

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA MEDIANTE LA METODOLOGÍA RAS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Carla Natalia Layten Vera
Lucio Leonardo Santi Morales

Asesor:

Ing. Mg. Jimmy Mendoza Montalvo

Lima - Perú

2021



DEDICATORIA

Carla.

A Mami Vicky, mi abuelita, y a mi mamá, por inculcarme la fuerza y la fe que me acompañan en el camino de la vida.

A mi padre, por inspirarme a terminar una segunda carrera.

Lucio.

A mis padres, David y Victoria, que durante mi segunda carrera me apoyaron y alentaron para lograr el objetivo.

A mi abuelita Julia, por acompañarme, guiarme y darme la mano durante el transcurso de mi vida.

A mi abuelito Leonardo, el hombre más fuerte que conocí, que está en el cielo, sus enseñanzas me acompañan siempre.

Carla y Lucio.

A nuestro hijo Fabian, que es la alegría de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, nuestros hermanos, nuestros abuelitos,
tíos y primos por el apoyo brindado en el transcurso de
nuestra formación profesional.

A nuestro asesor de tesis, Ing. Jimmy Mendoza, por las
enseñanzas durante la elaboración del presente trabajo.

A todas las personas que nos ayudaron durante la
elaboración del trabajo.

Tabla de contenidos

| | |
|----------------------------------------------------|-----------|
| DEDICATORIA..... | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA | 21 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 32 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 59 |
| REFERENCIAS..... | 62 |
| ANEXOS..... | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Coordenadas geográficas del mapa de la cuenca del río Santa Eulalia. | 23 |
| Tabla 2. Ubicación de estaciones meteorológicas. | 24 |
| Tabla 3. Coeficiente de tipo de suelo. | 25 |
| Tabla 4. Coeficientes de pendiente. | 26 |
| Tabla 5. Coeficiente del uso de suelo. | 26 |
| Tabla 6. Coeficiente del tipo de suelo para la subcuenca Santa Eulalia. | 32 |
| Tabla 7. Coeficiente de pendiente para la subcuenca Santa Eulalia. | 34 |
| Tabla 8. Coeficiente de uso de suelo en la subcuenca Santa Eulalia. | 36 |
| Tabla 9. Coeficiente de infiltración de la subcuenca Santa Eulalia. | 38 |
| Tabla 10. Índices estadísticos sobre la comparación de la data del Senamhi y la data PISCO. | 42 |
| Tabla 11. Recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia. | 48 |
| Tabla 12. Zonas recorridas para validación del modelo RAS | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación de la subcuenca del río Santa Eulalia. | 22 |
| Figura 2. Flujo de trabajo de la tesis..... | 28 |
| Figura 3. Coeficiente de tipo de suelo para la subcuenca Santa Eulalia. | 33 |
| Figura 4. Coeficiente de pendientes de la subcuenca Santa Eulalia..... | 35 |
| Figura 5. Coeficiente de uso del suelo de la subcuenca Santa Eulalia. | 37 |
| Figura 6. Coeficiente de infiltración de la subcuenca Santa Eulalia. | 39 |
| Figura 7. Análisis de correlación de las estaciones físicas (data del Senamhi) y estaciones virtuales (data PISCO)..... | 42 |
| Figura 8. Precipitación media anual de la subcuenca Santa Eulalia – Data PISCO..... | 43 |
| Figura 9. Evapotranspiración media anual de la subcuenca Santa Eulalia..... | 45 |
| Figura 10. Balance climático de la subcuenca Santa Eulalia. | 47 |
| Figura 11. Recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia. | 49 |
| Figura 12. Vista panorámica de la subcuenca alta Santa Eulalia. | 51 |
| Figura 13. Vista de sobrepastoreo por ganado de las comunidades de Santa Eulalia. | 52 |
| Figura 14. Vista panorámica del sobrepastoreo en la subcuenca Santa Eulalia. | 53 |
| Figura 15. Vista panorámica del margen derecho de la subcuenca Santa Eulalia..... | 54 |
| Figura 16. Vista de cobertura vegetal protegida en la subcuenca de Santa Eulalia. | 55 |
| Figura 17. Vista de una cocha sin mantenimiento en la subcuenca Santa Eulalia. | 56 |
| Figura 18. Zona óptima para la implementación de cochas. | 57 |
| Figura 19. Zanjas de infiltración deterioradas de la subcuenca Santa Eulalia. | 58 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| Ecuación 1: Coeficiente de infiltración | 26 |
| Ecuación 2: Recarga hídrica | 27 |
| Ecuación 3: Balance climático | 27 |

RESUMEN

La recarga hídrica subterránea se da en forma natural en las cuencas hidrográficas. Una correcta gestión del recurso hídrico garantiza que el agua llegue a los acuíferos, donde el recurso almacenado puede ser utilizado para diferentes usos como abastecimiento de agua, riego, entre otros. Sin embargo, son pocas las cuencas que están correctamente administradas, lo cual conlleva a una mala gestión del recurso hídrico. Este estudio se realizó con la finalidad de identificar las zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Santa Eulalia con la aplicación del método de aguas subterráneas (RAS). La metodología utilizada permite elaborar un mapa de recarga de agua subterránea donde intervienen variables como la pendiente, la textura del suelo, la cobertura vegetal, la precipitación y la evapotranspiración. Se utilizó la data PISCO del SENAHMI y se realizó la comparación para determinar el grado de ajuste con la data registrada por las estaciones que están en el área de estudio publicada en su portal web a nivel diario. De acuerdo con los resultados obtenidos se identificaron cinco zonas potenciales de recarga hídrica con la clasificación de muy baja, baja, media, alta y muy alta, con valores de 21%, 22%, 21%, 22% y 14% del área total, respectivamente.

Palabras clave: Zonas de recarga hídrica, método RAS, agua subterránea, SIG

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La recarga hídrica subterránea, se da en forma natural en las cuencas hidrográficas, una correcta gestión del recurso hídrico garantiza que el agua llegue a los acuíferos, donde el recurso almacenado puede ser utilizado para diferentes usos (como abastecimiento, riego y/o entre otros). Sin embargo, son pocas las cuencas que están correctamente administradas, conllevando a una mala gestión del recurso hídrico.

La mala gestión de las cuencas hidrográficas (por el impacto a los ecosistemas que generan las diferentes actividades del ser humano), la baja eficiencia del uso del agua, la contaminación a nivel de los ríos, fuentes, reservorios y zonas de recarga, causan una acelerada reducción de la disponibilidad de fuentes de agua para usos múltiples (Arela, 2014).

La recarga hídrica es la infiltración del agua superficial que pasa la zona no saturada del subsuelo y llega a la zona saturada de agua subterránea y forma parte del acuífero, esta puede ocurrir de forma natural o de forma artificial (Velasquez, 2008). La recarga hídrica natural está influenciada por: la precipitación, la evaporación, la geología, el subsuelo, la vegetación, el uso de suelo, la topografía, la pendiente y la profundidad hacia el acuífero. La recarga hídrica en forma artificial, es decir con la intervención del hombre, tiene como objetivos compensar la pérdida de recarga natural del acuífero producido por actividades humanas (obras civiles, urbanizaciones, etc.) añadiendo agua subterránea disponible. Esto permite una reducción del descenso de nivel del agua subterránea, lo cual implica aplacar el costo por extracción y con ello lograr una mayor extracción anual (Mamani, 2017).

Para poder aumentar la eficiencia en la recarga de acuíferos, es necesario identificar las zonas de recarga hídrica, ya que con la implementación de infraestructura adecuada se podría mejorar la regulación hídrica natural para los diversos usos como agricultura, consumo humano, industria, etc.

Conocer e identificar estas zonas de recarga hídrica potencial nos permitirá identificar y realizar una correcta gestión y recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica. Existen diferentes metodologías para identificar las zonas de recarga hídrica, tales como el método de recarga de agua subterránea (RAS), el método de balance de agua, el método de trazadores o isotopos, el método de balance hídrico del suelo, el método participativo, entre otros.

Los métodos mencionados tienen relación en cuanto a las variables que utilizan, por lo que si realizamos el uso de cualquier metodología los resultados no deberían mostrar diferencias significativas. Estas variables son: tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente del terreno, tipo de roca, uso de suelo, precipitación, profundidad de raíces, evapotranspiración e infiltración básica. Sin embargo, estos pueden variar de acuerdo con el criterio de cada autor en la aplicación de cada metodología (Figueredo, 2019).

A nivel internacional podemos encontrar diferentes estudios sobre el uso de las metodologías para identificar zonas de recarga hídrica. Por ejemplo, Bardales (2010) señala que “los parámetros importantes para determinar las zonas de mayor recarga son los siguientes: El clima (la precipitación y la evapotranspiración), el suelo, la estratigrafía geológica, la cobertura vegetal y el escurrimiento. Además de estos factores que influyen en el cálculo de la recarga hídrica natural, es posible determinar las áreas críticas de recarga considerando los aspectos geológicos, la infiltración, la recarga anual y la pendiente del terreno. Estos últimos componentes son clasificados

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS de acuerdo con criterios, donde la suma de los resultados permite para categorizar cada área”.

Herrera & Brown (2011) afirman que el cálculo de la recarga hídrica se divide en tres fases, al inicio se obtienen mapas de unidades de recarga hídrica para el muestreo en campo, conforme al traslape de los mapas de geomorfología y uso actual de tierras, luego se utilizan los parámetros físicos del suelo, como la humedad y densidad, para calcular la recarga hídrica de cada unidad conforme a la ecuación de balance de masas y por último las unidades obtenidas se agrupan en un mapa final de recarga hídrica, donde se clasifican de acuerdo con los rangos de volúmenes de recarga específica anual, siendo las categorías de muy alto (recargas mayores a 300 0000 m³/km²/año, alto(recargas entre 150 000 a 300 000 m³/km²/año), medio (recargas de 50 000 a 150 000 m³/km²/año, baja (recargas de 10 000 a 50 000 m³/km²/año) y muy baja (recargas menores a 10 000 m³/km²/año).

En otros países como Colombia se han realizado estudios sobre protección y conservación del agua. Figueredo (2019) nos menciona que en el año 2014 se identificaron y delimitaron 62 sistemas de acuíferos y que el año 2018 se presentó por primera vez en su país un mapa nacional de zonas potenciales de recarga, estableciéndose 4 categorías: alta, moderada, baja y muy baja potencialidad.

En el municipio de San Jorge, departamento de San Miguel, El Salvador, se utilizó la metodología de balance hídrico propuesta por Schosinsky para caracterizar y cuantificar las principales zonas potenciales de recarga hídrica. Para aplicar esta metodología se debe conocer la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje, la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, y el balance de suelos que permite estimar el agua que drena hacia el acuífero. De acuerdo con sus resultados se obtuvo tres categorías de recarga potencial: baja (≤ 200 mm/año), media (200-400 mm/año) y alta

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS (≥ 400 mm/año), donde el 61.36% de la zona de estudio presenta una recarga media y el 18.36% representa una recarga alta (Chávez et al., 2017).

Otra metodología utilizada es la metodología participativa del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), que evalúa los factores biofísicos como pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso de la tierra. A su vez integra a los actores locales en la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en las subcuencas hidrográficas. Donis (2015) señala que utilizó esta metodología para determinar las zonas potenciales de recarga hídrica de la microcuenca del Río Negro donde clasificó a la zona según su potencial de recarga en *alto, moderado, bajo y muy bajo* con porcentajes de área de 3.63%, 19.57%, 20.25% y 56.38%, respectivamente. El autor concluye que, a pesar de encontrarse en áreas con una cobertura vegetal moderada dentro de Guatemala, la microcuenca no posee potencial de recarga hídrica debido, principalmente, a la urbanización, pendientes escarpadas y suelos con mayor cantidad de arcilla.

Coy (2015) señala que para identificar las zonas potenciales de recarga de la subcuenca del río Tzunutz (Guatemala) se utilizan los parámetros de pendientes, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación. Asimismo, elaboró mapas temáticos y, luego de una evaluación multicriterio, obtuvo el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica. Utilizando la metodología basada en el proceso de análisis jerárquico se identifican las siguientes 5 zonas de recarga (muy bajo (11.54%; bajo (23.85%), moderado (28.96%), alto (23.03%) y muy alto (12.63%)). Los factores que favorecen en el potencial de recarga son los suelos francos y franco arenoso ya que generan una alta permeabilidad.

Herrera (2017) utilizó la metodología RAS para identificar 4 zonas potenciales de recarga con categorías de muy alta (>500 mm/año, alta (400 – 500 mm/año), moderada (300 – 400 mm/año) y baja (200 – 300 mm/año) en la comuna La Esperanza, provincia del Carchi, Ecuador. En su estudio concluye que los factores que influyen en la identificación de dichas zonas son: tipo de suelo, textura de suelo, profundidad del suelo, la cobertura vegetal y uso de suelo. En el caso del tipo de suelo, los suelos cryands (andisoles) con profundidades mayores a 1 metro y de texturas franco arenosas o franco limosas, con cobertura vegetal de bosque nativo, páramo y vegetación arbustiva, aumentan la recarga hídrica, mientras que la combinación de suelos cryands, udans y tierras misceláneas con texturas franco (arenosas, limosas y arcillosas), arcillo arenoso y arcillo limosos y de profundidades de 50 a 100 cm con presencia de vegetación arbustiva, páramo invertido y cultivos de ciclo corto, disminuyen la infiltración del agua, y por tanto, la posibilidad de recarga es menor.

En el ámbito nacional se han registrado pocas investigaciones con relación a la identificación de recargas hídricas. Cusquisiban (2019) señala que identificó las zonas de recarga hídrica favorables y moderadamente favorables utilizando imágenes LANDAST 8 mediante la metodología del árbol de decisiones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca. La autora corroboró las imágenes con los 1021 pozos de agua subterránea inventariados por INGEMMET (2015) donde 805 de ellos representan la clase de recarga hídrica favorable. Además, menciona que las zonas altas o cabeceras de cuenca no son siempre las zonas de mayor producción hídrica, sino que en muchos casos son las zonas bajas o valles, quienes registran la mayor cantidad de zonas de recarga hídrica en el valle con elevaciones entre 0 a 1000 msnm.

En el estudio realizado por Peña et al (2016) para la cuenca de Santa Eulalia, se identificó zonas de recarga potenciales para abastecer a los centros poblados e

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS Callahuanca, Chauca, San Pedro de Castay Chaclla. Se utilizó la recarga artificial por medio de zanjas de infiltración en los sectores de Callahuanca-Chauca y Chaclla debido a que están marcados por un régimen estacional de lluvias como única fuente de recarga y la precipitación en la zona es de 200 -300 mm, mientras que en el sector de San Pedro de Casta se plantean amunas o canales de infiltración porque cuentan con una quebrada de 40 L/s de caudal lo cual puede ser aprovechado como fuente de alimentación para la recarga.

Huamán & Valenzuela (2020) realizaron un estudio hidrogeológico del acuífero kárstico para determinar zonas de recarga artificial e incrementar la oferta hídrica en el sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco. En base a la superposición de los mapas de pendientes, geológico, hidrogeológico, el análisis de fracturación y las imágenes satelitales, se identifican cinco zonas de recarga artificial de un área de 0.15 km² que son zanjas de infiltración que aprovechan fisuras y conductos.

En la tesis de Arela (2014) titulada “Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca el Río Huyllani, Lampa”, se concluye que el 39% de la microcuenca es apta para la zona de recarga hídrica. Esta zona puede proveer a las aguas subterráneas de la parte baja de la microcuenca, la oferta hídrica que se obtiene es suficiente para las familias que habitan la zona por un periodo de 10 años. A su vez complementa la información incidiendo en que los actores locales no gestionan de manera correcta la cuenca en cuanto a un enfoque integral, sino de forma incipiente.

Aunque existen diversos métodos de identificación de zonas de recarga hídrica, hemos elegido el método RAS debido a que este método no solo contempla un algebra de mapas que pondera variables como tipo de suelo, cobertura vegetal, la pendiente y la geomorfología, sino que también realiza un balance hídrico que corresponde a la oferta

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS hídrica de la cuenca. Esto debido a que aun cuando se tengan óptimas condiciones en cuanto a suelo, cobertura y pendiente, si no existiera una adecuada precipitación que contribuya a la oferta hídrica de la zona en estudio la identificación de las áreas de recarga no se realizaría de forma correcta.

El Inventario de Fuentes de Agua Superficial de la Autoridad Nacional del Agua (2010) señala que la sub cuenca Santa Eulalia con código 1375544 tiene 336 fuentes de agua superficial que lo componen 141 quebradas, 7 ríos, 77 lagunas naturales, 26 lagunas represadas, 2 presas y 83 manantiales. Estas fuentes corresponden al 53.3% del total de fuentes existentes en la cuenca del río Rímac.

Las estaciones convencionales y automáticas operativas con información meteorológica que se encuentran dentro de la sub cuenca Santa Eulalia de acuerdo con (SENAHMI, 2021) son: Santa Eulalia, Autisha, Carampoma, Mina Colqui y Milloc con un periodo de registro aproximadamente de los años 1990 – 2020.

En el estudio de Charca (2016) titulado “Caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia”, se concluye que factores como la litología, geomorfología y la precipitación pluvial son variables para una correcta caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia, la cual se clasificó en dos unidades hidrogeológicas: los acuíferos y acuitardos. Al respecto, los factores determinantes en su caracterización son las formaciones geológicas en la subcuenca, ya que las fallas, plegamientos y fracturas superficiales generan la porosidad secundaria; esta propiedad hidrogeológica es muy favorable para la recarga de acuíferos. El autor realizó 11 ensayos de infiltración y obtuvo valores distintos, ya que los factores litológicos y estructurales no se comportan de forma similar porque los acuíferos presentes son anisótropos, es decir a pesar de tener una misma litología, presentan comportamientos diferentes. También determina que en la subcuenca Santa Eulalia existen 28 fuentes

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS subterráneas que están por debajo de los límites máximos permisibles para calidad de agua para consumo humano (DS N° 031 - 2010 – SA) y 43 fuentes no son aceptables para este uso. Por tanto, recomiendan que a través de un mapa Hidrogeológico se pueden priorizar zonas para implementar obras que hagan más eficiente la recarga natural de los acuíferos mejorando las condiciones de infiltración de las precipitaciones en época de avenida.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca es un área natural de terreno definida por el patrón de escurrimiento del agua, es decir, es el área de un territorio que desagua en una quebrada, en un río, en un lago, en un pantano, en el mar o en un acuífero subterráneo (García, 2012). Se diferencian tres sectores característicos en una cuenca hidrográfica: alto, medio y bajo, en función de las características topográficas del medio (Llerena, 2003). La cuenca se divide a su vez en subcuencas que son conjuntos de microcuencas que drenan en un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente. Una microcuenca se refiere a toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca, es decir que una subcuenca está dividida en varias microcuencas (Ordóñez, 2011).

1.2.2. Recarga hídrica

La recarga hídrica es un proceso por el cual el agua procedente del exterior del contorno que lo limita incorpora agua al acuífero. Esta recarga puede darse de manera natural, inducida, accidental o artificial (Ministerio de Agricultura. Autoridad Nacional del Agua, 2009).

1.2.3. Factores que afectan la recarga hídrica

Clima

Dentro del clima, los factores que más afectan la recarga hídrica son: la cantidad de lluvias y la cantidad de evapotranspiración. Éste último, se debe a la pérdida de agua por transpiración de las plantas y la evaporación de la humedad del suelo (Cusquisiban, 2019). Es decir, el clima afecta en la recarga hídrica en cuanto a los factores de precipitación, temperatura y evapotranspiración (Padilla, 2003).

Suelo

Las características del suelo que intervienen e influyen en la recarga son la textura y estructura, la densidad aparente, el grado de saturación (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración (Bardales, 2010).

Topografía

Noriega (2005) nos menciona que la inclinación del terreno determina el tiempo de contacto del agua con la superficie del suelo. Es decir, en zonas con poca pendiente el agua presenta más oportunidad de infiltración ya que la escorrentía disminuye y se aumenta el tiempo de contacto, mientras que, en condiciones de pendiente alta, el agua adquiere velocidad, provocando mucha escorrentía y disminuyéndose el tiempo de contacto con la superficie del terreno y con esto la oportunidad de infiltrarse.

Cobertura vegetal

En el proceso de infiltración del agua, la cobertura vegetal reduce el impacto de las gotas de lluvia, por tanto, genera una menor compactación de la superficie del suelo que podría dificultar la infiltración. La cobertura vegetal incrementa la porosidad del suelo debido a la apertura de macroporos con sus raíces, incrementa la materia orgánica del suelo lo que hace que mejore la estructura de este, mejorando por tanto la infiltración (Ministerio de agricultura, 2009)

Uso de suelo

La caracterización de los tipos y subtipos de uso de suelo se realiza a partir del reconocimiento de las categorías generales: espacios agrícolas, zonas urbanas y espacios naturales o asociados. Esta forma de clasificación nos permite identificar si las zonas aportan o no a la recarga hídrica, por ejemplo, en una zona boscosa encontraremos una mayor posibilidad de recarga hídrica (Walsh Perú S.A., 2015).

Tipo de roca

La disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea) pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica (Matus et al., 2009).

1.2.4. Método de Recarga de Agua Subterránea (RAS)

Es un método científico y teórico para elaborar el mapa de la recarga de agua subterránea, que puede servir como una herramienta para apoyar a tomar decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, como también en el ordenamiento territorial (Junker, 2005). Es una metodología que no requiere información detallada y para determinar el coeficiente de infiltración básico (C) usa una modificación del modelo analítico propuesto por Schosinsky & Losilla (2000).

Según el modelo de Junker (2005), para obtener la recarga del acuífero se multiplica el balance climático con el coeficiente de infiltración. Las variables que intervienen en la obtención dicho coeficiente son: pendiente del terreno, textura del suelo y cobertura vegetal, para obtener el coeficiente de infiltración, y las variables evapotranspiración y precipitación se utilizan para realizar el balance climático.

1.3. Formulación del problema

¿Es posible identificar las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando el método de recarga de aguas subterráneas (RAS)?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Identificar las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando el método de recarga de aguas subterráneas (RAS).

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la subcuenca del río Santa Eulalia en sus componentes físico-bióticos que intervienen en la identificación de zonas de recarga hídrica.
- Clasificar las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando la metodología RAS.
- Validar las zonas de recarga hídrica identificadas para la subcuenca del río Santa Eulalia.
- Proponer acciones de protección en las áreas de mayor recarga hídrica.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La metodología RAS permite identificar las zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Santa Eulalia.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Es posible caracterizar la subcuenca del río Santa Eulalia en sus componentes físico-bióticos.
- Es posible clasificar las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando la metodología RAS.

