permiten que se tenga en cuenta las actividades que se desarrollan según el

tipo de cobertura vegetal, donde estas son influyentes en el potencial de recarga hídrica.

Gómez (2016) en su estudio identificó la cercana relación que cuenta el uso de suelo con la cobertura vegetal en el páramo de Mojanda, en donde se desarrollan cultivos de ciclo corto como cereal, maíz y cebada, además que presentan pastos cultivados, humedales y vegetación arbustiva, los cuales aumentan el nivel de potencial de recarga hídrica. Con esto, se obtiene que la estrecha relación del uso actual de suelo y la cobertura vegetal son un factor influyente que trabaja en conjunto para el desarrollo del potencial de recarga hídrica y que las actividades de conservación ayudan a mantener este.

La parte baja de la cuenca del río Rímac es la que presenta las áreas con mayor potencial de recarga hídrica, teniendo en cuenta que esta presenta suelos más desarrollados, los cuales favorecen a la infiltración del agua. Herrera (2017) en su estudio identificó que en la parte baja de la comuna Pasto La Esperanza, es el área que presenta mayor potencial de recarga hídrica debido a sus suelos con textura que varía entre franco a arenosa, lo cual permite la infiltración del agua y así contribuye al aumento del potencial. Teniendo en cuenta esto, la cuenca del río Rímac presenta suelos arenosoles y fluvisoles, los cuales presentan características de texturas gruesas de tipo arenosas, además se tiene como factor determinante que la zona costera que presenta la cuenca del río Rímac se caracteriza por ser un desierto.

La precipitación que presenta la cuenca del río Rímac es uno de los factores que favorece a la recarga hídrica pero no es considerada en la metodología ya que no fue tomado en cuenta como característica para el cálculo del potencial debido a su poca estacionalidad, pero sigue siendo una influencia directa cuando se presentan precipitaciones en la cuenca. Aguilar, Ríos y Ureña (2018) en su estudio identificaron que la precipitación no se debe descartar para lo que es el potencial de recarga hídrica, ya que si bien existen periodos secos, las precipitaciones suman de una forma muy favorable a la recarga hídrica. Siendo así, la

precipitación podría considerarse en una futura metodología por sus características que presenta al favorecer a la recarga hídrica.

El uso actual de la tierra es una de las variables con menor ponderación en la metodología pero es una de las más impactantes debido a los cambios que puede sufrir por la actividad antropogénica, como se presenta en la cuenca del río Rímac, en donde existen en menor magnitud actividades de conservación de agua y suelo, mientras que las actividades de sobrepastoreo y cambios de uso de suelo afectan al potencial de recarga hídrica. Arela (2014) en su estudio observó que existe un 61% del área de las comunidades de Tumaruma y Huayllani es vulnerable en temas de recarga hídrica debido a los impactos que se tienen debido al uso de la tierra. Con los resultados obtenidos, se sabe que las actividades que se desarrollan en la cuenca del río Rímac si son un factor importante para la determinación del potencial de recarga hídrica en la cuenca.

El potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac es una de las maneras de determinar cuáles son las áreas que contribuyen a la recarga hídrica y cuál es el potencial que presentan, estas áreas son significativas para el acuífero de Rímac, el cual es explotado y necesita la preservación de las áreas con mayor potencial. Gonzales (2016) identificó que el acuífero de Rímac es sobre explotado y presenta problemas para la recarga hídrica, por lo cual atribuye al aumento de la recarga por medio del riego de las áreas verdes con aguas residuales. Teniendo esto, las áreas verdes según los resultados obtenidos, cuentan con un potencial de recarga hídrica alto, por lo que sería viable desarrollar ese tipo de proyectos.