- La información de campo permite realizar la validación de las zonas de recarga hídrica identificadas para la subcuenca del río Santa Eulalia.
- Es posible proponer acciones de protección en las áreas de mayor recarga hídrica.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, no experimental, descriptiva y transversal. Es aplicada porque se utilizarán métodos y técnicas para medición de variables, no experimental ya que no se verán afectadas las variables y se encontrará la solución al problema, descriptiva porque comprende la descripción, registro e interpretación de los datos y transversal porque se medirá la prevalencia del resultado en el tiempo.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Zona de Estudio:

En el Perú existen 159 cuencas hidrográficas identificadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), de los cuales 84 se encuentran en la región amazónica, 62 en la costa del Pacífico y 13 en los alrededores del lago Titicaca. La subcuenca hidrográfica de Santa Eulalia (Ver Figura 1) se ubica políticamente en la región Lima, en la provincia de Huarochirí y su extensión superficial es de 1077.38 km² que representa el 30.75% del total de la cuenca del río Rímac. Sus coordenadas geográficas se pueden observar en la Tabla 1. Asimismo, la red hídrica principal tiene una longitud de 62.36 km con una orientación de noreste a noroeste y con una forma rectangular alargada. La época de avenida está compuesta por los meses de diciembre a marzo cuya oferta hídrica es de 252.36 Hm³ con un 75% de persistencia distribuidos en tres zonas: la cuenca alta con 166.99 Hm³, la cuenca media con 78.76 Hm³ y la cuenca menor con 6.6 Hm³.

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

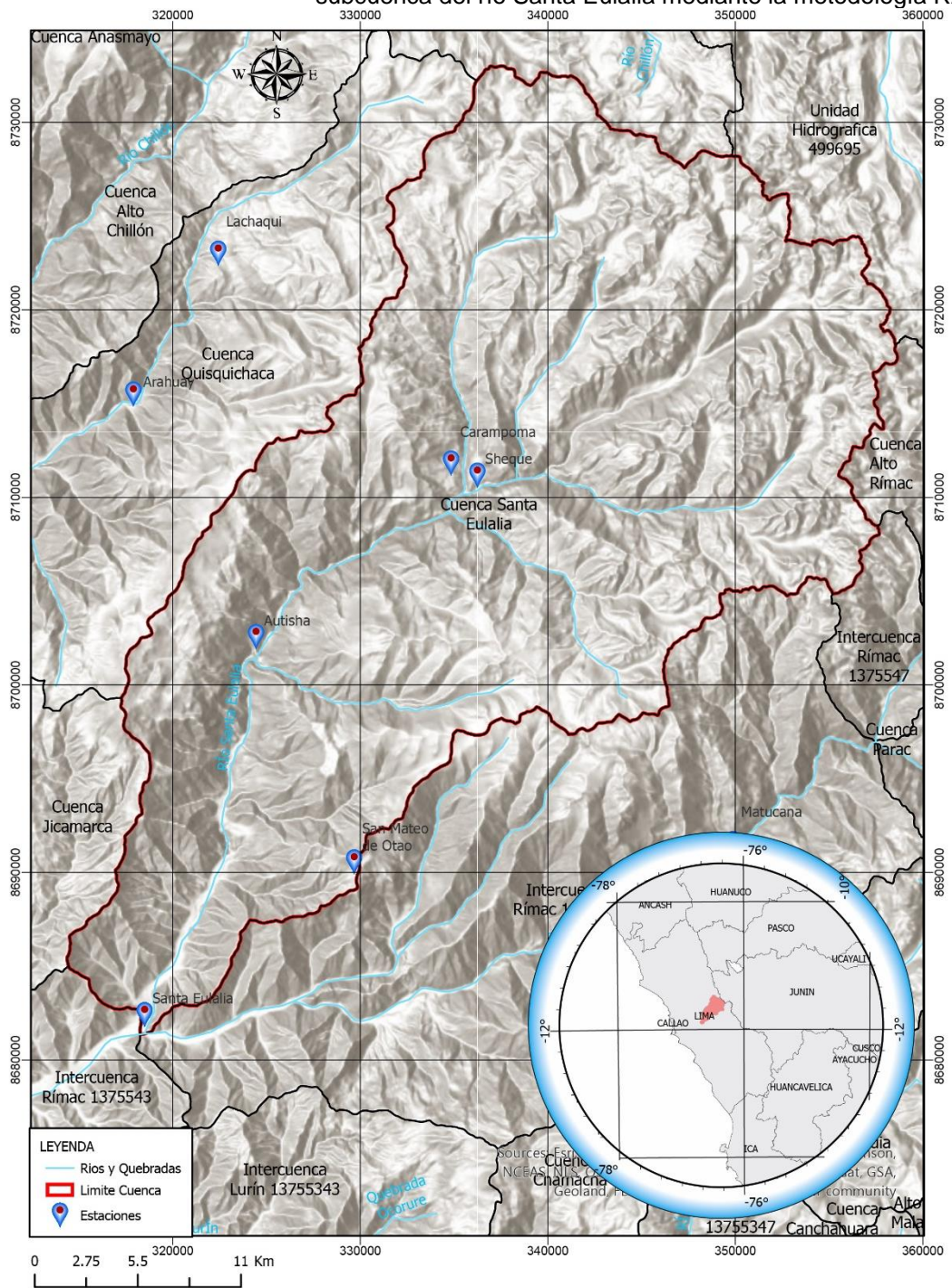


Figura 1. Ubicación de la subcuenca del río Santa Eulalia.

Tabla 1. *Coordenadas geográficas del mapa de la cuenca del río Santa Eulalia.*

| Vértices | Latitud | Longitud |
|--------------------|-----------|----------|
| Superior izquierdo | -11.4579 | -76.4909 |
| Superior derecho | -11.5990 | -76.2965 |
| Inferior izquierdo | -11.7672 | -76.4113 |
| Inferior derecho | -11.87686 | -76.7030 |

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Materiales

Los materiales utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

- Fotografías aéreas
- Cartas topográficas digitales
- Libreta de campo
- GPS navegador
- Software ArcGIS 10.8
- Software AutoCAD Civil 3 D
- Software Excel 2010
- Software Microsoft Word 2010
- Computadora portátil ASUS R4M4OIG

2.2.2. Métodos

Los métodos utilizados se resumen de los siguientes apartados.

a) **Caracterización general de la subcuenca Santa Eulalia**

Para realizar la caracterización se utilizó la información proporcionada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con ayuda de la plataforma Observatorio del Agua SNIRH que brinda las principales características geomorfológicas de la cuenca y también con la información libre de la página del ANA “Unidades Hidrográficas

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS menores” extrajo la delimitación de la sub cuenca Santa Eulalia con ayuda del software ArcGIS 10.8 y se procedió a determinar la ubicación, perímetro, longitud de cauce principal, ancho promedio, entre otras variables.

b) Determinación de la precipitación media anual

Para el cálculo de la precipitación media anual se utilizó la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAHMI’s Climatological and hydrological Observations). Esta base de datos cuenta con información de precipitación diaria y mensual a una resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, y cubre todo el territorio nacional. El modelo genera un ráster cuyo valor es la precipitación promedio entre enero de 1981 a diciembre de 2016. La información se encuentra disponible en la página web: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.monthly/> (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021).

Se descargó la información de las estaciones meteorológicas ubicadas en la subcuenca Santa Eulalia considerando las estaciones de la Tabla 2. Luego se procedió a realizar la comparación de la data meteorológica de la base de datos PISCO y de la data de las estaciones meteorológicas mencionadas, mediante el software R.

Tabla 2. *Ubicación de estaciones meteorológicas.*

| Estación | Latitud | Longitud | Periodo Registro |
|-------------------|----------------|----------------|------------------|
| Santa Eulalia | 11°55'12" S | 76°39'59.9" W | 1963 - 2014 |
| San Mateo de Otao | 11°50'49.2" S | 76°33'49.01" W | 1987 - 2014 |
| Autisha | 11°44'17.33" S | 76°36'39.7" W | 1980 - 2013 |
| Carampoma | 11°39'18.1" S | 76°30'54.49" W | 1965 - 2014 |
| Sheque | 11°39'39.42" S | 76°30'8.28" W | 1987 - 2014 |
| Arahuay | 11°37'15.28" S | 76°40'13.22" W | 1980 - 2013 |
| Lachaqui | 11°33'11.78" S | 76°37'42.38" W | 1963 - 2014 |
| Matucana | 11°50'20.78" S | 76°22'40.81" W | 1964 - 2015 |
| Casapalca | 11°38'16.8" S | 76°13'59.7" W | 1985 - 2014 |

Fuente: Elaboración propia

c) Determinación de la evapotranspiración media anual

Para la determinación de la evapotranspiración se emplearon los datos grillados a nivel mensual del producto experimental PISCOpet V.1.0. Los datos de PISCOpet se obtuvieron en base a la temperatura mínima y máxima grillada de PISCOtemp V.1.1. y la metodología de Oudin et al. (2005) para el cálculo de evapotranspiración (ET). La base de datos PISCOpet presenta los datos de evapotranspiración a una resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ y cubre todo el territorio nacional. El modelo genera un ráster cuyo valor es la evapotranspiración promedio en la subcuenca entre el mes de enero de 1981 hasta diciembre de 2016. La información se encuentra disponible en la página web: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.PET/.v1p1/.stable/.monthly/> (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021).

d) Determinación del coeficiente de tipo de suelo

Junker (2005) establece los valores del coeficiente de uso de suelo para la metodología RAS, los cuales se observan en la Tabla 3:

Tabla 3. *Coeficiente de tipo de suelo.*

| Tipo de suelo | Kfc |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Suelos arenosos, recientes, suelo de cauce de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas. | 0.20 |
| Suelos de combinación de limo y arcilla, litosol y regosol de valle, zonas con fallas tectónicas. | 0.15 |
| Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables | 0.10 |

e) Determinación del coeficiente de pendiente

Junker (2005) establece los valores del coeficiente de pendiente para la metodología RAS, los cuales se observan en la Tabla 4:

Tabla 4. *Coefficientes de pendiente.*

| Pendiente | Kp |
|-------------|------|
| Muy plano | 0.40 |
| 1-15% | 0.15 |
| 15-30% | 0.10 |
| 30-50% | 0.07 |
| 50-70% | 0.05 |
| Más del 70% | 0.01 |

f) Cálculo del coeficiente del uso de suelo

Los valores del coeficiente de uso de suelo para la metodología RAS, según Junker (2005), se definen en la Tabla 5.

Tabla 5. *Coefficiente del uso de suelo.*

| Cobertura y uso de suelo | Kv |
|---------------------------------------------------------|------|
| Bosque latifoliado/Bosque nativo | 0.20 |
| Plantaciones de bosques/Bosque plantado | 0.15 |
| Sistemas agroforestales/Mosaico agropecuario | 0.10 |
| Vegetación arbustiva baja/Vegetación arbustiva y páramo | 0.15 |
| Cuerpos de agua/Cuerpos de agua | 0.00 |

g) Coeficiente de infiltración

El coeficiente de infiltración (C), según Junker (2005), es el grado de infiltración de una zona y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Coeficiente de infiltración

$$C = K_{fc} + K_p + K_v$$

Donde:

K_{fc} = Coeficiente del tipo de suelo

K_p = Coeficiente de pendiente

K_v = Coeficiente del uso de suelo

h) Cálculo de la recarga hídrica

Para la identificación de las zonas de recarga hídrica se utilizó la metodología RAS elaborada por Junker (2005), donde la ecuación 2 determina la cantidad de agua infiltrada en una zona.

Ecuación 2: Recarga hídrica

$$R = BC * C$$

Donde:

R = Recarga acuífera

BC = Balance climático

C = Coeficiente de infiltración

El balance climático está dado por la ecuación 3:

Ecuación 3: Balance climático

$$BC = P - ET.$$

Donde:

BC = Balance climático

P = Precipitación (mm)

ET = Evapotranspiración (mm)

i) Generación del mapa de recarga hídrica

Para poder generar el mapa de recarga hídrica se generó primero los ráster de precipitación y evapotranspiración. Luego, con estos datos se obtuvo el ráster de balance climático.

2.3. Procedimiento

Se realizó una recopilación de datos de la subcuenca Santa Eulalia para generar el coeficiente de infiltración mediante las variables cobertura vegetal, tipo de suelo y

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS pendiente. Se tomó los datos de precipitación y evapotranspiración para generar el balance climático y posteriormente hacer el cálculo de recarga hídrica.

Mediante el diagrama de la Figura 2 se explica el proceso que se siguió en la presente investigación.

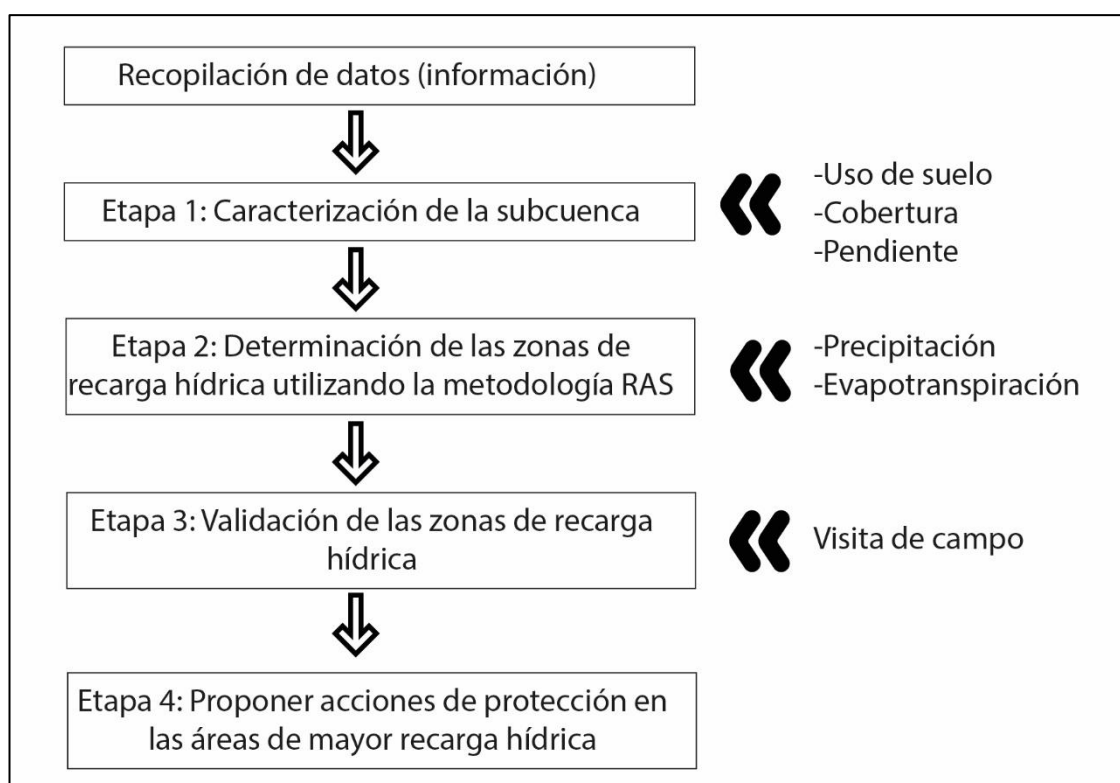


Figura 2. Flujo de trabajo de la tesis.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1. Etapa 1: Caracterización la subcuenca del río Santa Eulalia

En la primera etapa se generó 3 mapas temáticos usando la información de fuentes oficiales como: ANA, MINAGRI, MINEDU, MINAM, INGEMMET y SENHAMI.

A continuación, detallaremos el proceso de generación de dichos mapas:

a) Mapa de uso de suelo

Para generar el mapa de uso de suelo se utilizó las siguientes variables: textura de suelo, suelos próximos a ríos y suelos con presencia de fallas. Para tal fin se generó la unión de 3 mapas diferentes: mapa de textura de suelo (información recopilada de la

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS (página web <https://soilgrids.org> que determina la densidad del suelo) con esta información se procedió a categorizar la clase textural de acuerdo a la tabla de Flores y Alcalá (2010); mapa de fuentes hidrográficas menores (descargados de la página web <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas>) y el mapa geológico nacional de los cuadrantes con código 23-j, 23-k, 24-j, 24-k.

b) Mapa de pendientes

Se generó mediante el procesamiento del modelo digital de elevaciones (MDE) facilitado por Alaska Satellite Facility que proporciona la representación de la altura del terreno.

c) Mapa de cobertura

Se descargó el mapa usando la plataforma del MINAM, en la cual se muestra la distribución geográfica y superficial de los diversos tipos de cobertura vegetal. Luego se procesó mediante el software ArcGIS para categorizarlos de acuerdo con los coeficientes de uso de suelo del modelo RAS.

2.3.2. Etapa 2: Identificación de las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando la metodología RAS

a) Cálculo del coeficiente de infiltración

Luego de realizada la clasificación de las variables K_{fc} , K_p y K_v mediante sus respectivos mapas (textura de suelo, pendiente y cobertura vegetal), se realizó el álgebra de mapas con la herramienta raster calculator del Software ArcGIS.

b) Balance climático

Para calcular el balance climático se usó los datos de precipitación y evapotranspiración. Ambas variables se obtuvieron mediante el procesamiento de la base de datos PISCO administrada por SENAHMI que cuenta con un registro desde 1981 hasta 2016. Una vez extraída la data mensual de ambas variables se procesó la

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS data con el software ArcGIS, hasta generar un ráster de la distribución espacial de la precipitación media anual y la evapotranspiración media anual.

c) Recarga hídrica

Para el cálculo de la recarga hídrica se utilizó la ecuación 2, en el cual interviene las variables ya calculadas: coeficiente de infiltración (C) y balance climático (BC). Este procedimiento se realizó mediante el algebra de mapas realizado con la herramienta raster calculator del software ArcGIS.

2.3.3. Etapa 3: Validación de las zonas de recarga hídrica identificadas para la subcuenca del río Santa Eulalia.

Con el mapa de recarga generado se identificó que las zonas con mayor potencial para realizar la recarga de acuíferos se concentraron en la zona alta por ello para la validación del modelo RAS se realizó una visita de campo a la subcuenca Santa Eulalia específicamente a los distritos Carampoma y San Pedro de Laraos. Esta visita corrobora con la ubicación en coordenadas UTM y el uso de un GPS navegador si la zonificación generada en los mapas es correcta; en esta visita se evaluaron las siguientes características:

- Que las condiciones de cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente del terreno se ajusten a los usados para identificar las zonas de alta infiltración.
- Se identifico practicas culturales de siembra y cosecha de agua ancestrales ubicadas en las zonas de alta infiltración.
- Se identificaron ponderables no asumidas por la metodología RAS, como el uso ancestral del terreno que en su gran mayoría son comunales.

2.3.4. Etapa 4: Proponer acciones de protección en las áreas de mayor recarga

hídrica.

Se realizó una visita de campo para estudiar las condiciones reales de la subcuenca Santa Eulalia evaluando la cobertura vegetal y uso de suelo. Luego de analizadas estas variables in-situ, se propuso acciones que mejoren el coeficiente de infiltración y, por tanto, la recarga hídrica.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Etapa 1: Caracterización de la subcuenca del río Santa Eulalia

Una vez calculados los coeficientes de las variables mencionadas en el capítulo anterior, se procedió a generar los mapas correspondientes para cada uno de ellos.

3.1.1. Coeficiente de tipo de suelo

El mapa generado para el tipo de suelo se presentó en la Figura 3. Asimismo, la Tabla 6 muestra el área que ocupa cada coeficiente con respecto al área total de la subcuenca. La subcuenca Santa Eulalia presenta una mayor área (82%) de suelos con limos y arcillas, litosol y regosol de valle y, a su vez, también presenta zonas con fallas tectónicas. Un área de 17% se clasifica como suelos arcillosos y sólo un 1% presenta una textura de arena procedente de cauces de ríos, y de zonas con muchas fallas.

Tabla 6. *Coeficiente del tipo de suelo para la subcuenca Santa Eulalia.*

| Kfc | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-------|------------|----------------|
| 0.1 | 18463.378 | 17 |
| 0.15 | 87901.203 | 82 |
| 0.2 | 1409.889 | 1 |
| Total | 107774.471 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

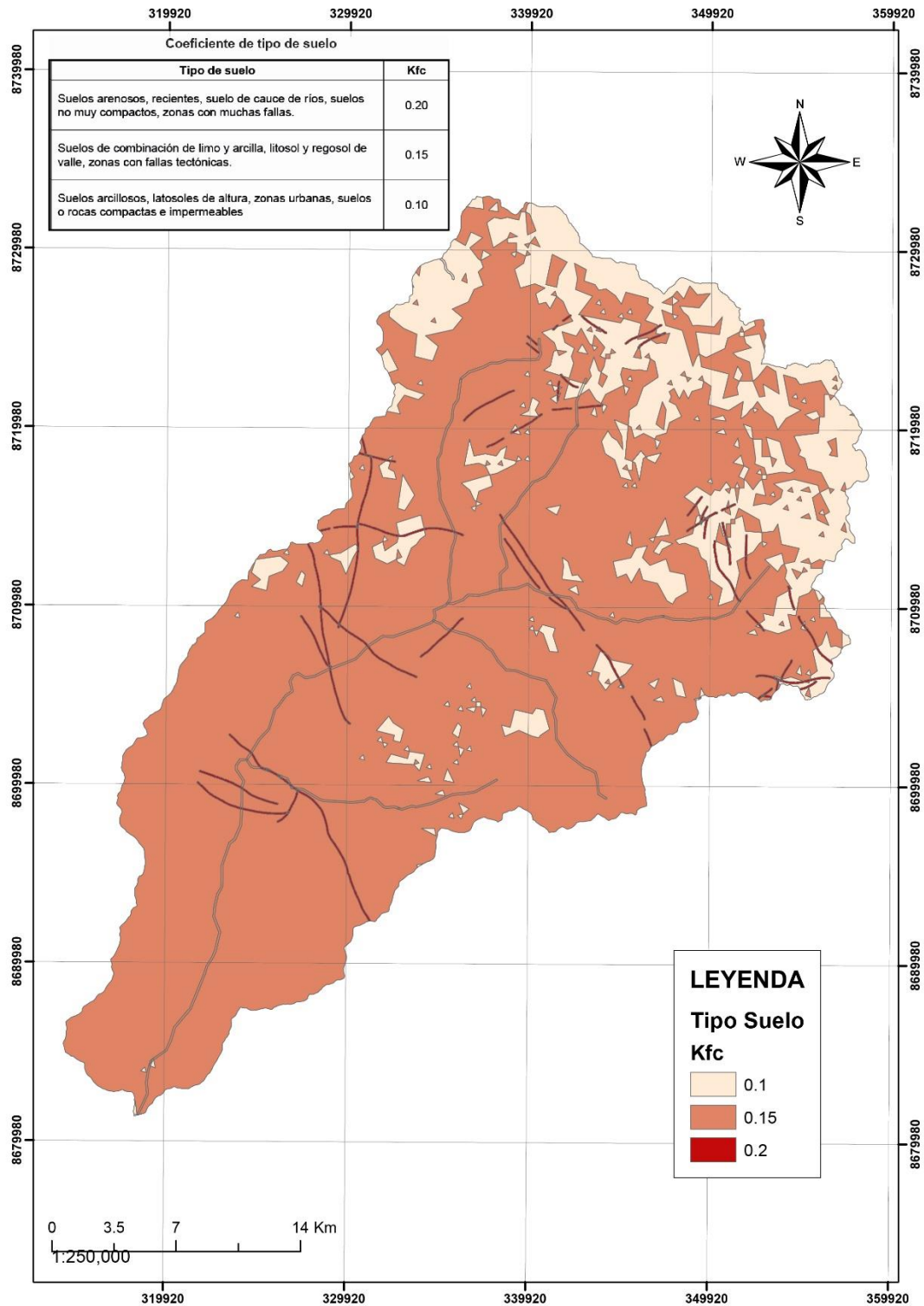


Figura 3. Coeficiente de tipo de suelo para la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Coeficiente de pendiente

El mapa de pendientes se representó en la Figura 4, mientras que en la Tabla 7 se indicó el área que ocupa cada coeficiente con respecto al área total de la subcuenca. De acuerdo con los resultados obtenidos, la subcuenca Santa Eulalia presenta en su mayoría zonas con una pendiente mayor e igual al 15% (más del 90% del área), es decir, se encuentran pocas zonas planas o muy planas.

Tabla 7. *Coeficiente de pendiente para la subcuenca Santa Eulalia.*

| Kp | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-------|------------|----------------|
| 0.01 | 21959.126 | 20.4 |
| 0.05 | 25528.948 | 23.7 |
| 0.07 | 32557.249 | 30.2 |
| 0.1 | 19584.040 | 18.2 |
| 0.15 | 7489.414 | 6.9 |
| 0.4 | 655.6938 | 0.6 |
| Total | 107774.471 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

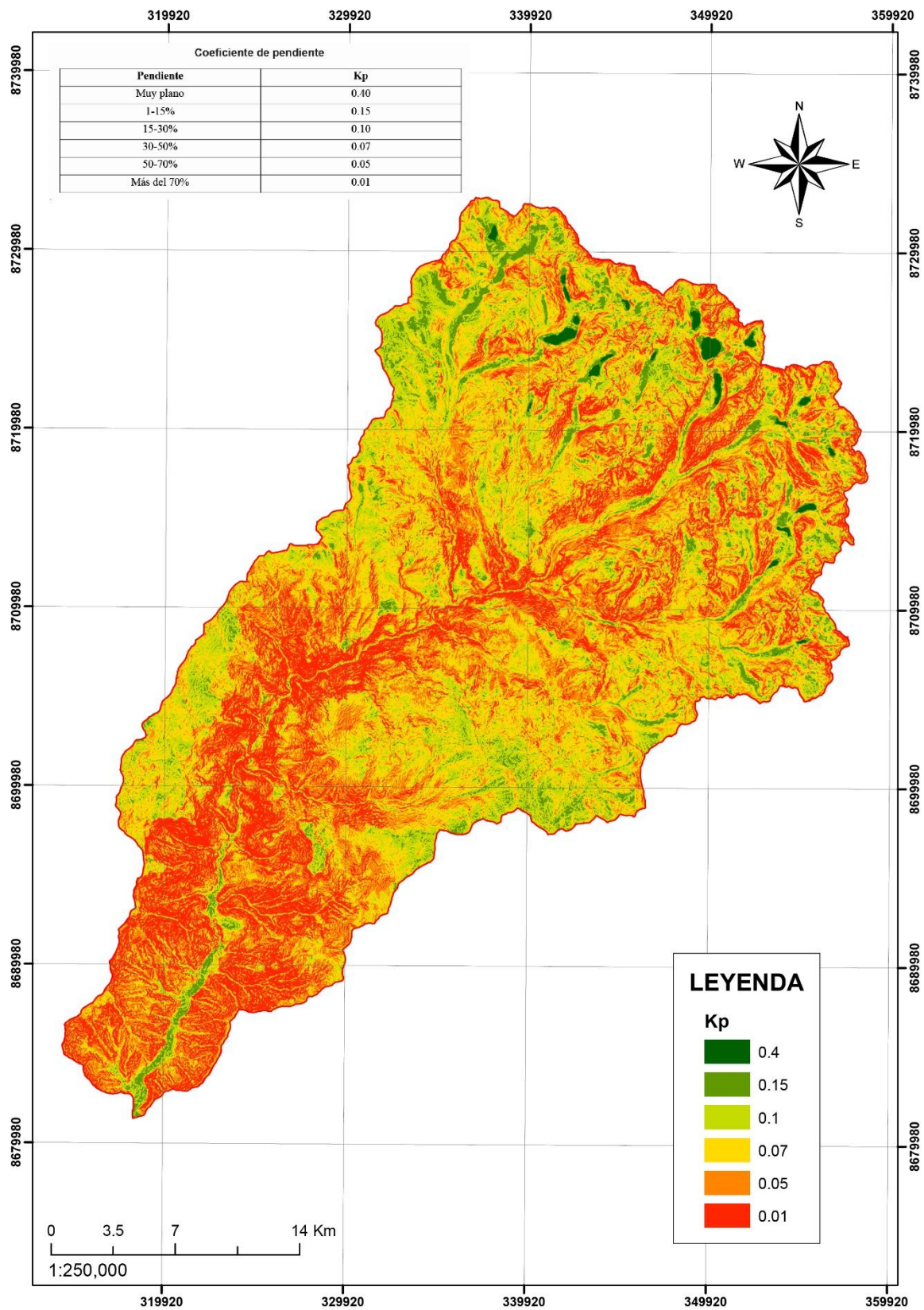


Figura 4. Coeficiente de pendientes de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Coeficiente de uso de suelo

El mapa de cobertura se representó en la Figura 5, mientras que en la Tabla 8 se indicó el área que ocupa cada coeficiente con respecto al área total de la subcuenca. Los resultados nos muestran que casi la totalidad de la subcuenca Santa Eulalia se clasifica como vegetación arbustiva baja o vegetación arbustiva y páramo (95%). Asimismo, el porcentaje de área ocupada por bosques nativos cubre solo el 1% y los cuerpos de agua distribuidos entre lagunas y cochas ocupan un 2% del área.

Tabla 8. *Coeficiente de uso de suelo en la subcuenca Santa Eulalia.*

| Kv | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-------|------------|----------------|
| 0 | 1865.842 | 2 |
| 0.1 | 1955.081 | 2 |
| 0.15 | 102539.112 | 95 |
| 0.2 | 1414.436 | 1 |
| Total | 107774.471 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

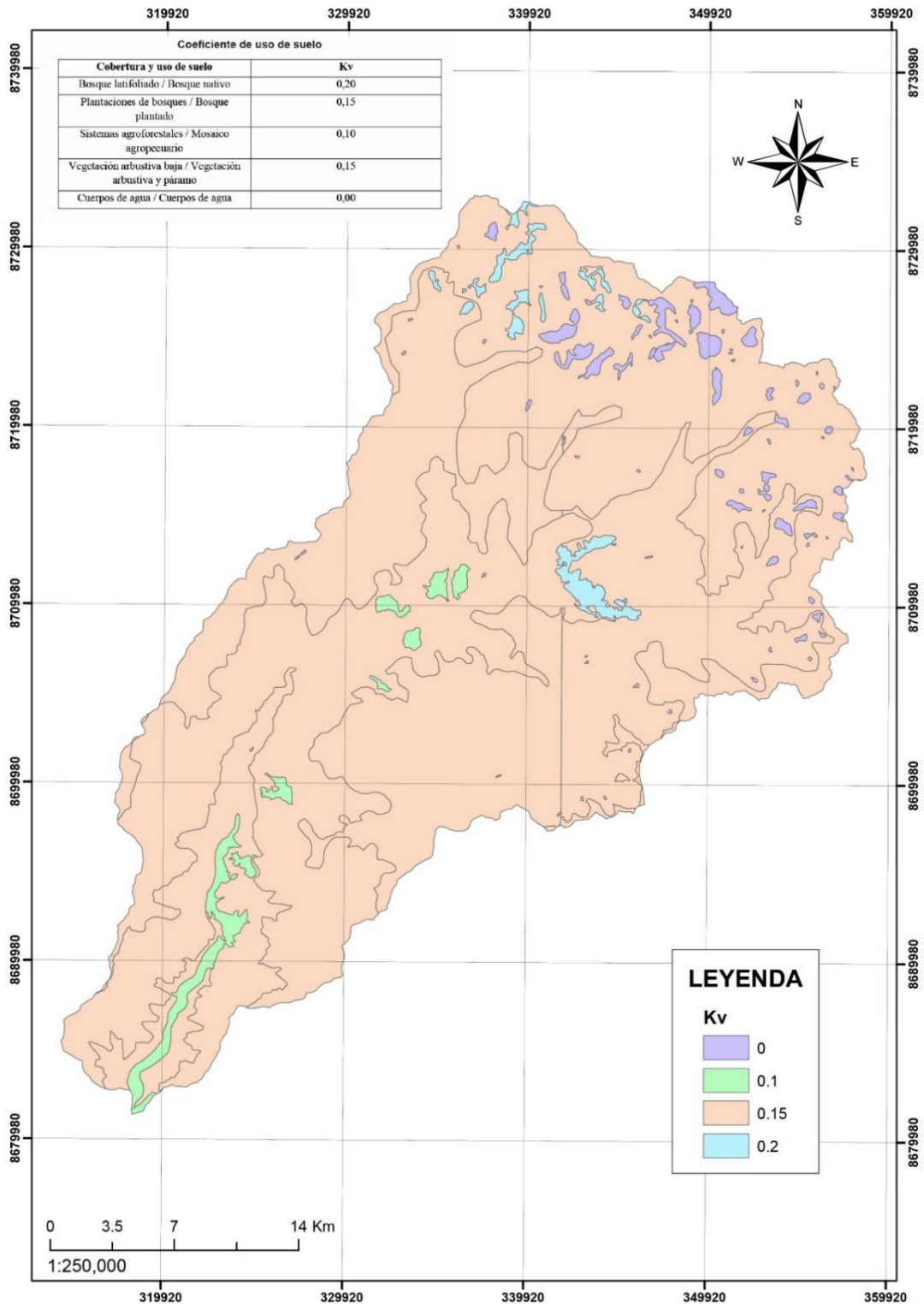


Figura 5. Coeficiente de uso del suelo de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Etapa 2: Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia

Para identificar las zonas de recarga hídrica se procedió a calcular el coeficiente de infiltración y el balance climático.

3.2.1. Coeficiente de infiltración

El mapa del coeficiente de infiltración se representó en la Figura 6, mientras que en la Tabla 9 se indicó el área que ocupa cada coeficiente con respecto al área total de la subcuenca. El coeficiente de infiltración más predominante de la subcuenca en estudio se encontró en el rango de 0.32 – 0.37, el cual que ocupa el 48.31% del área total, mientras que solo el 0.94% presentó un coeficiente en el rango 0.45 – 0.75.

Tabla 9. *Coeficiente de infiltración de la subcuenca Santa Eulalia.*

| C | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------|------------|----------------|
| 0.11-0.22 | 889.979 | 0.83 |
| 0.22-0.32 | 31494.326 | 29.22 |
| 0.32-0.37 | 52032.466 | 48.31 |
| 0.37-0.45 | 22319.929 | 20.71 |
| 0.45-0.75 | 1007.772 | 0.94 |
| Total | 107774.471 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

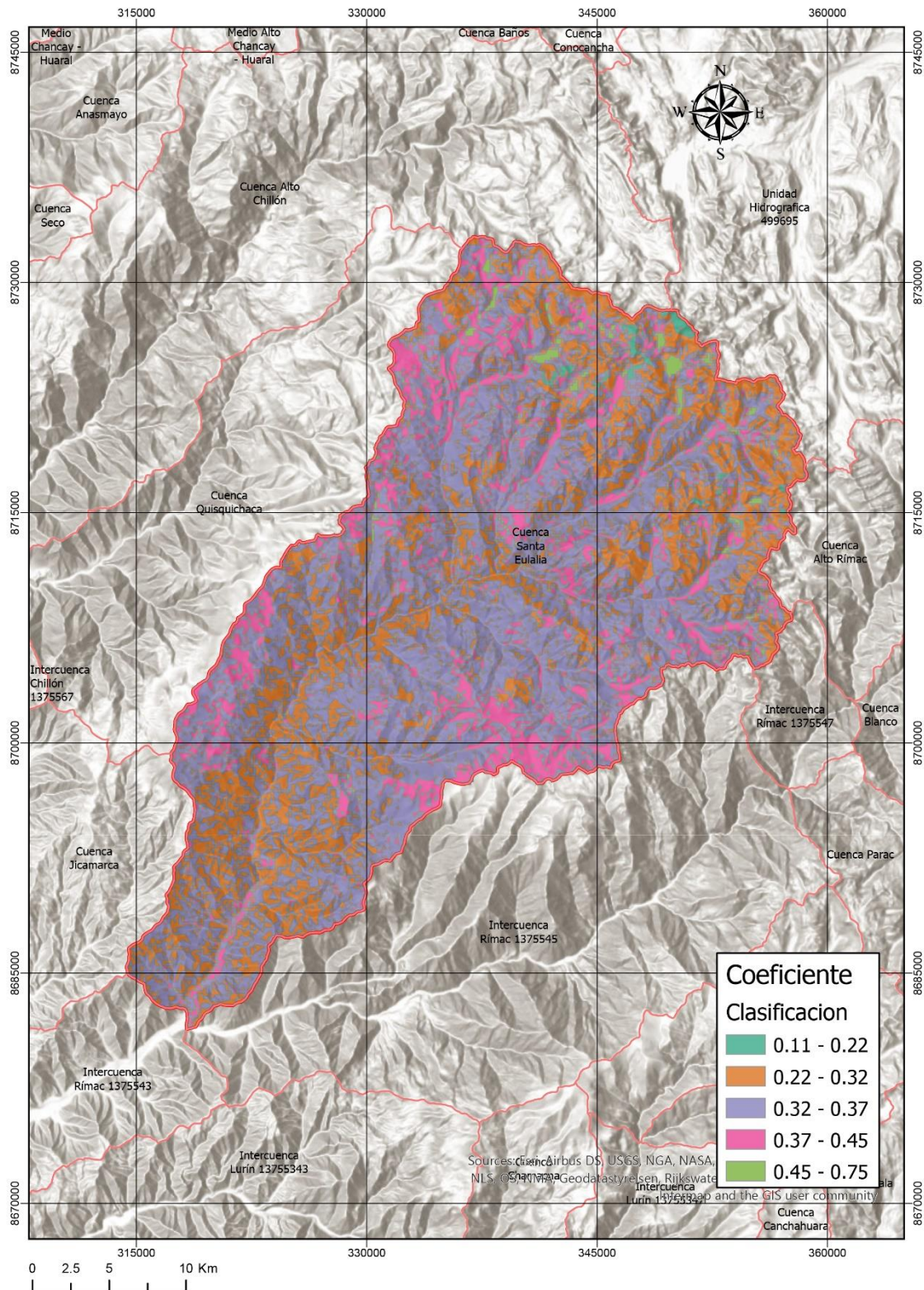


Figura 6. Coeficiente de infiltración de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Balance climático

Para el cálculo del balance climático se procedió a determinar las variables precipitación media anual y evapotranspiración media anual.

a) Cálculo de la precipitación media anual

Se utilizó el software R para realizar la comparación de la data de las estaciones meteorológicas de Senamhi y la data de PISCO. Con ello se obtuvo el análisis de correlación de las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas que registran datos dentro de la subcuenca Santa Eulalia, que para este estudio se denominó estaciones “físicas” (Santa Eulalia, San Mateo, Autisha, Carampoma, Sheque, Arahuay, Lachaqui, Matucana y Casapalca) y las estaciones “virtuales” que contiene la información de precipitación extraída de la data PISCO con la ubicación geográfica de las estaciones físicas. Los resultados se muestran en la Figura 7 y la Tabla 10.

Para la interpretación de los resultados se usaron: el coeficiente de correlación (r), que varía entre -1 a 1, donde un valor cercano a cero indica que los datos no presentan correlación y un valor de -1 o 1 indica un correlación perfecta; el índice de concordancia (d) que toma valores de 0 a 1, donde un valor más cercano a 1 indica que existe mayor concordancia entre los datos de precipitación de las estaciones físicas y las estaciones virtuales; y la raíz del error medio cuadrático (RMSE) que mide la cantidad de error que existe entre dichos datos.

Al respecto podemos concluir que existe un adecuado grado de correlación en todas las estaciones. Esto se debió a las siguientes razones: 6 estaciones del total analizadas superan un valor en el coeficiente de correlación de 0.8; el índice de concordancia (d) varía de 0.61 a 0.95, de los cuales, las mismas 6 estaciones presentan una mejor

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS concordancia; y la raíz del error medio cuadrático (RMSE) varía de 0.02 a 0.78, siendo 7 estaciones las que presentan menor RSME con respecto a la información extraída de la data PISCO.

Las estaciones meteorológicas en las que se obtuvo una mejor correlación fueron Santa Eulalia, San Mateo, Carampoma, Arahua y Matucana, mientras que Autisha fue la que menos se ajustó. Esto puede deberse a que esta estación cuenta con datos faltantes en su registro para varios periodos de tiempo en el rango de 1981 a 2016. Sin embargo, el mejor ajuste en esta estación se da en los últimos años, por ello, a pesar de tener baja correlación se aprecia que en los últimos años ha mejorado dicha correlación.

Una vez realizado el análisis comparativo se verificó que existe una adecuada correlación entre la información de las estaciones físicas y virtuales. Por ello, se procedió a utilizar la data PISCO para la generación del mapa de isoyetas sobre la precipitación media anual ya que también esta data es validada y usada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en la realización de estudios hidrológicos en el Perú.

El mapa de precipitación media anual se muestra en la Figura 8. En ella se aprecia que la distribución de la precipitación media anual varía en el rango de 33.8mm a 1117mm y corresponde a una altura media entre 950msnm y 5062.5msnm, respectivamente.

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

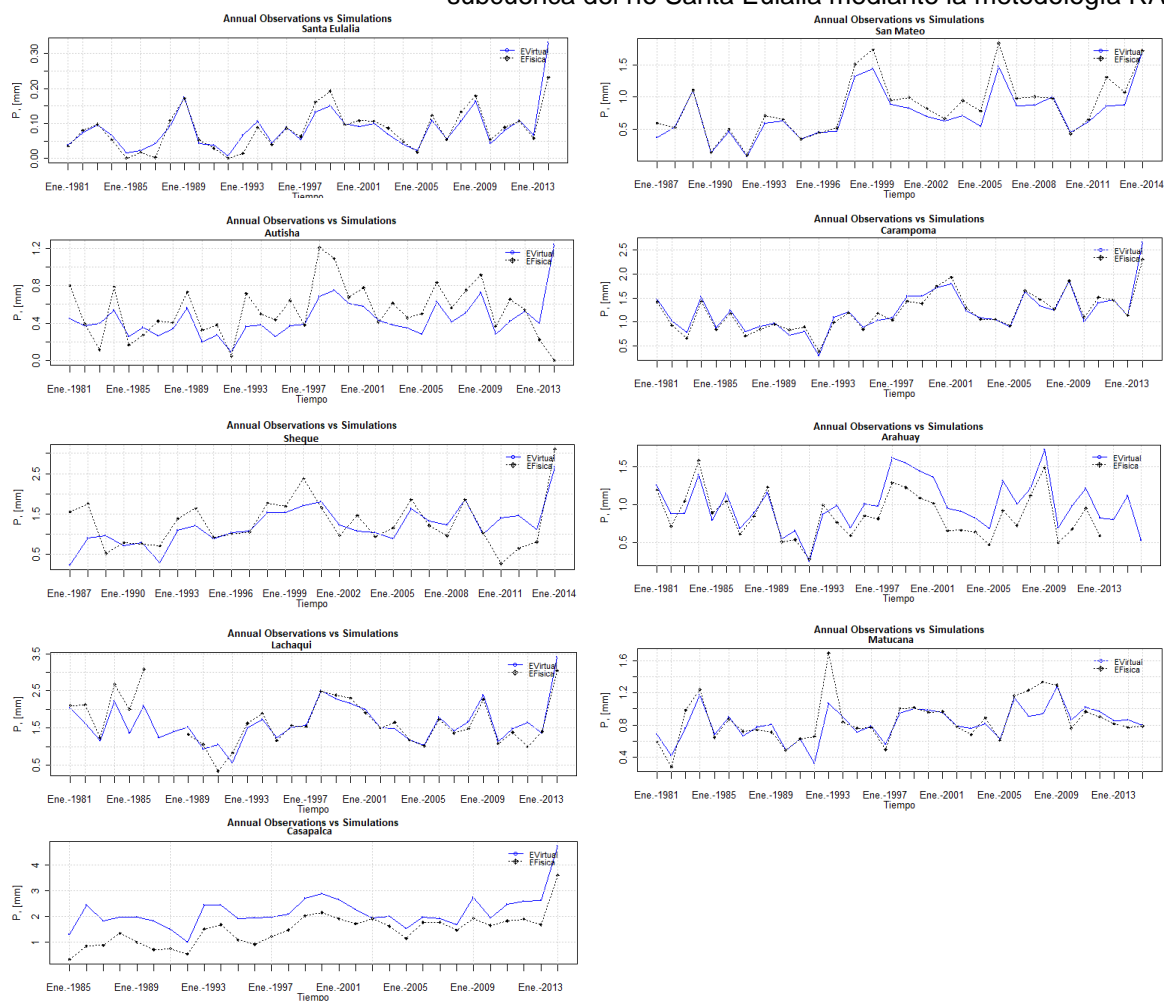


Figura 7. Análisis de correlación de las estaciones físicas (data del Senamhi) y estaciones virtuales (data PISCO).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Índices estadísticos sobre la comparación de la data del Senamhi y la data PISCO.