La pendiente y el tipo de suelo son factores principales para la determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, de manera que las pendientes más pronunciadas son las que disminuyen el potencial de recarga hídrica, ya que en vez de realizar el almacenamiento o recarga hídrica, presentan características de erosión del suelo, disminuyendo en gran magnitud el potencial. Mamani (2017) identificó que para que existe

una buena infiltración y una póstuma buena recarga hídrica se debe de tener en cuenta al relieve y al tipo de suelo, ya que si el relieve es muy pronunciado, este en vez de aumentar la recarga hídrica, contribuye con la erosión hídrica al momento que ocurre la precipitación y degrada el suelo. En la cuenca del río Rímac se encuentran microrrelieves muy escarpados, los cuales contribuyen a la erosión hídrica, disminuyendo así el potencial de recarga hídrica. Debido a esto, en las áreas donde se presentan los microrrelieves más escarpados, se cuenta con un potencial de recarga hídrica muy bajo.

La parte baja de la cuenca del río Rímac es la que cuenta con mayor potencial de recarga hídrica, debido a que en esta zona se encuentran los potenciales altos y muy altos debido a las características que presenta, teniendo en cuenta que también se encuentra el acuífero Rímac, el cual es explotado con pozos para la extracción del recurso hídrico. Cusquisiban (2019) en su estudio identificó que no necesariamente es la cabecera de la cuenca del río Chamán la que cuenta con un alta recarga hídrica, sino que los acuíferos se forman en la parte baja de la cuenca y almacenan el agua. Siendo así, las partes bajas de las cuencas son las que presentan los acuíferos y almacenan el agua, siendo la cuenca del río Rímac un claro ejemplo de esto, además que presenta un alto potencial de recarga hídrica, lo cual presenta características de las áreas que favorecen al aumento del almacenamiento de agua en el acuífero.

Las actividades que se realizan a lo largo de la cuenca del río Rímac son un factor principal para el potencial de recarga hídrica, ya que generan un impacto significativo a las capacidades de infiltración y recarga hídrica. Quispe (2019) estudió la relación entre la capacidad de infiltración y la disponibilidad de recarga hídrica, en donde identificó que las actividades generan un impacto negativo en la recarga cuando no se realizan de una manera correcta y sin conservación del recurso hídrico y suelo. Teniendo en cuenta esto, las

actividades contribuyen de una manera significativa en el potencial de recarga hídrica, ya que un cambio de uso de suelo afectaría las características de infiltración que presenta.

Las áreas verdes tienen un papel fundamental para lo que es el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, ya que presenta características como actividades de conservación de agua y suelo, por lo cual son factor importante para el aumento de la recarga hídrica del acuífero. Chiong (2015) identificó que el acuífero de Rímac se puede recargar artificialmente con aguas para riego, cuando esta actividad se realiza en los parques y jardines, lo cual cuenta como un factor importante para la recarga hídrica. En la cuenca del río Rímac, las áreas verdes o parques y jardines cuentan con un riego continuo y actividades de mantenimiento, lo cual favorece el potencial de recarga hídrica y consigo a la recarga hídrica del acuífero.

Dentro de los resultados que se obtuvieron al momento de determinar el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, se obtuvieron implicancias que trajeron consigo información que puede ser usada en distintos aspectos. La primera implicancia que se tiene en cuenta es respecto a las actividades que se desarrollan en la cuenca del río Rímac y son presentadas como el uso actual de suelo, donde se obtiene que este uso actual de suelo afecta considerablemente el potencial de recarga hídrica, trayendo consigo acciones que no solo contribuyen a la recarga hídrica como las actividades de conservación de agua y suelo, si no que se tienen actividades que degradan la cuenca como la minería y sobrepastoreo, afectando el potencial de recarga hídrica.

Por otro lado, uno de los factores más resaltantes fue que las áreas verdes presentan un potencial de recarga hídrica alto, por lo que si es viable, como estudios anteriores lo presentaron, que se realice una recarga artificial por medio del riego de estos, además de las actividades de mantenimiento que se realizan, los cuales ayudan a incrementar el potencial de recarga hídrica. Tomando esto en cuenta, la implicancia resalta en que el cuidado de las

áreas verdes favorece al potencial de recarga hídrica y a la recarga artificial del acuífero del Rímac, por lo que son áreas que deberían ser más cuidadas.

Las áreas como los lomas, en sus tiempos de mayor vegetación, según los resultados obtenidos, se convierten en áreas que cuentan con un alto potencial de recarga hídrica debido a las condiciones que presentan, en la cual puede tener una vegetación mayor al 80%, lo cual favorece a la infiltración del agua y al aumento del potencial. Los resultados se hicieron en la época favorable con mayor vegetación, ya que en la época con menor vegetación, el potencial de recarga hídrica disminuye. La implicancia en esto conlleva a que las lomas no se sigan degradando y que sigan siendo zonas de protección ya que contribuye a la recarga hídrica del acuífero.

Las áreas que cuentan con un alto y muy alto potencial de recarga hídrica deben de contar con más actividades de conservación de agua y suelo, los cuales favorecerían a mantener este tipo de potencial de recarga. Siendo así, la implicancia que se da con esto, tiene que ver con que estas actividades de conservación se desarrollen a lo largo de la cuenca, respetando la capacidad de uso mayor del suelo, y tomando como factor principal el aumento del potencial del potencial de recarga hídrica. Con esto, se desarrollan las actividades consecuentes para aumentar el potencial en áreas de la cuenca donde obtenemos bajo y moderado, y con este aumento de potencial, favorecerá el almacenamiento de agua en los acuíferos, debido a la recarga hídrica.

En relación a la implicancia que se torna respecto al acuífero que se encuentra dentro del ámbito de la cuenca del río Rímac, se obtuvo que en el área que abarca el acuífero, se encuentran las áreas de la cuenca que presentan un alto y muy alto potencial de recarga hídrica, para lo que se identificó que las áreas verdes y la agricultura sostenible costera y alto andina, contribuyen a la recarga del acuífero (Figura 17). Teniendo esto en cuenta, las actividades que se desarrollen dentro del área que abarca el acuífero del Rímac, serán

considerables debido al impacto que generan al potencial de recarga hídrica de la cuenca y sobre todo a la recarga del acuífero. Como se sabe, según la información con la cual se ha trabajado, el acuífero del Rímac es uno de los más explotados a nivel nacional, y si se siguen con actividades que afecten el potencial de recarga hídrica de una manera negativa, estas traerán como consecuencia la disminución en la recarga hídrica del acuífero, por lo cual se agotarían las reservas de agua.