| | Santa Eulalia | San Mateo | Autisha | Carampoma | Sheque | Arahuay | Lachaqui | Matucana | Casapalca |
|------|---------------|-----------|---------|-----------|--------|---------|----------|----------|-----------|
| RMSE | 0.02 | 0.16 | 0.3 | 0.1 | 0.47 | 0.19 | 0.32 | 0.16 | 0.78 |
| d | 0.95 | 0.96 | 0.61 | 0.98 | 0.79 | 0.88 | 0.92 | 0.87 | 0.73 |
| r | 0.91 | 0.97 | 0.34 | 0.97 | 0.64 | 0.88 | 0.86 | 0.82 | 0.86 |

Fuente: Elaboración propia

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

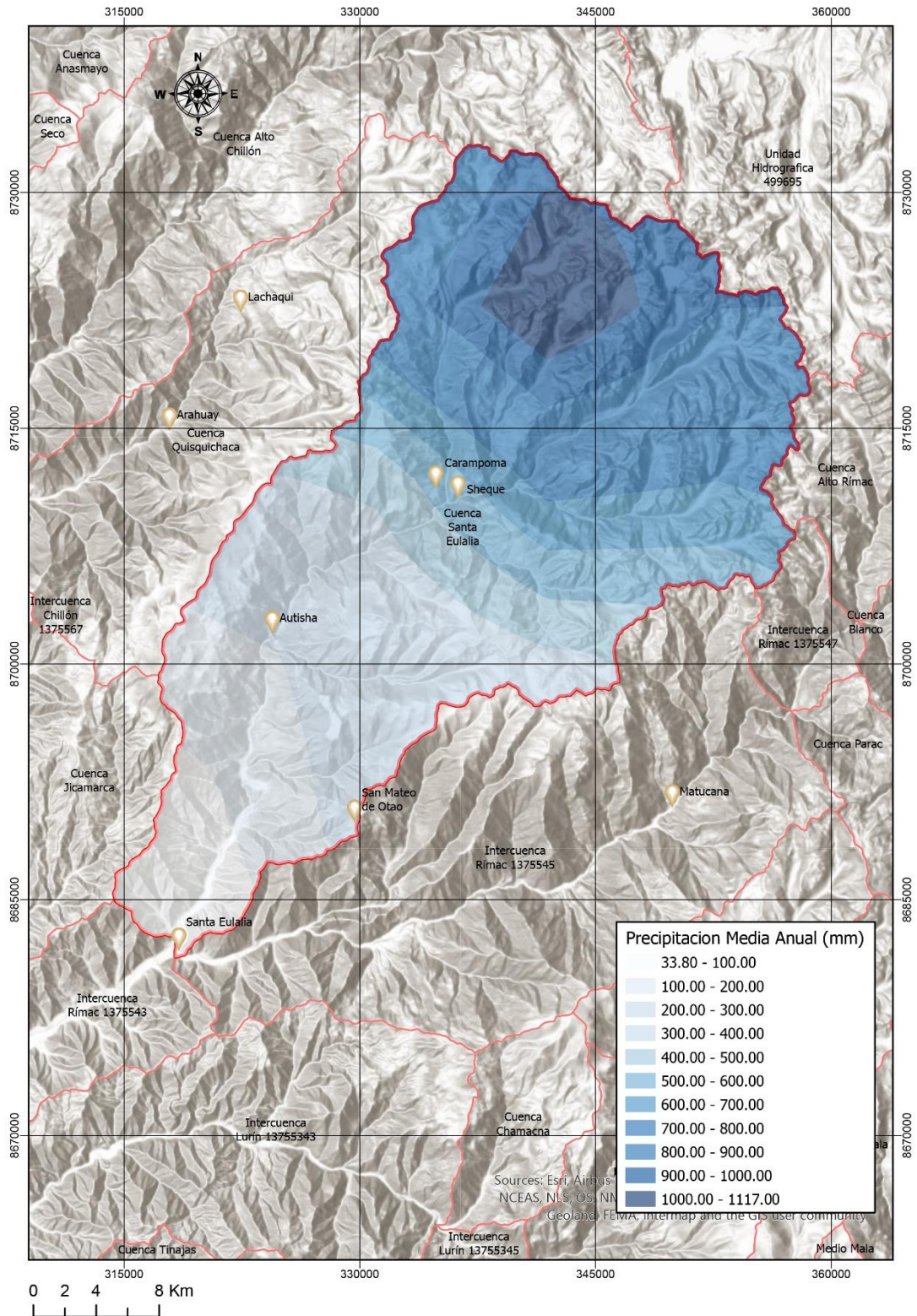


Figura 8. Precipitación media anual de la subcuenca Santa Eulalia – Data PISCO.

Fuente: Elaboración propia.

b) Cálculo de la evapotranspiración media anual

El mapa generado de evapotranspiración media anual con la información extraída de la base de datos PISCO y se muestra en la Figura 9. En ella se visualiza que la distribución de la evapotranspiración media anual varía en el rango de 17.89 mm/año a 44.04 mm/año, lo cual corresponde a una altura media de 5062.5msnm y 950 msnm, respectivamente.

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

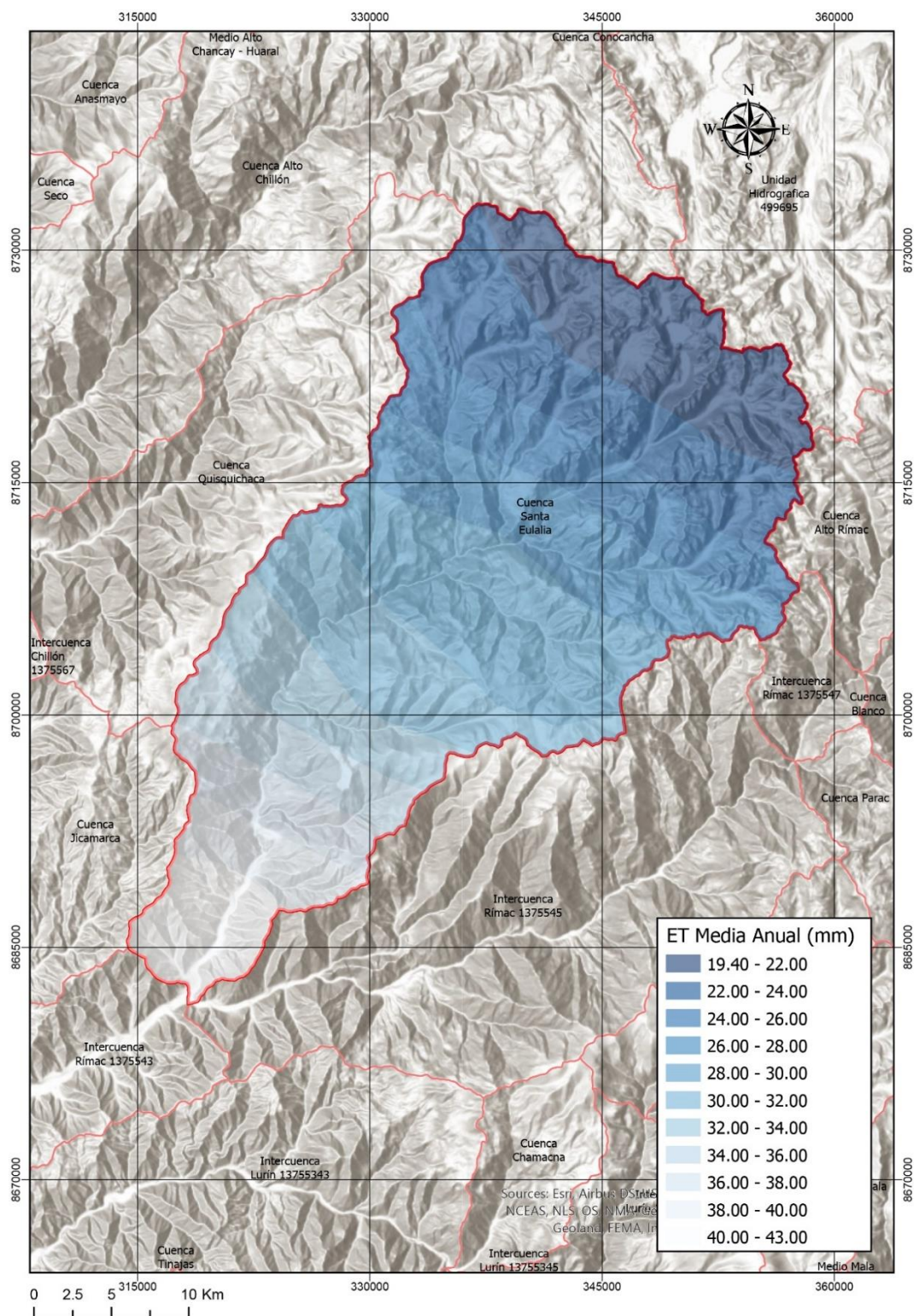


Figura 9. Evapotranspiración media anual de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

c) Balance climático

El mapa generado para esta variable se observa en la Figura 10, el cálculo se realizó con la ecuación 2 y en ella se muestra la distribución del balance climático, varia en el rango -36.71 mm a 1094.72 mm corresponde a una altura media del mar de 950 m y 5062.5 m respectivamente.

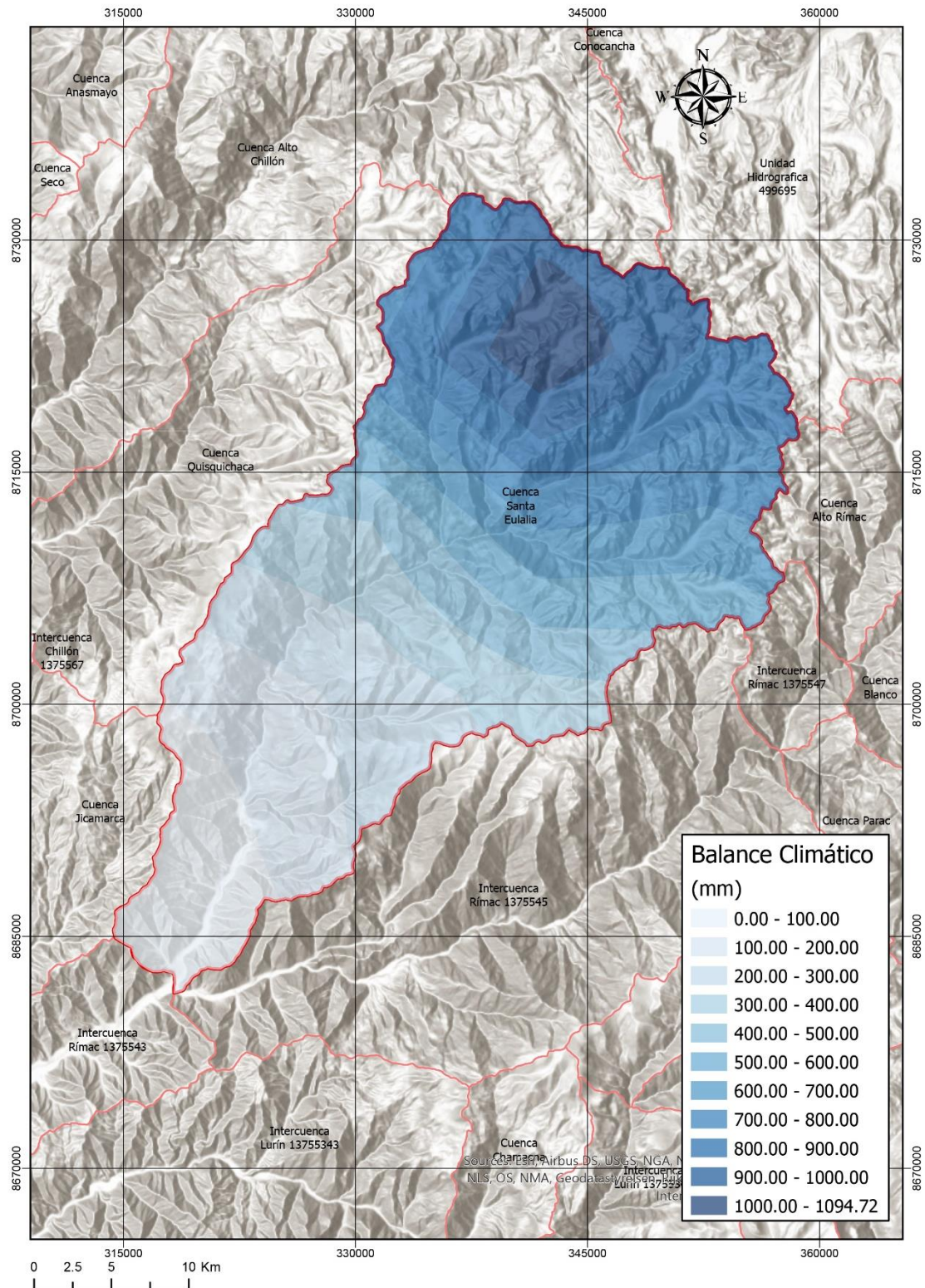


Figura 10. Balance climático de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Recarga hídrica

Para el cálculo de la recarga hídrica se procedió a utilizar la ecuación 3 y se obtuvo el mapa de la Figura 11. En la Tabla 11, se observa que un área del 14% tiene condiciones de recarga hídrica muy alta, 22% del área tiene condiciones altas de recarga hídrica y un 43% de total tiene condiciones bajas y muy bajas de recarga hídrica.

Tabla 11. Recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia.

| Tipo de Recarga | Recarga (mm) | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------------|-----------------|------------|----------------|
| Muy Baja | 0.00 – 80.00 | 37994.41 | 21.0% |
| Baja | 80.00 – 165.00 | 38424.41 | 22.0% |
| Media | 165.00 – 250.00 | 37404.44 | 21.0% |
| Alta | 250.00 – 335.00 | 38405.32 | 22.0% |
| Muy Alta | 335.00 – 663.10 | 25545.86 | 14.0% |
| Total | | 107774.471 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

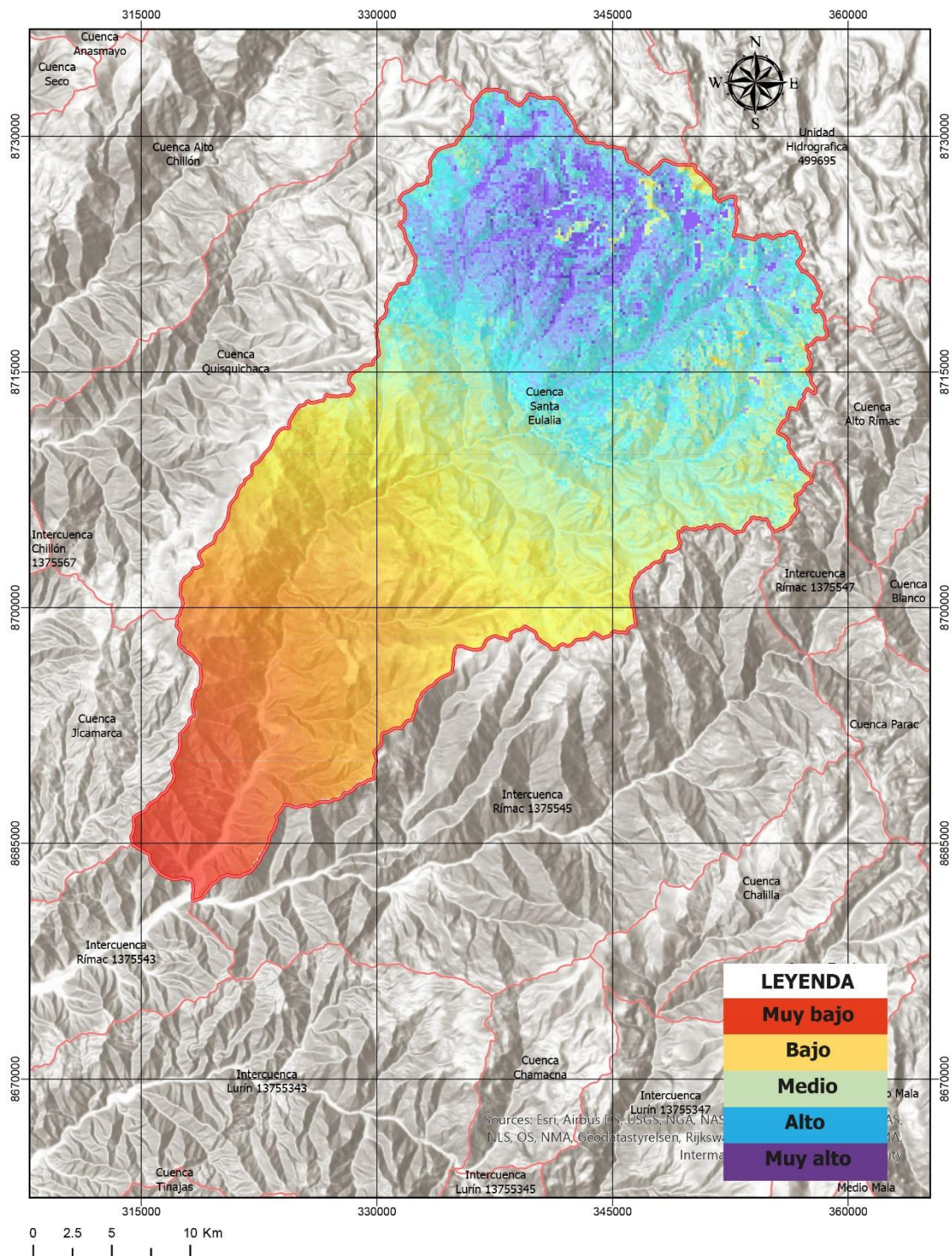


Figura 11. Recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Etapa 3: Validación de las zonas de recarga hídrica identificadas para la subcuenca del río Santa Eulalia

Para la validación de las zonas de recarga hídrica, realizamos una visita de campo a la parte alta de la subcuenca Santa Eulalia principalmente a los distritos de Carampoma y San Pedro de Laraos. En la visita de campo encontramos que las zonas de mayor infiltración obtenidas en el mapa de recarga hídrica presentan una pendiente baja (< 15%). En cuanto a cobertura vegetal se observa la presencia de bosques nativos, pero no reforestación, lo que si se observa es la presencia de vegetación arbustiva. En cuanto a la textura de suelo se corrobora la presencia de limo y arcillas realizada con una prueba al tacto de textura de suelo (prueba de compresión de la bola). En la Tabla 12 se muestra la información de coordenadas cartográficas de los lugares muestreados en la visita de campo.

Tabla 12. Zonas recorridas para validación del modelo RAS

| Zona | Este (m) | Norte (m) | Elevación (m) | Observación |
|---------------------|----------|-----------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| San Pedro de Laraos | 332165.6 | 8710025.7 | 3663 | Cobertura vegetal de tipo arbustiva baja y paramo, con pendiente menor al 15% y presencia de fallas geológicas. |
| Carampoma | 334796.1 | 8711059.5 | 3426 | Cobertura vegetal de tipo arbustiva baja y paramo, con gran cantidad de manantiales y cursos de agua. |
| Nazani | 332368.2 | 8711601.3 | 4076 | Cobertura vegetal de tipo arbustiva baja y paramo muy sobres explotada por el pastoreo. |
| Huachac | 332055.0 | 8713032.0 | 4420 | Cobertura vegetal de tipo arbustiva baja y paramo muy |

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS sobres explotada por el

| | | | | |
|----------|----------|-----------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acobamba | 336323.4 | 8721070.9 | 4435 | pastoreo. Existe infraestructural de bofedales y cochas, con pendientes de terreno menores al 15% y cobertura Existe infraestructural de bofedales y cochas, con pendientes de terreno menores al 15% y cobertura muy sobres explotada por el pastoreo. |
| Turmanya | 335453.7 | 8731900.4 | 4480 | |

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Vista panorámica de la subcuenca alta Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13 y 14, se observa un ponderado no clasificado en el modelo RAS para la variable cobertura vegetal, que es el sobrepastoreo y la compactación del suelo. Esta actividad se identificó en las zonas con alto potencial de recarga hídrica (zonas altas).



Figura 13. Vista de sobrepastoreo por ganado de las comunidades de Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Vista panorámica del sobrepastoreo en la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15 se observa una vista panorámica del margen derecho de la subcuenca Santa Eulalia. Las variables de pendiente y cobertura vegetal que influyen en el cálculo del coeficiente de infiltración, se corroboran de acuerdo la distribución del mapa realizado en la investigación (Figura 5). Se concluye que a una mayor altitud el valor del coeficiente de infiltración mejora.



Figura 15. Vista panorámica del margen derecho de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Etapa 4: Propuestas sobre acciones de protección en las áreas de mayor recarga

3.4.1. Zonas protegidas

En la visita realizada observamos que las zonas identificadas como de mayor recarga hídrica presentan un alto porcentaje de sobrepastoreo y compactación de suelo. Se observa, a su vez, zonas de protección de cobertura vegetal y reforestación (ver Figura 16), acciones que han sido implementadas por las comunidades como buenas prácticas de siembra y cosecha de agua. Por tanto, teniendo conocimiento que las zonas altas de la subcuenca Santa Eulalia son zonas ganaderas, no podemos excluir esta práctica, pero si impulsar buenas prácticas de manejo ganadero, como la implementación de canchas de pastoreo rotativo. Esta práctica favorece a que la cobertura natural no se degrade de una manera acelerada.



Figura 16. Vista de cobertura vegetal protegida en la subcuenca de Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Cochas

En la Figura 17 observamos una cocha sin mantenimiento, este tipo de infraestructura ayuda a la infiltración del agua y, por lo tanto, a la regulación hídrica. En la visita de campo realizada a Carampoma y San Pedro de Laraos, se logró identificar más de 30 zonas óptimas para la implementación de esta tecnología. En la Figura 18, observamos una zona óptima para la implementación de cochas.



Figura 17. Vista de una cocha sin mantenimiento en la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Zona óptima para la implementación de cochas.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Zanjas de infiltración

En la visita realizada se identificó zonas con zanjas de infiltración con una antigüedad mayor a 20 años, como se muestra en la Figura 19. Las zanjas de infiltración nos permiten captar agua de la escorrentía superficial e infiltrarla, además, constituyen buenas prácticas para el control de la erosión.