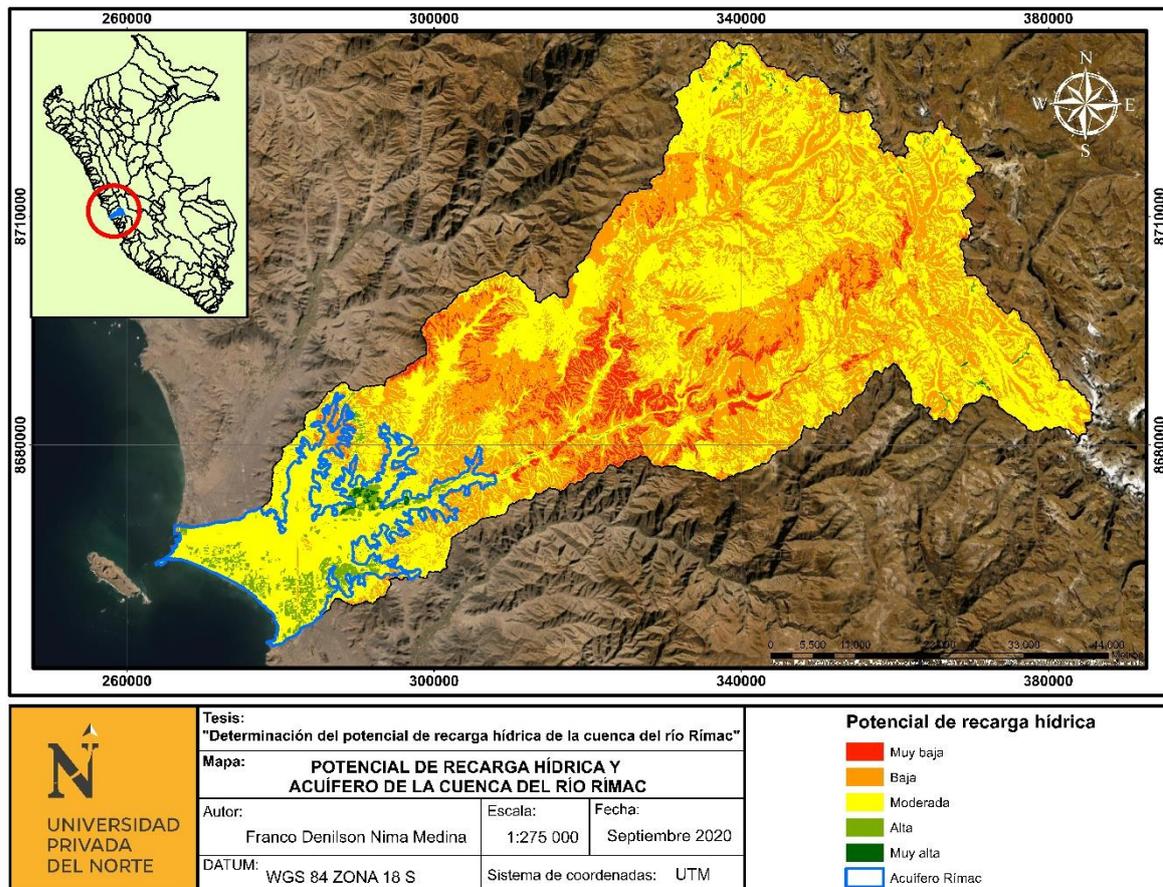


Figura 17. Potencial de recarga hídrica dentro del ámbito del acuífero del Rímac.

Como principal implicancia, se tiene en cuenta que el presente estudio brinda los primeros indicios del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac, siendo el primer trabajo realizado de este tema a nivel nacional. Para lo que se tiene en cuenta que es el inicio de diferentes investigaciones del tema a nivel nacional, en donde el potencial de recarga hídrica sea uno de los elementos a analizar en los estudios realizados en una cuenca

debido a los múltiples datos que genera y también por las utilidades que se le puede dar a la información.

Las limitaciones que se presentaron para el estudio realizado son en primera instancia debido al contexto en el cual nos encontramos, lo cual no permitió la acumulación de información en campo, como lo son la toma de muestras de suelo para la determinación de la textura que presenta actualmente, el reconocimiento del uso actual de suelo que se le da a la cuenca y el análisis de la cobertura vegetal in situ dentro del ámbito de la cuenca del río Rímac. En un principio se tenía en cuenta tener algunos datos de campo para aumentar la confiabilidad de los datos con los que se han trabajado pero por el contexto actual que se vive actualmente, resultó ser una limitación principal.

Por otro lado, se tiene en cuenta como otro limitante a la falta de actualización de los datos presentados por el Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, y de la Autoridad Nacional del agua, que fueron usados para el presente trabajo. Puesto a que si bien se cumple que la información se encuentre en el rango de años aceptable para la investigación, hubiera sido beneficioso obtener datos del presente año de las fuentes nacionales de los cuales se usó la información.

Finalmente, como última limitante se encuentra la falta de información sobre el potencial de recarga hídrica en la cuenca del río Rímac y a nivel de todas las cuencas del Perú, ya que la presente metodología aplicada en el estudio, no se ha aplicado en otra cuenca a nivel nacional, lo cual dificulta la comparación de los resultados en ese aspecto.

4.2. Conclusiones

En la presente tesis se determinó el potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac según la metodología de Matus, la cual presentó las categorías muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto de potencial de recarga hídrica, según la metodología aplicada. El potencial de recarga hídrica moderado, fue el que más se evidenció con un 50.91% del área total de la cuenca, luego se encontró al potencial de recarga hídrica bajo con un 41.51% del área total de la cuenca del río Rímac, siendo ambos los potenciales de recarga hídrica con mayor presencia en su ámbito. Por otro lado, los potenciales de recarga hídrica con menor evidencia fueron el potencial de recarga hídrica muy bajo con un 4.95% del área total de la cuenca, seguido del potencial de recarga hídrica alto con un 2.37% del área total y finalmente, el potencial de recarga hídrica bajo con un 0.25% del área total de la cuenca del río Rímac.

El potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac está influenciado por las características físicas de la cuenca que fueron analizadas según la metodología aplicada. Estas características físicas son la pendiente y microrrelieve, uso actual de suelo, cobertura vegetal, tipo de roca y tipo de suelos, las cuales influyeron para que la cuenca del río Rímac presente un potencial de recarga hídrica con tendencia moderado – bajo, puesto que ambos potenciales de recarga hídrica representa un 92.42% del área total de la cuenca del río Rímac.

De acuerdo a la evaluación del potencial de recarga hídrica según la metodología aplicada, la cuenca del río Rímac presenta características físicas que influyen en el resultado final, estas características son un factor importante porque son las que determinaron que la cuenca del río Rímac presente un potencial de recarga hídrica entre moderado y bajo, puesto que estos abarcan un gran porcentaje del área total de la cuenca. La predomina de pendientes escarpadas hasta terrenos planos, las diferentes permeabilidades que presentaron los tipos de roca, la cobertura vegetal densa y escasa en

las distintas áreas, los tipos de suelo que cuentan con texturas variadas y el crecimiento de las actividades que hacen uso del suelo de la cuenca del río Rímac, afectaron el potencial de recarga hídrica, variando las condiciones naturales que se requieren para que ocurra la recarga hídrica del acuífero Rímac.

La cuenca del río Rímac presentó una variación de potenciales de recarga hídrica según la metodología de Matus, en donde se recomienda que se debe de tomar en cuenta la actualización de la información de los diferentes escenarios que se tenga a lo largo del recorrido de la cuenca en estudio, ya que, esta puede variar dependiendo de las actividades socioeconómicas que se realicen. Además, se atribuye como recomendación que la metodología aplicada sea comparada con otro tipo de metodologías para hallar el potencial de recarga hídrica y así dar a conocer una nueva perspectiva de la realidad que se tiene en la cuenca estudiada. Por último, se recomienda hacer una comparación de los resultados del potencial de recarga hídrica según la metodología de Matus con datos que sean tomas en campo, de manera que se complemente lo trabajado en gabinete y así se tenga una realidad del estado del acuífero de la cuenca estudiada y poder proponer las acciones correspondientes que lleven a la conservación del mismo.

REFERENCIAS

- Aguilar, S., Ríos, M., & Ureña, A. (2018). *Estimación de las áreas potenciales de recarga hídrica mediante mediciones de infiltración y modelación hidrológica en la microcuenca río Tigre para ayudar a la gestión del agua de la ASADA San Gabriel, San José, Costa Rica, 2016 – 2017* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Aguilar, J., & Carrillo, L. (2014). Tipos de rocas. *Rocas*, (1), 21 – 35.
- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Recuperado de <http://arcgeek.com/descargas/MCuencas.pdf>
- Arela, R. (2014). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Recuperado de: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursos_hidricos_2013.pdf
- Caxi, A. (2017). *Generación de escorrentía, disponibilidad de agua y usos del suelo* (Tesis de licenciatura). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.
- Chambilla, W. (2014). *Hidrogeología del acuífero Layagache – Sama interrumpida por la evolución tectónica del mio – plioceno* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Chiong, C. (2015). *Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate, mediante el riego de áreas verdes* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cusquisiban, G. (2019). *Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca y*

La Libertad – Perú (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Echeverri, G. (1998). Aspectos teóricos sobre los fenómenos de contaminación de aguas subterráneas. *Revista Universidad Eafit*, (1), 61 – 75.