Figura 19. Zanjas de infiltración deterioradas de la subcuenca Santa Eulalia.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La cobertura vegetal de la zona es clasificada como un 95% arbustiva baja o vegetación arbustiva y páramo, esto es corroborado con la clasificación de cobertura dada por Charca (2016). Esta autora muestra un mapa de clasificación de cobertura, donde la mayor área lo ocupa el matorral arbustivo y el pajonal.

Las precipitaciones obtenidas difieren un poco con Charca (2016), pues el rango encontrado está entre 33.8 mm a 1117.00 mm y el de la autora va de 60 a 800mm. Esto puede deberse a que esta investigación utilizó la base de datos PISCO del SENHAMI, que contiene información grillada de alta resolución espacial (~10 x10 km) mientras que la autora utiliza los datos de la estación meteorológica Sheque.

En la Figura 11 se observa el mapa de recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia. En este mapa, la zona alta de la cuenca representa un área con potencial de alta a muy alta recarga hídrica (36%), según el balance climático esta área es la que dispone de una mayor cantidad de precipitación. El tipo de suelo para esta zona es un suelo arenoso con combinación de limos y arcillas, las pendientes son elevadas (>30%) y la cobertura vegetal es de tipo vegetación arbustiva, variables que han sido corroboradas con la visita a campo. Los parámetros mencionados en la zona alta de la subcuenca Santa Eulalia reciben ponderaciones mayores de acuerdo con el método RAS (Junker, 2005). Por esta razón la zona alta obtiene zonas de recarga hídrica mayores a las zonas media y baja.

Según el inventario de fuentes elaborado por Charca (2016) hay un total de 189 fuentes de agua, de las cuales 167 corresponden a manantiales naturales que se encuentran localizados en su mayoría en las zonas altas de la subcuenca Santa Eulalia. Esto corrobora el resultado obtenido en nuestra investigación donde se

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS muestra que la zona de mayor recarga hídrica se obtiene de las zonas altas de la subcuenca.

Las medidas de protección propuestas en el presente estudio para las zonas de mayor recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia son: zonas de protección para la cobertura vegetal mediante la implementación de canchas de pastoreo que permitan un mejor manejo del ganado para la recuperación de pastos nativos en menor tiempo y también para disminuir la sobre compactación del suelo; implementación de cochas que permitan disminuir la escorrentía superficial y mejorar la capacidad de almacenamiento en las zonas de alta infiltración; y zanja de infiltración que permitan captar la escorrentía superficial de las laderas e infiltrar el agua captada y adicionalmente disminuir la erosión pluvial. Estas acciones no muy diferentes a las propuestas por Peña et al (2016). Los autores proponen que, para mejorar la recarga artificial de acuíferos en alta montaña, se deben utilizar zanjas de infiltración y amunas. Esto mejorará la eficiencia de estas obras de recarga, así garantizar la operación y mantenimiento antes que comience la época de lluvias.

4.2 Conclusiones

- Se caracterizó la subcuenca Santa Eulalia en cuanto a sus componentes bio-físicos obteniendo la siguiente caracterización: un 82% del suelo se clasifica como suelos con limos y arcillas, las pendientes de la subcuenca son mayores e iguales a 15% (más del 90% de área) y una cobertura vegetal clasificada como vegetación arbustiva baja o vegetación arbustiva y páramo (95% del área).
- La metodología Recarga de Agua Subterránea (RAS) nos permitió identificar cinco zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca Santa Eulalia: zona de recarga muy baja, zona de recarga baja, zona de recarga media, zona de recarga

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS alta y zona de recarga muy alta, que cubren un área de 21, 22, 21, 22 y 14%,

respectivamente.

- La validación de las zonas de recarga hídrica se realizó mediante visitas en campo a las zonas altas de la subcuenca confirmando los resultados obtenidos en nuestra investigación.
- Se planteó las acciones de protección propuestas para la subcuenca Santa Eulalia en las áreas de mayor recarga hídrica las cuales son: protección de zonas de cobertura vegetal, implementación de cochas y zanjas de infiltración.
- Recomendamos realizar una actualización de la información para la identificación de zonas de recarga hídrica adquiriendo la data de las instituciones correspondientes.

REFERENCIAS

- Arela, R. W. (2014). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. In *Ministerio de Agricultura Perú* (p. 226).
- Bardales, W. A. (2010). Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala. *Prevda*, 1–10.
- Charca, M. (2016). *Caracterización hidrogeológica de la subcuenca Santa Eulalia - Cuenca del río Rímac - Departamento de Lima* (p. 45).
- Chávez, J. D., Flores, J. A., & Paiz, E. J. (2017). *Caracterización de zonas potenciales de recarga acuífera en el Municipio de San Jorge, San Miguel, El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Coy, M. J. (2015). *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cusquisiban, G. (2019). *Ubicación de Zonas de recarga hídrica usando imágenes LANDSAT 8 mediante el método de árbol de decisión en la cuenca del río Chamán, Cajamarca y La Libertad-Perú*. Universidad Privada del Norte.
- Donis, L. F. (2015). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río negro, ciudad de Guatemala sistematización de práctica profesional* [Universidad Rafael Landívar].
- Figueredo, J. (2019). *Metodología para determinar zonas de recarga hídrica en*

- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología.
- García, W. (2012). El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. *El Sistema Complejo De La Cuenca Hidrográfica*, 3(4), 22.
- Herrera, I., & Brown, O. (2011). Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 48–52.
- Herrera, K. (2017). *Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la Comuna La Esperanza, provincia del Carchi*. Universidad Técnica del Norte.
- Huaman, C. W., & Valenzuela, Y. (2020). *Estudio Hidrogeológico del acuífero kárstico para determinar zonas de recarga artificial e incrementar la oferta hídrica en el sector de Pucamarca, Chinchero, Cusco*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Junker, M. (2005). *Método RAS para determinar la Recarga de Agua Subterránea*. El Salvador. FORGAES.
- Llerena, C. (2003). Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. *FAO Presentado En El Foro Regional Sobre Sistemas de Pago Por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 Junio 2003, Durante El Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- Mamani, E. (2017). *Recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana - Cabanilla*. Universidad nacional del altiplano - Puno.

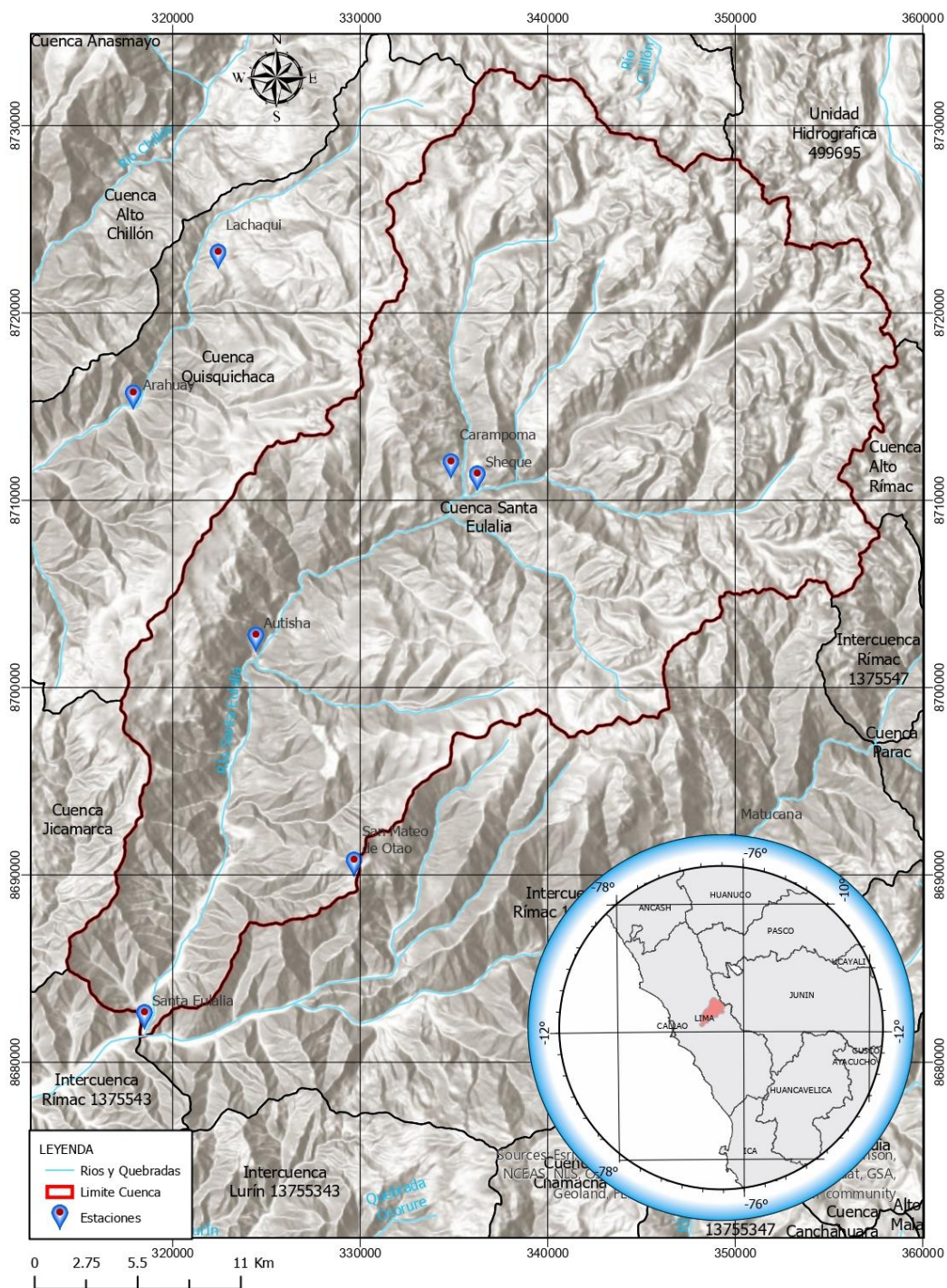
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. CATIE, 38, 21.
- Ministerio de Agricultura. Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2009). Diagnóstico situacional de recarga de acuíferos. In *Medidas para la adaptación al cambio climático*. (p. 133).
- Noriega, J. P. (2005). *Universidad de san carlos de guatemala facultad de agronomía*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? *Sociedad Geológica de Lima*, 1, 1–44.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303 (1-4), 290–306.
- Padilla, T. (2003). *Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala*. Universidad de Costa Rica.
- Peña Laureano, F., Condori, E., & Charca, M. (2016). Recarga Artificial de Acuíferos en Alta Montaña. Las Amunas de Santa Eulalia. *XVIII Congreso Peruano de Geología*, 1–4.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Geol. Amér. Central*, 23, 43–55.
- SENAHMI. (2021). *Datos hidrometeorológicos*. Recuperado el día 01/02/2021. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Mapa de estaciones*.

Recuperado El Día 02/02/2021. <https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/mapadepesta1.php?dp=lima>

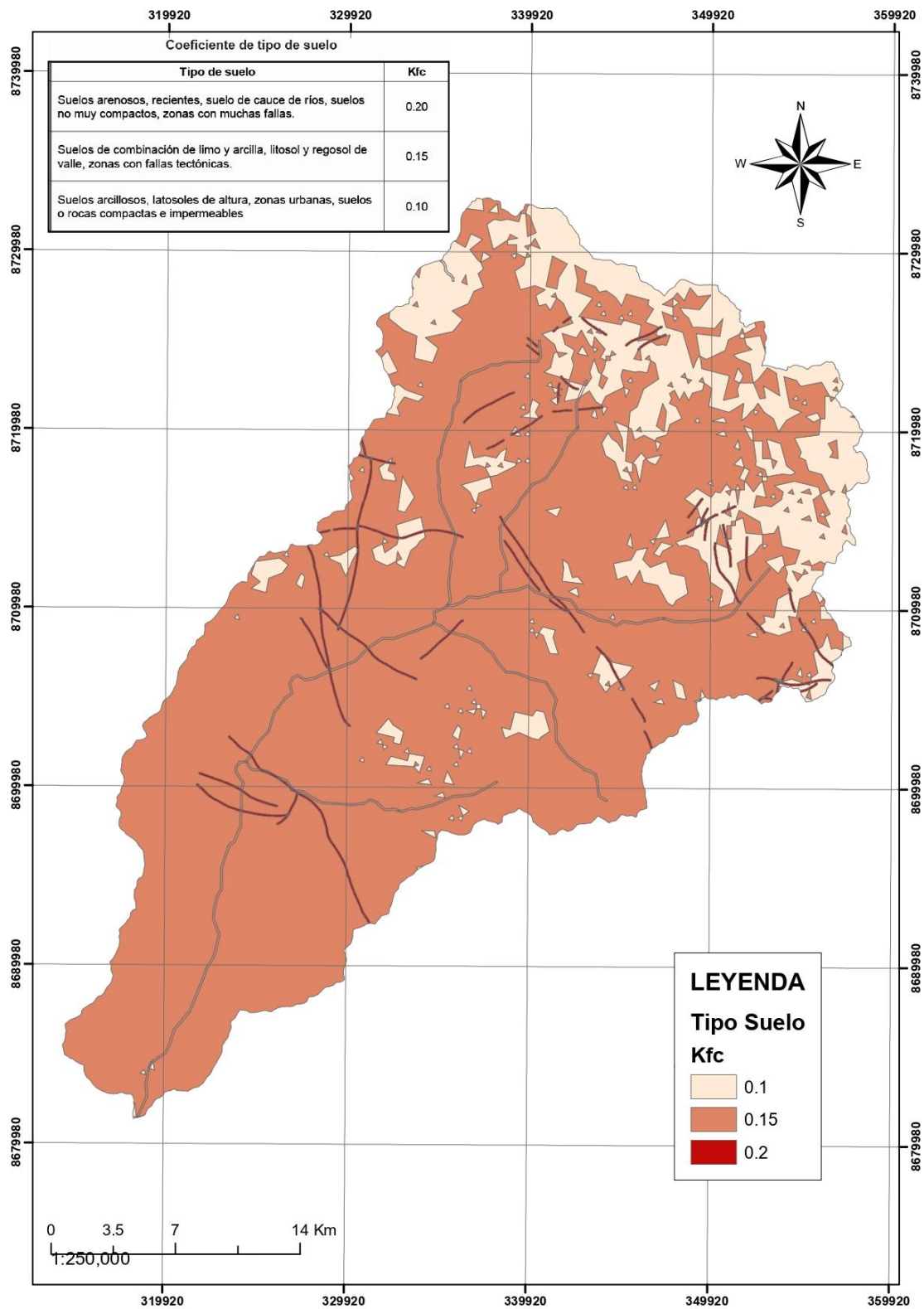
- Velasquez, S. (2008). *Metodología para estimar la Recarga de Agua Subterránea* (p. 20).
- Walsh Perú S.A. (2015). *Uso actual de la tierra* (pp. 1–18).

ANEXOS

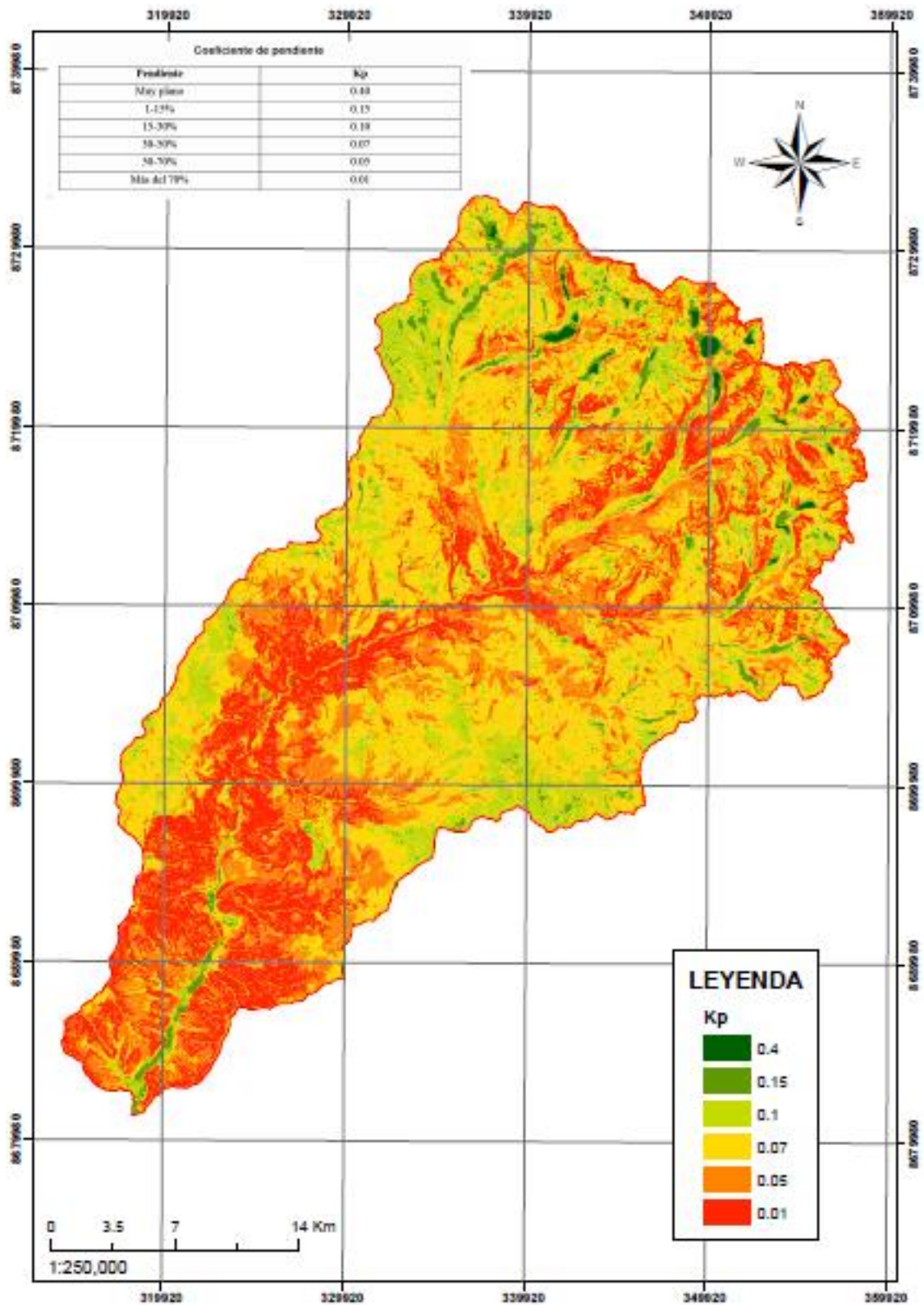
Anexo N° 1: Mapa de ubicación de la subcuenca del río Santa Eulalia



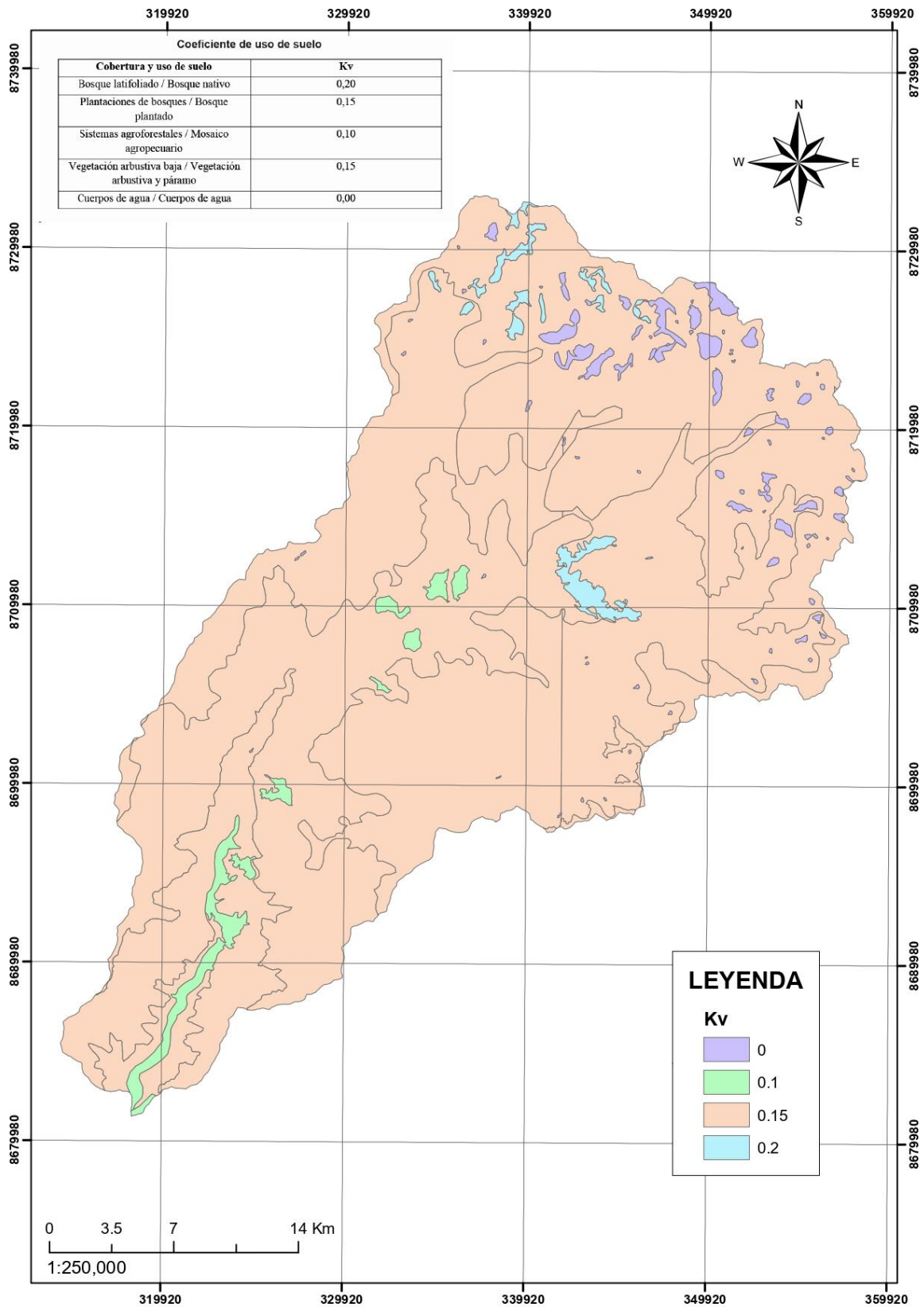
Anexo N° 2: Mapa de coeficiente de tipo de suelo para la subcuenca Santa Eulalia



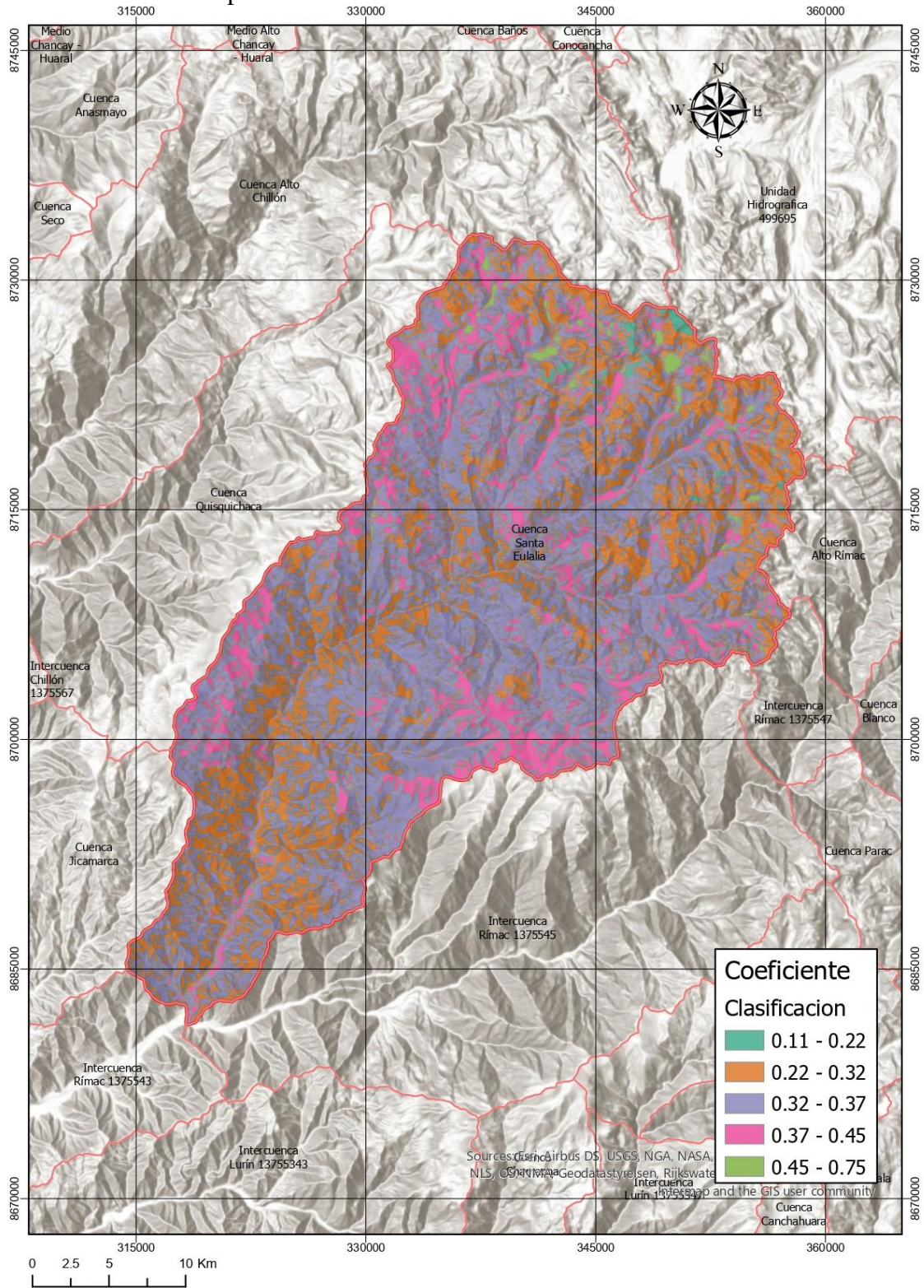
Anexo N° 3: Mapa de pendientes de la subcuenca Santa Eulalia



Anexo N° 4: Mapa de coeficiente de uso del suelo de la subcuenca Santa Eulalia



Anexo N° 5: Mapa de coeficiente de infiltración de la subcuenca Santa Eulalia



**Identificación de zonas de recarga hídrica de la
subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS**
Anexo N° 6: Estaciones meteorológicas administradas por SENAMHI.

| ESTACION: | ARAHUAY | | | | | | | | | | | | LAT: | 76°40'13.22" W | DPTO: | LIMA |
|------------|----------------------------------|--------|--------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|----------------|-------|---------|
| PARAMETRO: | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | LONG: | 11°37'15.28" S | PROV: | CANTA |
| TIPO: | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | | | | | | | | ALT: | 2504 msnm. | DIST: | ARAHUAY |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | | | |
| 1980 | 76.40 | 20.60 | 48.90 | 20.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 37.90 | 18.00 | 10.60 | 232.80 | | | |
| 1981 | 86.30 | 138.90 | 131.20 | 23.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 7.50 | 16.00 | 29.50 | 433.20 | | | |
| 1982 | 62.50 | 78.60 | 39.80 | 29.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 15.60 | 29.20 | 3.10 | 258.80 | | | |
| 1983 | 54.40 | 62.90 | 158.90 | 52.40 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.20 | 2.10 | 4.30 | 43.00 | 380.20 | | | |
| 1984 | 76.70 | 276.30 | 72.30 | 38.20 | 3.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.70 | 34.20 | 47.40 | 578.20 | | | |
| 1985 | 21.20 | 112.60 | 127.10 | 44.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.60 | 324.30 | | | |
| 1986 | 121.80 | 86.70 | 87.60 | 39.90 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.40 | 26.50 | 378.80 | | | |
| 1987 | 100.80 | 33.20 | 42.40 | 10.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 4.00 | 13.90 | 12.90 | 221.60 | | | |
| 1988 | 104.90 | 48.50 | 57.00 | 41.20 | 6.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.00 | 46.40 | 308.00 | | | |
| 1989 | 101.20 | 189.20 | 134.20 | 5.10 | 0.00 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 15.10 | 0.00 | 0.00 | 446.80 | | | |
| 1990 | 25.20 | 154.50 | 35.90 | 0.00 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.00 | 15.20 | 77.10 | 326.00 | | | |
| 1991 | 16.90 | 47.60 | 98.80 | 4.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 6.00 | 2.40 | 194.80 | | | |
| 1992 | 18.70 | 14.90 | 59.60 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.20 | 0.00 | 5.30 | 101.60 | | | |
| 1993 | 35.60 | 99.60 | 152.70 | 21.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.10 | 18.20 | 30.70 | 362.90 | | | |
| 1994 | 53.80 | 81.50 | 83.20 | 27.30 | 2.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.90 | 5.60 | 20.10 | 277.70 | | | |
| 1995 | 35.80 | 39.90 | 48.80 | 24.10 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 4.80 | 26.00 | 29.80 | 214.60 | | | |
| 1996 | 64.90 | 107.00 | 104.50 | 15.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.50 | 17.70 | 310.70 | | | |
| 1997 | 58.60 | 68.80 | 10.20 | 5.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.50 | 4.50 | 35.60 | 105.70 | 295.50 | | | |
| 1998 | 120.30 | 130.30 | 162.90 | 20.40 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 4.30 | 5.80 | 25.20 | 469.70 | | | |
| 1999 | 50.50 | 238.80 | 80.10 | 30.70 | 3.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.90 | 15.70 | 3.20 | 20.90 | 446.50 | | | |
| 2000 | 96.70 | 179.60 | 74.60 | 9.60 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 7.60 | 2.00 | 25.20 | 397.60 | | | |
| 2001 | 119.00 | 80.90 | 115.90 | 30.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.00 | 0.00 | 369.30 | | | |
| 2002 | 13.40 | 75.90 | 67.50 | 40.20 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.60 | 3.70 | 23.00 | 10.80 | 238.60 | | | |
| 2003 | 28.80 | 53.00 | 47.40 | 21.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 1.40 | 88.00 | 240.40 | | | |
| 2004 | 8.50 | 91.50 | 52.50 | 33.90 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 2.70 | 8.30 | 32.70 | 232.60 | | | |
| 2005 | 38.40 | 35.80 | 42.00 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 49.10 | 171.40 | | | |
| 2006 | 76.60 | 86.90 | 98.70 | 29.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.70 | 37.10 | 334.00 | | | |
| 2007 | 53.80 | 37.90 | 124.10 | 31.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.80 | 11.30 | 264.00 | | | |
| 2008 | 94.40 | 105.40 | 162.80 | 22.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.90 | 19.60 | 409.30 | | | |
| 2009 | 120.70 | 154.80 | 186.00 | 33.90 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 18.40 | 19.00 | 8.90 | 543.80 | | | |
| 2010 | 25.30 | 49.20 | 53.90 | 13.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 34.80 | 180.30 | | | |
| 2011 | 66.50 | 53.20 | 49.10 | 30.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.00 | 35.30 | 246.90 | | | |
| 2012 | 23.10 | 94.60 | 117.90 | 45.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.50 | 23.90 | 8.20 | 27.30 | 348.10 | | | |
| 2013 | 7.00 | 77.80 | 76.20 | 5.10 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 18.60 | 24.60 | 215.00 | | | |

| ESTACION: | CASAPALCA | | | | | | | | | | | | LAT: | 76°13'59.7" W | DPTO: | LIMA |
|------------|----------------------------------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------|-------|------------|
| PARAMETRO: | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | LONG: | 11°38'16.8" S | PROV: | HUARACHIRI |
| TIPO: | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | | | | | | | | ALT: | 4294 msnm. | DIST: | CHICLA |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | | | |
| 1985 | | | | 9.40 | 2.80 | 11.50 | 0.00 | 0.00 | 20.90 | 13.60 | 21.50 | | 79.70 | | | |
| 1986 | | | 87.30 | | | 5.10 | 15.00 | 11.10 | 5.80 | 9.20 | 8.00 | 64.30 | 205.80 | | | |
| 1987 | 102.70 | 67.70 | 22.60 | 11.50 | 0.00 | 0.00 | 5.00 | 11.80 | | 2.50 | 27.30 | 41.60 | 292.70 | | | |
| 1988 | 76.80 | 116.10 | 96.40 | 63.30 | | | 1.20 | 0.00 | 4.00 | 19.10 | 0.00 | 8.80 | 451.40 | | | |
| 1989 | 123.70 | 90.90 | 104.20 | 19.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.30 | 13.20 | 2.60 | 0.00 | 360.70 | | | |
| 1990 | 49.10 | 18.30 | 0.00 | 15.10 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.90 | 85.60 | 79.90 | 259.00 | | | |
| 1991 | 12.30 | 63.40 | 136.50 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.50 | 19.00 | 5.10 | 27.60 | 273.60 | | | |
| 1992 | 14.10 | 27.30 | 37.70 | 32.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.80 | 19.00 | 22.00 | 198.20 | | | |
| 1993 | 128.80 | 117.00 | 28.20 | 49.10 | 5.50 | 0.00 | 0.70 | 1.50 | 16.10 | 21.40 | 64.00 | 118.40 | 550.70 | | | |
| 1994 | 102.40 | 172.70 | 120.60 | 53.00 | 8.70 | 3.90 | 0.50 | 8.70 | 18.70 | 15.30 | 46.30 | 60.80 | 611.60 | | | |
| 1995 | 33.30 | 78.70 | 84.60 | 65.00 | 0.00 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 5.80 | 21.10 | 43.60 | 59.80 | 394.30 | | | |
| 1996 | 49.70 | 112.70 | 62.80 | 42.00 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.20 | 19.60 | 13.20 | 26.10 | 334.70 | | | |
| 1997 | 73.20 | 145.30 | 18.50 | 11.50 | 5.30 | 0.00 | 0.00 | 1.80 | 33.10 | 29.50 | 33.50 | 94.30 | 446.00 | | | |
| 1998 | 120.00 | 123.00 | 109.50 | 29.20 | 0.00 | 1.20 | 3.10 | 2.20 | 26.90 | 41.70 | 34.90 | 46.80 | 538.50 | | | |
| 1999 | 100.20 | 194.00 | 97.90 | 54.40 | 33.20 | 2.90 | 0.00 | 3.20 | 20.00 | 34.20 | 73.20 | 125.10 | 738.30 | | | |
| 2000 | 140.90 | 135.90 | 215.90 | 13.10 | 17.60 | 0.00 | 0.00 | 8.40 | 10.60 | 62.50 | 28.20 | 154.30 | 787.40 | | | |
| 2001 | 183.10 | 117.60 | 190.20 | 27.80 | 9.50 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 5.60 | 24.30 | 78.80 | 55.90 | 693.70 | | | |
| 2002 | 93.60 | 106.10 | 121.30 | 55.20 | 19.30 | 3.20 | 1.90 | 0.70 | 22.90 | 43.50 | 66.30 | 93.10 | 627.10 | | | |
| 2003 | 138.00 | 124.20 | 223.90 | 44.40 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 43.00 | 7.10 | 114.60 | 699.20 | | | |
| 2004 | 38.60 | 105.70 | 78.30 | -175.00 | 11.40 | 9.50 | 3.00 | 0.00 | 25.70 | 65.50 | 77.30 | 150.40 | 390.40 | | | |
| 2005 | 92.90 | 64.40 | 116.30 | 13.90 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.90 | 6.90 | 13.90 | 98.30 | 415.90 | | | |
| 2006 | | 101.80 | 207.00 | 45.10 | 0.00 | 2.80 | 0.00 | 8.30 | 10.50 | 33.80 | 69.40 | 111.70 | 590.40 | | | |
| 2007 | 135.50 | 167.40 | 160.40 | 40.40 | 4.10 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 15.90 | 15.90 | 25.10 | 82.90 | 648.50 | | | |
| 2008 | 139.30 | 116.80 | 84.80 | 24.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 31.70 | 33.80 | 102.50 | 533.80 | | | | |
| 2009 | 116.60 | 165.00 | 110.60 | 49.30 | 16.00 | 0.00 | 0.20 | 7.40 | 6.40 | 51.30 | 110.60 | 70.70 | 704.10 | | | |
| 2010 | 134.30 | 93.80 | 133.60 | 36.90 | 2.90 | 4.30 | 0.00 | 1.10 | 3.90 | 28.00 | 31.00 | 134.00 | 603.80 | | | |
| 2011 | 148.40 | 125.50 | 131.00 | 83.90 | 3.40 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 2.10 | 10.20 | 45.50 | 114.70 | 665.20 | | | |
| 2012 | 81.00 | 165.90 | 112.10 | 121.20 | 7.50 | 2.10 | 0.20 | 0.80 | 27.00 | 48.60 | 69.00 | | 635.40 | | | |
| 2013 | 90.40 | 126.90 | 145.20 | 37.50 | 28.30 | 1.00 | 3.00 | 9.50 | 6.50 | 30.20 | 37.70 | 95.00 | 611.20 | | | |
| 2014 | 111.90 | | | | | | | | | | | | 111.90 | | | |

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

| ESTACION: | | AUTISHA | | | | | LAT: | | 76°36'39.7" W | | DPTO: | | LIMA | |
|------------|--------|----------------------------------|--------|-------|------|------|-------|------|----------------|-------|-------|-------|-------------|--|
| PARAMETRO: | | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | LONG: | | 11°44'17.33" S | | PROV: | | HUARACHIRI | |
| TIPO: | | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | ALT: | | 2220 msnm | | DIST: | | SAN ANTONIO | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | |
| 1980 | | 0.30 | 35.10 | 7.30 | 0.80 | | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 17.90 | 5.90 | 1.10 | 68.70 | |
| 1981 | 36.60 | 69.80 | 103.80 | 23.30 | 0.10 | 0.40 | 0.10 | 5.10 | 3.20 | 11.00 | 13.90 | | 267.30 | |
| 1982 | 43.00 | 49.60 | 6.00 | 20.90 | 0.40 | 0.00 | 0.30 | 2.00 | 0.00 | 10.30 | 10.10 | 0.50 | 143.10 | |
| 1983 | | | | 17.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | 17.20 | |
| 1984 | 31.50 | 146.80 | 35.10 | 19.00 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 18.70 | 31.40 | 288.50 | |
| 1985 | 5.40 | 24.10 | 6.20 | 14.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 2.70 | 0.00 | 7.70 | 61.00 | |
| 1986 | 21.90 | 30.50 | | 14.30 | 6.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.80 | 0.00 | 0.00 | 14.00 | 92.10 | |
| 1987 | 35.50 | 26.80 | 50.40 | 19.20 | 5.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.80 | 11.60 | 153.70 | |
| 1988 | 46.50 | 34.40 | 36.60 | 5.90 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.70 | 0.90 | 21.90 | 148.90 | |
| 1989 | 49.90 | 143.60 | 61.20 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.10 | 0.00 | 2.40 | 267.60 | |
| 1990 | 26.80 | 5.10 | 20.00 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.40 | 16.50 | 44.10 | 118.50 | |
| 1991 | 4.50 | 15.60 | 96.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.90 | 10.70 | 4.20 | 140.00 | |
| 1992 | 1.00 | 1.70 | 8.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.80 | 0.90 | 1.40 | 16.60 | |
| 1993 | 37.30 | 82.40 | 76.90 | 14.70 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.90 | 10.50 | 16.30 | 19.00 | 261.30 | |
| 1994 | 52.90 | 49.40 | 36.00 | 10.50 | 2.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.20 | 3.30 | 6.60 | 16.00 | 181.60 | |
| 1995 | 25.50 | 24.50 | 49.20 | 9.10 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 5.80 | 16.30 | 22.20 | 159.00 | |
| 1996 | 54.80 | 72.00 | 86.20 | 12.20 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 1.60 | 0.60 | 7.70 | 236.40 | |
| 1997 | 15.80 | 32.70 | 6.70 | 0.20 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 7.50 | 5.70 | 15.20 | 54.80 | 139.10 | |
| 1998 | 113.20 | 152.40 | 142.20 | 7.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 1.10 | 5.90 | 16.80 | 440.20 | |
| 1999 | 89.70 | 185.60 | 64.90 | 21.90 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 1.80 | 11.00 | 2.60 | 19.40 | 397.40 | |
| 2000 | 58.60 | 90.20 | 58.30 | 5.50 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.10 | 9.10 | 2.30 | 21.70 | 248.10 | |
| 2001 | 50.30 | 79.50 | 122.20 | 15.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.10 | 2.20 | 12.50 | 0.10 | 284.70 | |
| 2002 | 9.40 | 47.90 | 43.50 | 29.30 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.10 | 4.70 | 10.10 | 2.70 | 149.90 | |
| 2003 | 33.90 | 41.40 | 59.00 | 8.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.70 | 80.20 | 224.00 | |
| 2004 | 13.80 | 51.70 | 37.80 | 13.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 1.80 | 8.40 | 38.00 | 165.80 | |
| 2005 | 41.90 | 38.40 | 52.60 | 4.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.70 | 0.60 | 42.60 | 182.70 | |
| 2006 | 49.80 | 103.00 | 84.30 | 31.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.70 | 1.30 | 4.30 | 29.30 | 306.00 | |
| 2007 | 32.70 | 43.60 | 79.40 | 49.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 206.40 | |
| 2008 | 62.20 | 121.10 | 63.80 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.60 | 15.10 | 275.10 | |
| 2009 | 88.10 | 112.80 | 75.80 | 24.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.50 | 15.30 | 8.50 | 333.50 | |
| 2010 | 3.70 | 53.80 | 18.50 | 9.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 2.70 | 42.10 | 42.10 | 131.20 | |
| 2011 | 62.60 | 101.40 | 50.90 | 12.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.00 | 239.60 | |
| 2012 | 22.30 | 70.10 | 61.30 | 28.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 181.80 | |
| 2013 | 0.00 | 6.60 | 73.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 80.80 | |

| ESTACION: | | CASAPALCA | | | | | LAT: | | 76°13'59.7" W | | DPTO: | | LIMA | |
|------------|--------|----------------------------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|--------|--------|------------|--|
| PARAMETRO: | | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | LONG: | | 11°38'16.8" S | | PROV: | | HUARACHIRI | |
| TIPO: | | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | ALT: | | 4294 msnm. | | DIST: | | CHICLA | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | |
| 1985 | | | | 9.40 | 2.80 | 11.50 | 0.00 | 0.00 | 20.90 | 13.60 | 21.50 | | 79.70 | |
| 1986 | | | 87.30 | | | 5.10 | 15.00 | 11.10 | 5.80 | 9.20 | 8.00 | 64.30 | 205.80 | |
| 1987 | 102.70 | 67.70 | 22.60 | 11.50 | 0.00 | 0.00 | 5.00 | 11.80 | | 2.50 | 27.30 | 41.60 | 292.70 | |
| 1988 | 76.80 | 116.10 | 96.40 | 63.30 | | 1.20 | 0.00 | 4.00 | 19.10 | 0.00 | 8.80 | 65.70 | 451.40 | |
| 1989 | 123.70 | 90.90 | 104.20 | 19.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.30 | 13.20 | 2.60 | 0.00 | 360.70 | |
| 1990 | 49.10 | 18.30 | 0.00 | 15.10 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.90 | 85.60 | 79.90 | 259.00 | |
| 1991 | 12.30 | 63.40 | 136.50 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.50 | 19.00 | 5.10 | 27.60 | 273.60 | |
| 1992 | 14.10 | 27.30 | 37.70 | 32.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.80 | 19.00 | 22.00 | 198.20 | |
| 1993 | 128.80 | 117.00 | 28.20 | 49.10 | 5.50 | 0.00 | 0.70 | 1.50 | 16.10 | 21.40 | 64.00 | 118.40 | 550.70 | |
| 1994 | 102.40 | 172.70 | 120.60 | 53.00 | 8.70 | 3.90 | 0.50 | 8.70 | 18.70 | 15.30 | 46.30 | 60.80 | 611.60 | |
| 1995 | 33.30 | 78.70 | 84.60 | 65.00 | 0.00 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 5.80 | 21.10 | 43.60 | 59.80 | 394.30 | |
| 1996 | 49.70 | 112.70 | 62.80 | 42.00 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.20 | 19.60 | 13.20 | 26.10 | 334.70 | |
| 1997 | 73.20 | 145.30 | 18.50 | 11.50 | 5.30 | 0.00 | 0.00 | 1.80 | 33.10 | 29.50 | 33.50 | 94.30 | 446.00 | |
| 1998 | 120.00 | 123.00 | 109.50 | 29.20 | 0.00 | 1.20 | 3.10 | 2.20 | 26.90 | 41.70 | 34.90 | 46.80 | 538.50 | |
| 1999 | 100.20 | 194.00 | 97.90 | 54.40 | 33.20 | 2.90 | 0.00 | 3.20 | 20.00 | 34.20 | 73.20 | 125.10 | 738.30 | |
| 2000 | 140.90 | 135.90 | 215.90 | 13.10 | 17.60 | 0.00 | 0.00 | 8.40 | 10.60 | 62.50 | 28.20 | 154.30 | 787.40 | |
| 2001 | 183.10 | 117.60 | 190.20 | 27.80 | 9.50 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 5.60 | 24.30 | 78.80 | 55.90 | 693.70 | |
| 2002 | 93.60 | 106.10 | 121.30 | 55.20 | 19.30 | 3.20 | 1.90 | 0.70 | 22.90 | 43.50 | 66.30 | 93.10 | 627.10 | |
| 2003 | 138.00 | 124.20 | 223.90 | 44.40 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 43.00 | 7.10 | 114.60 | 699.20 | |
| 2004 | 38.60 | 105.70 | 78.30 | -175.00 | 11.40 | 9.50 | 3.00 | 0.00 | 25.70 | 65.50 | 77.30 | 150.40 | 390.40 | |
| 2005 | 92.90 | 64.40 | 116.30 | 13.90 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.90 | 6.90 | 13.90 | 98.30 | 415.90 | |
| 2006 | | 101.80 | 207.00 | 45.10 | 0.00 | 2.80 | 0.00 | 8.30 | 10.50 | 33.80 | 69.40 | 111.70 | 590.40 | |
| 2007 | 135.50 | 167.40 | 160.40 | 40.40 | 4.10 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 15.90 | 15.90 | 25.10 | 82.90 | 648.50 | |
| 2008 | 139.30 | 116.80 | 84.80 | 24.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 31.70 | 33.80 | 102.50 | 533.80 | |
| 2009 | 116.60 | 165.00 | 110.60 | 49.30 | 16.00 | 0.00 | 0.20 | 7.40 | 6.40 | 51.30 | 110.60 | 70.70 | 704.10 | |
| 2010 | 134.30 | 93.80 | 133.60 | 36.90 | 2.90 | 4.30 | 0.00 | 1.10 | 3.90 | 28.00 | 31.00 | 134.00 | 603.80 | |
| 2011 | 148.40 | 125.50 | 131.00 | 83.90 | 3.40 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 2.10 | 10.20 | 45.50 | 114.70 | 665.20 | |
| 2012 | 81.00 | 165.90 | 112.10 | 121.20 | 7.50 | 2.10 | 0.20 | 0.80 | 27.00 | 48.60 | 69.00 | | 635.40 | |
| 2013 | 90.40 | 126.90 | 145.20 | 37.50 | 28.30 | 1.00 | 3.00 | 9.50 | 6.50 | 30.20 | 37.70 | 95.00 | 611.20 | |
| 2014 | 111.90 | | | | | | | | | | | | 111.90 | |