Erazo, J. (2019). *Influencia de la pendiente y textura del suelo en el stock de carbono en coberturas boscosas, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana Unión, Perú.

ESRI. (2020). *¿Qué es ArcGIS? ArcGIS Resources*. Recuperado de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>

Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2946/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernández, E. (2006). La gestión de la recarga hídrica en España: El proyecto DINA-MAR. *Tierra y tecnología*, (30), 37 – 44.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D’Elia, M. & Paris, M. (2002). *Protección de la calidad de agua subterránea*. Washington, USA: Ediciones Mundi-Prensa.

García, M. (2009). *Determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Tacó y Shusho, Municipio de Chiquimula, Departamento de Chiquimula* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos, Guatemala.

Gisbert, J., & Carrillo, L. (2002). Tipos de rocas. *Rocas*, (1), 21 – 35.

Gómez, C. (2016). *Determinación de zonas de importancia hídrica para la propuesta de conservación y recuperación ambiental en el páramo de Mojanda, Parroquia San*

Rafael, Cantón Otavalo (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Gonzales, E. (2016). *Recarga del acuífero de Lima mediante el uso de aguas residuales tratadas* (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Hämmerly, R. (2001). *Modelación de la evapotranspiración con métodos de balance de agua* (Tesis de magister). Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

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 licenciatura). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Herrera, W. (2019). *Cambios de cobertura y uso de suelo con imágenes satelitales del distrito de Llapa – Cajamarca periodo 2003 – 2018* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Mamani, E. (2017). *Recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Ministerio de Ambiente. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal – Memoria Descriptiva*. Lima, Perú: MINAM.

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* (Tesis de magister). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Nicaragua.

Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín. (2019). *Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca* (p. 151). Lima, Perú.

- Oca, H. (2017). *Calidad de agua de los manantiales que abastecen a la población del caserío de Pomabamba – distrito de Jesús – provincia de Cajamarca* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- ONU. (2015). Agua. Recuperado 12 de mayo de 2020 (<https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>).
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Ciclo hidrológico*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Palacios, E. (2016). *Determinación de la tasa de infiltración de los pavimentos de adoquines en el casco urbano de la ciudad de Piura* (Tesis de licenciatura). Universidad de Piura, Perú.
- Paredes, D. (2017). *Balance hídrico y cálculo de eficiencia de riego del reservorio Garrapón – Valle Chicama, para la evaluación de áreas de influencia* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Quispe, M. (2019). *Relación entre la capacidad de infiltración y la capacidad de adaptación frente al efecto de disminución de la disponibilidad del recurso hídrico, Quebrada Quilcayhuanca, Parque Nacional Huascarán* (Tesis de magíster). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Tolentino, M. (2018). *Permeabilidad del suelo con adición del 10% de ceniza de concha de abanico, Carretera Cambio Puente – Cascajal* (Tesis de licenciatura). Universidad San Pedro, Chimbote, Perú.
- Valderrama, J. (2014). *Conflictos entre uso actual y capacidad de uso mayor de los suelos que influyen en el desarrollo territorial sostenible del distrito de Matara, Cajamarca* (Tesis de magíster). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Vilela, E., & Jiménez, F. (2003). Usos predominantes de la tierra y potencial de recarga de agua en la cuenca del río Gama, Distrito Federal, Brasil. *Recursos Naturales y Ambiente*, (45), 13 – 20.

Zuccheti, A., Arévalo, D., & Bleeker, S. (2012). El Aquafondo: Fondo del Agua para Lima y Callao. Una Herramienta financiera para la gestión integral del agua. En F. Hajek & P. Martínez. (Ed.), *¿Gratis? Los servicios de la naturaleza y cómo sostenerlos en el Perú* (pp. 135 – 148). Lima, Perú: Servicios Ecosistémicos Perú.

ANEXO N.º 1. Ubicación del acuífero Rímac.