Identificación de zonas de recarga hídrica de la
subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

| ESTACION: | CARAMPOMA | | | | | | | | | | | | LAT: | 76°30'54.49" W | DPTO: | LIMA |
|------------|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------|-------|------------|
| PARAMETRO: | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | | | | | | | | LONG: | 11°39'18.1" S | PROV: | HUARACHIRI |
| TIPO: | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | | | | | | | | ALT: | 3424 msnm. | DIST: | CARAMPOMA |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | | | |
| 1965 | | | | | | | | | | | | | 42.90 | 42.90 | | |
| 1966 | 83.40 | 55.80 | 60.20 | 24.50 | 3.40 | 0.00 | 0.00 | 6.00 | 14.80 | 64.50 | 16.30 | 49.00 | 377.90 | | | |
| 1967 | 102.90 | 179.70 | 83.70 | 28.80 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 0.00 | 23.10 | 28.30 | 24.10 | 23.40 | 495.60 | | | |
| 1968 | 47.40 | 33.50 | 44.90 | 19.20 | 5.70 | 1.10 | 0.00 | 3.40 | 2.30 | 9.20 | 17.10 | 1.20 | 185.00 | | | |
| 1969 | 6.10 | 53.60 | 94.00 | 17.70 | 2.20 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.80 | 10.20 | 111.50 | 325.80 | | | |
| 1970 | 178.70 | 7.80 | 62.30 | 49.00 | 13.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 27.90 | 11.80 | 1.40 | 48.10 | 400.10 | | | |
| 1971 | 71.70 | 174.40 | 88.50 | 27.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.50 | 0.00 | 12.90 | 87.00 | 468.40 | | | |
| 1972 | 96.00 | 97.10 | 154.20 | 6.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.70 | 65.00 | 5.40 | 85.00 | 526.20 | | | |
| 1973 | 165.50 | 145.00 | 179.30 | 71.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.50 | 25.70 | 20.00 | 26.70 | 91.50 | 748.80 | | | |
| 1974 | 127.10 | 90.40 | 105.90 | 101.90 | 6.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.50 | 4.50 | 11.10 | 29.30 | 484.90 | | | |
| 1975 | 16.70 | 64.60 | 138.10 | 3.40 | 2.70 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 10.70 | 4.70 | 2.60 | 34.80 | 279.80 | | | |
| 1976 | 41.30 | 118.60 | 82.20 | 4.50 | 0.00 | 1.00 | | 0.00 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | 15.90 | 265.40 | | | |
| 1977 | 47.20 | 168.10 | 35.20 | 34.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.10 | 181.60 | 9.00 | 480.20 | | | |
| 1978 | 44.50 | 63.80 | 20.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 0.00 | 6.40 | 32.80 | 171.80 | | | |
| 1979 | 26.00 | 104.60 | 130.10 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.20 | 10.40 | | 28.90 | 305.40 | | | |
| 1980 | 91.50 | 14.30 | 71.50 | 5.00 | 0.00 | 6.00 | 0.00 | 0.00 | 7.80 | 41.30 | 28.80 | 26.30 | 292.50 | | | |
| 1981 | 93.50 | 192.00 | 126.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 1.80 | 10.60 | 46.30 | | 473.40 | | | |
| 1982 | | 122.80 | 52.60 | 30.30 | 0.00 | 0.00 | 21.80 | 3.40 | | 0.00 | 45.70 | 3.80 | 280.40 | | | |
| 1983 | 25.20 | 9.20 | 104.20 | 25.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.40 | 7.50 | 63.60 | 243.20 | | | |
| 1984 | 41.40 | 179.10 | 121.20 | 20.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.00 | 45.90 | 90.70 | 521.70 | | | |
| 1985 | 5.80 | 94.60 | 87.30 | 45.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 12.90 | 0.00 | 0.00 | 61.70 | 307.40 | | | |
| 1986 | 117.50 | 84.80 | 81.70 | 65.40 | 0.00 | 0.00 | 11.20 | 6.70 | 2.60 | 0.00 | 7.60 | 51.80 | 429.30 | | | |
| 1987 | 121.90 | 68.80 | 20.00 | 7.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 3.40 | 35.40 | | 258.90 | | | |
| 1988 | 133.70 | 48.20 | 49.30 | 28.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.60 | 3.50 | 38.40 | 310.60 | | | |
| 1989 | 136.10 | 68.80 | 105.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 33.90 | 0.00 | 0.00 | 347.70 | | | |
| 1990 | 93.70 | 16.50 | 41.40 | 0.00 | 19.00 | 1.00 | 0.00 | 4.20 | 0.00 | 26.60 | 45.90 | 57.00 | 305.30 | | | |
| 1991 | 40.60 | 64.40 | 95.90 | 25.60 | 9.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.00 | 31.00 | 14.00 | 301.70 | | | |
| 1992 | 34.50 | 31.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 | 39.30 | 0.00 | 35.80 | 142.70 | | | |
| 1993 | 78.70 | 66.30 | 90.30 | 37.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.80 | 5.50 | 18.90 | 63.40 | 363.50 | | | |
| 1994 | 91.90 | 122.20 | 77.40 | 41.10 | 2.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.20 | 0.00 | 28.60 | 64.10 | 437.30 | | | |
| 1995 | 54.90 | 18.20 | 51.60 | 25.50 | 11.80 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 6.40 | 21.40 | 52.30 | 65.00 | 307.20 | | | |
| 1996 | 87.40 | 91.90 | 108.40 | 26.10 | 10.80 | 0.00 | 0.00 | 2.10 | 9.50 | 21.30 | 19.10 | 54.20 | 430.80 | | | |
| 1997 | 53.30 | 98.40 | 7.30 | 12.10 | 7.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.30 | 35.40 | 35.70 | 114.30 | 379.50 | | | |
| 1998 | 148.70 | 119.00 | 142.80 | 15.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.90 | 24.50 | 19.50 | 50.10 | 523.30 | | | |
| 1999 | 64.70 | 170.00 | 79.80 | 43.90 | 13.90 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 5.60 | 45.70 | 23.20 | 57.00 | 505.20 | | | |
| 2000 | 112.30 | 154.20 | 125.30 | 41.00 | 13.30 | 0.00 | 3.70 | 2.10 | 10.70 | 45.30 | 16.50 | 114.40 | 638.80 | | | |
| 2001 | 157.60 | 143.70 | 210.60 | 62.30 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.10 | 19.70 | 75.30 | 17.50 | 705.00 | | | |
| 2002 | 44.40 | 107.90 | 113.90 | 54.50 | 2.10 | 1.30 | 0.20 | 0.00 | 8.80 | 47.00 | 66.50 | 23.80 | 470.40 | | | |
| 2003 | 76.50 | 69.40 | 103.00 | 29.20 | 3.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.70 | 4.80 | 89.10 | 386.40 | | | |
| 2004 | 20.20 | 88.40 | 55.90 | 55.80 | 1.70 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 12.30 | 23.80 | 31.40 | 96.10 | 386.90 | | | |
| 2005 | 95.70 | 40.80 | 96.00 | 14.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 7.10 | 72.40 | 336.80 | | | |
| 2006 | 123.50 | 117.40 | 142.40 | 61.10 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 2.20 | 10.70 | 16.70 | 18.00 | 114.20 | 606.30 | | | |
| 2007 | 125.90 | 92.30 | 145.30 | 78.90 | 6.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.70 | 22.90 | 50.90 | 538.20 | | | |
| 2008 | 130.30 | 143.70 | 65.40 | 9.20 | 0.00 | 1.30 | 0.00 | 1.00 | 0.70 | 13.20 | 23.60 | 76.20 | 464.60 | | | |
| 2009 | 129.50 | 154.30 | 145.60 | 52.40 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.70 | 63.00 | 73.50 | 50.30 | 677.40 | | | |
| 2010 | 56.60 | 54.20 | 94.30 | 25.30 | 3.20 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 13.80 | 8.70 | 23.20 | 122.30 | 402.60 | | | |
| 2011 | 125.90 | 64.20 | 113.30 | 72.50 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 6.10 | 7.70 | 62.60 | 98.50 | 553.00 | | | |
| 2012 | 31.00 | 113.30 | 125.70 | 109.30 | 7.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.10 | 40.00 | 40.50 | | 488.10 | | | |
| 2013 | 39.60 | 103.90 | 119.90 | 2.10 | 19.20 | 1.10 | 0.00 | 3.40 | 0.00 | 20.70 | 27.60 | 77.90 | 415.40 | | | |
| 2014 | 71.50 | | | | | | | | | | | | 71.50 | | | |

**Identificación de zonas de recarga hídrica de la
subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS**

| ESTACION: | | MATUCANA | | | | | LAT: 76°22'40.81" W | | | DPTO: LIMA | | LIMA | |
|------------|--------|----------------------------------|--------|-------|------|------|----------------------|------|-------|------------------|-------|------------|--------|
| PARAMETRO: | | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | LONG: 11°50'20.78" S | | | PROV: HUAROCHIRI | | HUAROCHIRI | |
| TIPO: | | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | ALT: 2421 msnm. | | | DIST: MATUCANA | | MATUCANA | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
| 1964 | | 64.6 | 57.6 | 61.1 | 5.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.6 | 6 | 33.2 | 232.20 |
| 1965 | 55.4 | 82.8 | 69.8 | 10.5 | 2.6 | 0 | 0 | 0 | 3.8 | 13.7 | 6.7 | 24.8 | 270.10 |
| 1966 | 61.60 | 38.70 | 52.50 | 22.30 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.00 | 0.00 | 37.00 | 230.30 |
| 1967 | 77.30 | 147.70 | 97.10 | 17.20 | 3.70 | 0.00 | | | 2.10 | 15.20 | 4.30 | 8.40 | 373.00 |
| 1968 | 24.90 | 24.90 | 33.30 | 11.20 | 7.70 | | | | | | | | 102.00 |
| 1969 | 11.40 | 54.60 | 73.30 | 26.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 18.10 | 24.10 | 55.20 | 263.90 |
| 1970 | 106.90 | 8.90 | 35.40 | 29.10 | 9.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.80 | 14.50 | 5.40 | 53.80 | 284.90 |
| 1971 | 57.40 | 72.60 | 116.00 | 27.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.60 | 1.20 | 43.00 | 324.20 |
| 1972 | 63.50 | 106.20 | 144.80 | 13.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 12.60 | 5.00 | 48.20 | 395.60 |
| 1973 | 82.30 | 80.80 | 58.70 | 5.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33.90 | 8.30 | 7.50 | 56.90 | 334.10 |
| 1974 | 45.30 | 76.40 | 75.80 | 9.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.60 | 4.60 | 21.30 | 233.80 |
| 1975 | 33.40 | 59.00 | 118.30 | 8.90 | 6.20 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 7.00 | 12.40 | 40.10 | 287.40 |
| 1976 | 70.30 | 73.40 | 58.10 | 0.50 | 0.50 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 26.20 | 230.70 |
| 1977 | 32.90 | 69.50 | 37.80 | 2.70 | 5.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 0.60 | 28.70 | 26.20 | 206.80 |
| 1978 | 29.10 | 29.80 | 21.00 | 5.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 0.00 | 7.80 | 12.60 | 107.20 |
| 1979 | 15.10 | 43.20 | 65.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.20 | 0.90 | | 127.90 |
| 1980 | 18.00 | 8.30 | 21.00 | 18.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.10 | 0.00 | 13.70 | 93.90 |
| 1981 | 62.00 | 43.40 | 72.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.20 | 1.50 | 33.90 | 217.80 |
| 1982 | 28.20 | 25.30 | 29.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | 0.00 | 10.30 | 0.90 | 93.70 |
| 1983 | 9.50 | 62.00 | 169.20 | 25.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | 32.70 | 299.30 |
| 1984 | 34.10 | 196.80 | 86.50 | 10.50 | 1.00 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.50 | 29.20 | 73.40 | 453.80 |
| 1985 | 17.90 | 55.70 | 67.70 | 8.70 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 2.70 | 1.70 | 23.20 | 53.50 | 234.90 |
| 1986 | 100.80 | 74.20 | 60.70 | 22.80 | 4.90 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 0.00 | 3.70 | 10.60 | 37.10 | 318.90 |
| 1987 | 113.00 | 48.50 | 45.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.20 | 0.20 | 0.00 | | 32.70 | 241.40 |
| 1988 | 64.70 | 70.60 | 44.80 | 36.80 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 47.50 | 271.40 |
| 1989 | 91.40 | 73.90 | 86.90 | 5.00 | 2.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 260.10 |
| 1990 | 52.20 | 4.90 | 19.70 | 1.90 | 6.10 | 0.30 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 13.40 | 36.40 | 43.00 | 178.50 |
| 1991 | 12.70 | 60.60 | 116.40 | 11.70 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.90 | 4.40 | 4.40 | 230.20 |
| 1992 | 29.20 | 25.00 | 101.80 | 26.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 32.00 | 4.40 | 21.90 | 240.90 |
| 1993 | 98.80 | 158.90 | 147.40 | 50.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 24.00 | 40.00 | 98.90 | 618.40 |
| 1994 | 64.90 | 95.30 | 45.60 | 33.20 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.30 | 12.40 | 51.60 | 306.40 |
| 1995 | 62.60 | 31.50 | 61.50 | 35.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.50 | 8.90 | 34.00 | 39.80 | 278.70 |
| 1996 | 72.50 | 80.60 | 87.90 | 27.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.70 | 7.20 | 280.10 |
| 1997 | 45.90 | 50.70 | 9.40 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.30 | 14.30 | 49.40 | 180.90 |
| 1998 | 91.60 | 111.40 | 122.90 | 17.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.50 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 19.90 | 367.50 |
| 1999 | 57.20 | 163.30 | 54.30 | 24.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.00 | 19.10 | 19.30 | 30.10 | 371.70 |
| 2000 | 82.50 | 105.30 | 67.80 | 21.90 | 5.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 0.00 | 50.00 | 350.20 |
| 2001 | 116.80 | 65.10 | 110.20 | 14.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 | 41.40 | 2.20 | 352.50 |
| 2002 | 17.80 | 74.30 | 61.90 | 32.40 | 6.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.70 | | 22.20 | 42.90 | 261.40 |
| 2003 | 32.30 | 46.00 | 64.10 | 15.70 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 86.10 | 244.90 |
| 2004 | 10.10 | 74.40 | 57.80 | 31.10 | 0.00 | 3.60 | 0.00 | | 0.00 | 6.30 | 22.50 | 92.70 | 298.50 |
| 2005 | 69.70 | 28.90 | 63.10 | 8.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 52.70 | 223.30 |
| 2006 | 83.10 | 67.20 | 129.70 | 52.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 16.30 | 74.80 | 425.60 |
| 2007 | 73.60 | 60.40 | 143.40 | 30.00 | 0.00 | | | | 0.00 | 4.00 | 0.00 | 26.90 | 338.30 |
| 2008 | 75.50 | 112.20 | 72.20 | 14.20 | | | | | 0.00 | 3.20 | 13.30 | 36.50 | 327.10 |
| 2009 | 105.50 | 98.90 | 130.60 | 32.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.70 | 37.20 | 51.40 | 473.60 |
| 2010 | 36.50 | 75.30 | 67.30 | 20.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.60 | 12.90 | 56.70 | 277.20 |
| 2011 | 62.10 | 65.70 | 58.30 | 57.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.30 | 0.00 | 25.50 | 51.80 | 323.10 |
| 2012 | 22.10 | 85.40 | 87.00 | 53.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.30 | 27.40 | 17.70 | 32.90 | 330.50 |
| 2013 | 29.10 | 87.80 | 84.80 | 27.60 | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 1.40 | 9.70 | 13.20 | 37.40 | 297.20 |
| 2014 | 46.90 | 36.40 | 69.40 | 20.50 | 2.70 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 2.80 | 10.80 | 14.10 | 74.30 | 279.50 |
| 2015 | 55.40 | 32.00 | 120.70 | 24.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.60 | 1.70 | 2.50 | | | 239.90 |

| ESTACION: | | SAN MATEO DE OTAO | | | | | LAT: 76°33'49.01" W | | | DPTO: LIMA | | LIMA | |
|------------|--------|----------------------------------|--------|-------|------|------|---------------------|------|------|-------------------------|-------|-------------------|--------|
| PARAMETRO: | | PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | | | | LONG: 11°50'49.2" S | | | PROV: HUAROCHIRI | | HUAROCHIRI | |
| TIPO: | | CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | | | | ALT: 3506 msnm. | | | DIST: SAN MATEO DE OTAO | | SAN MATEO DE OTAO | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
| 1987 | | | | | | | | | | | | 18.50 | 18.50 |
| 1988 | 76.10 | 86.20 | 26.10 | 5.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 193.50 |
| 1989 | 45.10 | 197.20 | 152.90 | 9.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 405.10 |
| 1990 | 1.70 | 0.70 | 3.20 | 7.60 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 14.30 | 21.40 | 53.90 |
| 1991 | 11.90 | 20.70 | 126.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.70 | 12.20 | 0.00 | 182.60 |
| 1992 | 0.00 | 11.80 | 9.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.80 | 0.00 | 4.60 | 37.80 |
| 1993 | 63.70 | 40.40 | 123.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.50 | 4.20 | 26.60 | 259.70 |
| 1994 | 91.30 | 70.30 | 49.40 | 21.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.90 | 7.10 | 240.20 |
| 1995 | 26.00 | 8.70 | 44.40 | 0.00 | 5.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 9.40 | 33.90 | 127.90 |
| 1996 | 49.00 | 73.40 | 32.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.30 | 0.00 | 7.80 | 162.90 |
| 1997 | 22.70 | 36.90 | 7.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.40 | 5.30 | 23.00 | 90.30 | 191.70 |
| 1998 | 168.50 | 143.40 | 149.80 | 20.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 68.50 | 550.30 |
| 1999 | 94.90 | 341.20 | 89.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.60 | 0.00 | 83.80 | 633.00 |
| 2000 | 141.10 | 108.90 | 42.30 | 15.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.20 | 24.60 | 347.60 |
| 2001 | 76.20 | 67.30 | 94.80 | 50.80 | 4.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.20 | 45.80 | 5.80 | 363.70 |
| 2002 | 18.10 | 85.30 | 68.10 | 41.10 | 3.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.00 | 41.80 | 27.40 | 7.30 | 299.50 |
| 2003 | 20.40 | 25.10 | 98.80 | 4.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 95.20 | 243.90 |
| 2004 | 14.30 | 147.00 | 84.70 | 40.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.40 | 7.40 | 0.00 | 49.70 | 346.50 |
| 2005 | 52.40 | 77.20 | 41.60 | 4.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 85.10 | 260.80 |
| 2006 | 133.70 | 181.80 | 174.50 | 87.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.60 | 89.70 | 670.10 |
| 2007 | 54.00 | 29.60 | 199.90 | 54.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.20 | 0.00 | 15.10 | 357.70 |
| 2008 | 133.30 | 108.90 | 79.30 | 18.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.30 | 19.30 | 367.80 |
| 2009 | 88.20 | 87.60 | 114.60 | 8.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.80 | 20.60 | 17.00 | 356.00 |
| 2010 | 15.30 | 49.80 | 46.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 46.80 | 158.10 |
| 2011 | 72.70 | 56.20 | 46.20 | 17.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.20 | 36.00 | 237.90 |
| 2012 | 14.90 | 61.40 | 176.30 | 25.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | 278.20 |
| 2013 | 9.80 | 147.30 | 161.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.50 | 11.20 | 53.20 | 392.40 |
| 2014 | 53.10 | | | | | | | | | | | | 53.10 |

Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS

| ESTACION: SANTA EULALIA | | LAT: 76°39'59.9" W | | DPTO: LIMA | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|-------|--------------------|--------|---------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | LONG: 11°55'12" S | | PROV: HUARACHIRI | | | | | | | | | |
| TIPO: CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | ALT: 944 msnm | | DIST: SANTA EULALIA | | | | | | | | | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
| 1963 | | | | | | | | | | | | 0.5 | 0.50 |
| 1964 | 1.9 | 9.9 | 9.6 | 6.1 | 0 | | 0 | 0 | | | | | 27.50 |
| 1965 | | | | 0.80 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.60 | 2.20 | 6.60 |
| 1966 | 29.20 | 1.00 | 43.60 | 0.00 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.60 | 0.00 | 0.00 | 97.90 |
| 1967 | 32.50 | 98.80 | 73.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | | 0.20 | 205.50 |
| 1968 | | | | | 1.10 | | | | | | | | 1.10 |
| 1969 | 11.60 | 12.20 | 16.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.90 | 14.60 | 56.30 |
| 1970 | 93.10 | 5.90 | 31.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.80 | 1.50 | 1.50 | 0.00 | 144.00 |
| 1971 | 0.00 | 15.40 | 41.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 63.90 |
| 1972 | 14.50 | 31.80 | 110.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 162.70 |
| 1973 | 38.10 | 0.00 | 89.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 1.00 | 0.00 | 14.50 | 144.90 |
| 1974 | 10.20 | 24.70 | 31.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.40 | 72.30 |
| 1975 | 2.80 | 22.80 | 19.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 9.50 | 56.60 |
| 1976 | 6.70 | 96.30 | 11.60 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.30 | 120.10 |
| 1977 | 8.20 | 11.30 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.50 |
| 1978 | 6.80 | 0.00 | 21.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.70 |
| 1979 | 0.00 | 0.00 | 23.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.00 |
| 1980 | 0.00 | 0.00 | 23.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.00 |
| 1981 | 1.00 | 10.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 12.80 |
| 1982 | | 14.60 | 4.50 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.60 | 26.90 |
| 1983 | 0.00 | | 33.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33.00 |
| 1984 | 0.00 | 17.40 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.40 |
| 1985 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 |
| 1986 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.30 | 6.30 |
| 1987 | | | | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 |
| 1988 | 17.90 | 9.00 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.30 | 39.70 |
| 1989 | 7.70 | 43.30 | 11.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 62.70 |
| 1990 | 4.50 | 0.00 | 10.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 3.50 | 19.10 |
| 1991 | 0.00 | 1.80 | 9.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.80 |
| 1992 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 |
| 1993 | 0.50 | 2.00 | 3.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.60 |
| 1994 | 19.00 | 7.40 | 0.00 | 0.00 | 3.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 32.20 |
| 1995 | 7.50 | 0.00 | 2.50 | 1.10 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.70 | 2.10 | 0.00 | 14.60 |
| 1996 | 5.90 | 11.70 | 13.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 31.80 |
| 1997 | 3.00 | 4.30 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.90 | 13.40 | 22.80 |
| 1998 | 18.70 | 16.90 | 18.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 5.40 | 59.30 | |
| 1999 | 8.80 | 57.00 | 2.30 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.00 | 1.30 | 70.20 |
| 2000 | 19.10 | 11.90 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 35.30 |
| 2001 | 12.70 | 12.10 | 12.00 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 1.20 | 0.00 | 39.40 |
| 2002 | 1.20 | 33.30 | 3.50 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.20 | 0.50 | 39.30 |
| 2003 | | | | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.40 | 14.40 |
| 2004 | 0.00 | 5.60 | 6.70 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 3.30 | 18.20 |
| 2005 | 1.80 | 3.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.70 | 6.50 |
| 2006 | 10.90 | 16.80 | 8.70 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 1.40 | 6.20 | 44.80 | |
| 2007 | 5.30 | 3.60 | 5.40 | 4.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 1.00 | 20.00 | |
| 2008 | 12.70 | 15.00 | 17.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 0.80 | 48.70 | |
| 2009 | 17.90 | 29.50 | 10.90 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 1.00 | 65.20 | |
| 2010 | 6.30 | 1.20 | 5.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.60 | 0.00 | 5.10 | 19.30 |
| 2011 | 10.80 | 7.60 | 2.90 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 6.90 | 32.50 | |
| 2012 | 0.00 | 17.40 | 7.20 | 10.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.90 | 0.50 | 1.50 | 38.80 |
| 2013 | 0.00 | 7.60 | 3.70 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.10 | 21.40 | |
| 2014 | 7.20 | | | | | | | | | | | | 7.20 |

| ESTACION: SHEQUE | | LAT: 76°30'8.28" W | | DPTO: LIMA | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|--------|----------------------|--------|------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| PARAMETRO: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm) | | LONG: 11°39'39.42" S | | PROV: HUARACHIRI | | | | | | | | | | |
| TIPO: CONVENCIONAL - METEOROLOGICA | | ALT: 3188 msnm. | | DIST: CARAMPOMA | | | | | | | | | | |
| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total | |
| 1987 | | | | | | | | | | | | | 48.30 | 48.30 |
| 1988 | 97.30 | 85.20 | 23.80 | 57.50 | 8.60 | | | | | | | | 48.90 | 321.30 |
| 1989 | 100.70 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.20 | 0.30 | 39.10 | 2.60 | 0.00 | 144.90 | |
| 1990 | 94.50 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.00 | 71.10 | 35.10 | 219.70 | |
| 1991 | 60.40 | 61.20 | | 28.20 | 13.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33.20 | 31.80 | 25.80 | 254.40 | |
| 1992 | 43.20 | 35.00 | 62.40 | 26.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.00 | 45.10 | 10.40 | 34.20 | 259.90 | |
| 1993 | 77.30 | 108.90 | 122.80 | 37.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.80 | | | 45.30 | 462.80 | |
| 1994 | 88.80 | 148.10 | 183.50 | 38.20 | 31.30 | 8.70 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 62.70 | 23.20 | 14.80 | 600.60 | |
| 1995 | 70.00 | 38.30 | 74.80 | 28.50 | 10.70 | 4.60 | 0.00 | 0.20 | 4.60 | 16.80 | 28.10 | 58.80 | 335.40 | |
| 1996 | 89.20 | 85.10 | 121.80 | 19.90 | 11.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.60 | 31.70 | 369.00 | |
| 1997 | 51.90 | 65.80 | 7.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.00 | 16.30 | 37.20 | 194.50 | 384.60 | |
| 1998 | 234.10 | 141.00 | 190.90 | 15.00 | 0.30 | 0.50 | 4.00 | 2.50 | 8.50 | 9.70 | 15.50 | 25.70 | 647.70 | |
| 1999 | 44.20 | 280.80 | 118.70 | 37.60 | 11.90 | 9.20 | 1.20 | 0.80 | 14.60 | 8.50 | 27.10 | 62.10 | 616.70 | |
| 2000 | 95.20 | 217.70 | 183.80 | 71.10 | 32.70 | 1.20 | 8.40 | 16.70 | 39.80 | 54.10 | 31.40 | 114.60 | 866.70 | |
| 2001 | 149.10 | 100.30 | 198.80 | 67.50 | 3.60 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 16.20 | 18.70 | 30.50 | 17.20 | 604.30 | |
| 2002 | 36.60 | 50.10 | 99.60 | 39.80 | 4.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 16.20 | 31.40 | 40.20 | 35.30 | 353.30 | |
| 2003 | 96.20 | 100.30 | 183.40 | 38.10 | 4.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.10 | 15.10 | 95.30 | 536.50 | |
| 2004 | 17.40 | 63.70 | 89.80 | 18.70 | 0.00 | 5.10 | 0.00 | 0.60 | 4.20 | 0.20 | 34.20 | 110.30 | 344.20 | |
| 2005 | 71.20 | 67.20 | 65.10 | 67.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.80 | 3.00 | 139.00 | 418.50 | |
| 2006 | 109.80 | 118.20 | 160.60 | 100.10 | 0.00 | 1.40 | 0.00 | 19.90 | 11.90 | 21.70 | 52.20 | 82.10 | 677.90 | |
| 2007 | 126.70 | 84.70 | 89.50 | 44.60 | 22.80 | 1.40 | 0.20 | 0.20 | 0.40 | 10.50 | 27.00 | 33.90 | 441.90 | |
| 2008 | 68.60 | 141.20 | 53.70 | 14.40 | 0.40 | 0.20 | 0.00 | 0.70 | 0.80 | 20.90 | 20.90 | 32.00 | 353.80 | |
| 2009 | 116.40 | 150.80 | 139.20 | 53.90 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 1.10 | 2.70 | 61.80 | 86.00 | 62.90 | 676.20 | |
| 2010 | 62.30 | 82.60 | 69.40 | 26.50 | 2.40 | 0.20 | 0.10 | 0.00 | 6.50 | 12.70 | 24.30 | 89.90 | 376.90 | |
| 2011 | | | | | | | | | 0.60 | 12.70 | 18.30 | 27.30 | 59.00 | |
| 2012 | 33.70 | 25.90 | 47.70 | 48.90 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 10.40 | 29.90 | 20.70 | | 217.80 | |
| 2013 | 40.00 | 66.70 | 71.50 | 12.70 | 23.10 | 3.40 | 0.00 | 4.40 | 0.10 | 15.90 | 8.50 | 51.10 | 297.40 | |
| 2014 | 96.30 | | | | | | | | | | | | 96.30 | |

Anexo N° 7: Código SCRIPS utilizado en el software R.

```
# Installing hydroGOF:

setwd("C:/Users/carla/OneDrive/Documents/R_Projects/
Comparacion_PISCO_TesisUPN")
getwd()
rm(list = ls())

install.packages("hydroGOF")

# Loading the hydroGOF library, which contains data and functions used in
this analysis.
require(zoo)
library(hydroGOF)

#####
# ESTACION SANTA EULALIA (X1)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X1_Santa_Eulalia <- read.csv("Pd_X1_Santa_Eulalia.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X1_Santa_Eulalia[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X1_Santa_Eulalia)),
                  s1 = Pd_X1_Santa_Eulalia[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X1_Santa_Eulalia)),
                  s2 = Pd_X1_Santa_Eulalia[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Santa_Eulalia_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Santa_Eulalia_Stats_X1 = t(Santa_Eulalia_Stats) # Convertir (transponer) en
fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# ESTACION SAN MATEO (X2)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X2_San_Mateo <- read.csv("Pd_X2_San_Mateo.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X2_San_Mateo[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X2_San_Mateo)),
                  s1 = Pd_X2_San_Mateo[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
```

```
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X2_San_Mateo)),
                 s2 = Pd_X2_San_Mateo[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
San_Mateo_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
San_Mateo_Stats_X2 = t(San_Mateo_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#=====
# ESTACION AUTISHA (X3) ----
#=====
# Cargar data observada:
Pd_X3_Autisha <- read.csv("Pd_X3_Autisha.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X3_Autisha[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X3_Autisha)),
                 s1 = Pd_X3_Autisha[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X3_Autisha)),
                 s2 = Pd_X3_Autisha[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Autisha_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Autisha_Stats_X3 = t(Autisha_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#=====
# ESTACION CARAMPOMA (X4) ----
#=====
# Cargar data observada:
Pd_X4_Carampoma <- read.csv("Pd_X4_Carampoma.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X4_Carampoma[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X4_Carampoma)),
                 s1 = Pd_X4_Carampoma[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
```

```

obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X4_Carampoma)),
                 s2 = Pd_X4_Carampoma[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Carampoma_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Carampoma_Stats_X4 = t(Carampoma_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# ESTACION SHEQUE (X5) ----
#####
# Cargar data observada:
Pd_X5_Sheque <- read.csv("Pd_X5_Sheque.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X5_Sheque[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X5_Sheque)),
                 s1 = Pd_X5_Sheque[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X5_Sheque)),
                 s2 = Pd_X5_Sheque[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Sheque_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Sheque_Stats_X5 = t(Sheque_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# ESTACION ARAHUAY (X8)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X8_Arahuay <- read.csv("Pd_X8_Arahuay.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X8_Arahuay[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X8_Arahuay)),
                 s1 = Pd_X8_Arahuay[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X8_Arahuay)),

```

```

        s2 = Pd_X8_Arahuay[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Arahuay_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Arahuay_Stats_X8 = t(Arahuay_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# ESTACION LACHAQUI (X9)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X9_Lachaqui <- read.csv("Pd_X9_Lachaqui.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X9_Lachaqui[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X9_Lachaqui)),
                 s1 = Pd_X9_Lachaqui[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X9_Lachaqui)),
                 s2 = Pd_X9_Lachaqui[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Lachaqui_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Lachaqui_Stats_X9 = t(Lachaqui_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# ESTACION MATUCANA (X10)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X10_Matucana <- read.csv("Pd_X10_Matucana.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X10_Matucana[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X10_Matucana)),
                 s1 = Pd_X10_Matucana[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X10_Matucana)),
                 s2 = Pd_X10_Matucana[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF

```

```

EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Matucana_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Matucana_Stats_X10 = t(Matucana_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

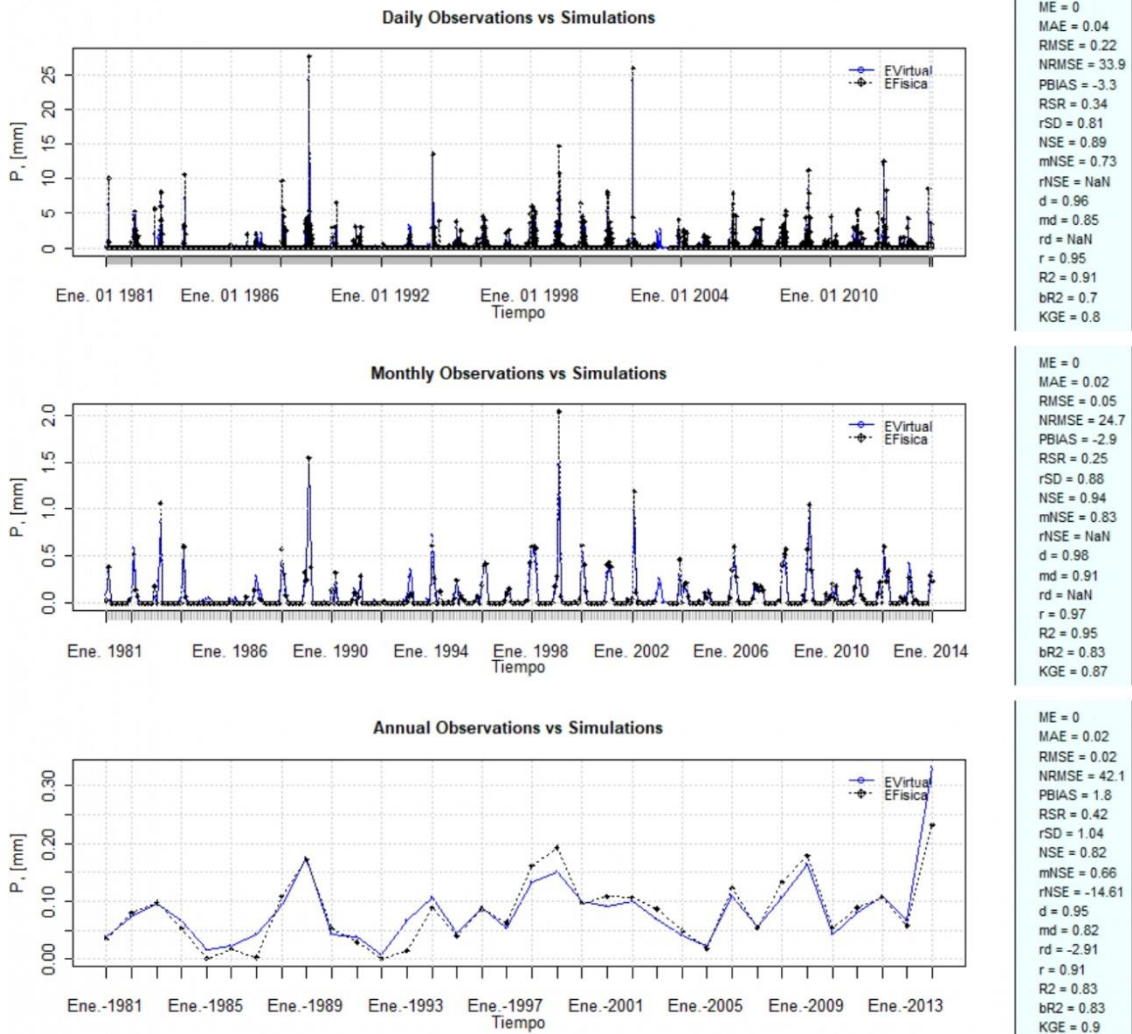
#####
# ESTACION CASAPALCA (X11)
#####
# Cargar data observada:
Pd_X11_Casapalca <- read.csv("Pd_X11_Casapalca.csv", header = T)
# Capturar la fecha inicial
start_date = Pd_X11_Casapalca[1,1]
# Convertir la data de PISCO en data frame:
sim <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X11_Casapalca)),
                 s1 = Pd_X11_Casapalca[,2])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EVirtual <- with(sim, zoo(s1, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Convertir la data de la Estación en data frame:
obs <- data.frame(time = seq(as.Date(start_date), by = 'days', length =
nrow(Pd_X11_Casapalca)),
                 s2 = Pd_X11_Casapalca[,3])
# Convertir en class zoo para utilizar hydroGOF
EFisica <- with(obs, zoo(s2, time)) # s is the series, time is the index
vector
# Capturar estadísticas de comparación:
Casapalca_Stats <- gof(sim=EVirtual, obs=EFisica)
Casapalca_Stats_X11 = t(Casapalca_Stats) # Convertir (transponer) en fila
# Graficar resultados:
ggof(sim=EVirtual, obs=EFisica, ftype = "dma", FUN = mean, xlab = "Tiempo",
ylab=c("P, [mm]"))

#####
# RESULTADOS
#####

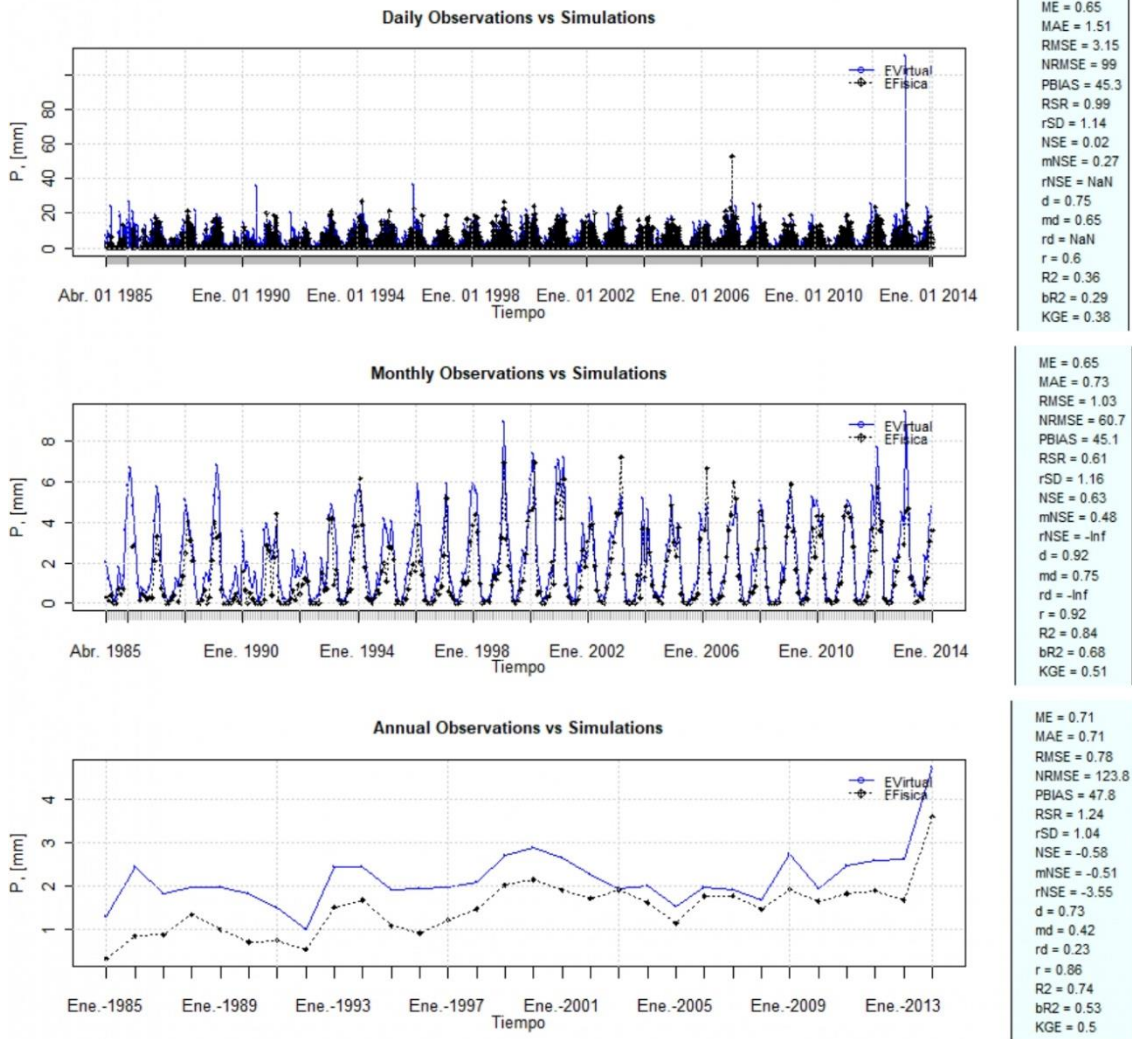
# Guardando los resultados:
Resultados <- matrix(c(Santa_Eulalia_Stats, San_Mateo_Stats, Autisha_Stats,
Carampoma_Stats, Sheque_Stats, Arahua_Stats, Lachaqui_Stats,
Matucana_Stats, Casapalca_Stats), ncol = 9)
colnames(Resultados) <- c("Santa Eulalia", "San Mateo", "Autisha",
" Carampoma", "Sheque", "Arahua", "Lachaqui", "Matucana", "Casapalca")
rownames(Resultados) <- rownames(Santa_Eulalia_Stats)
# Exportando los resultados a un archivo CSV
write.csv(Resultados, "Resultados_Comparacion_PISCO.csv", quote = F)

```

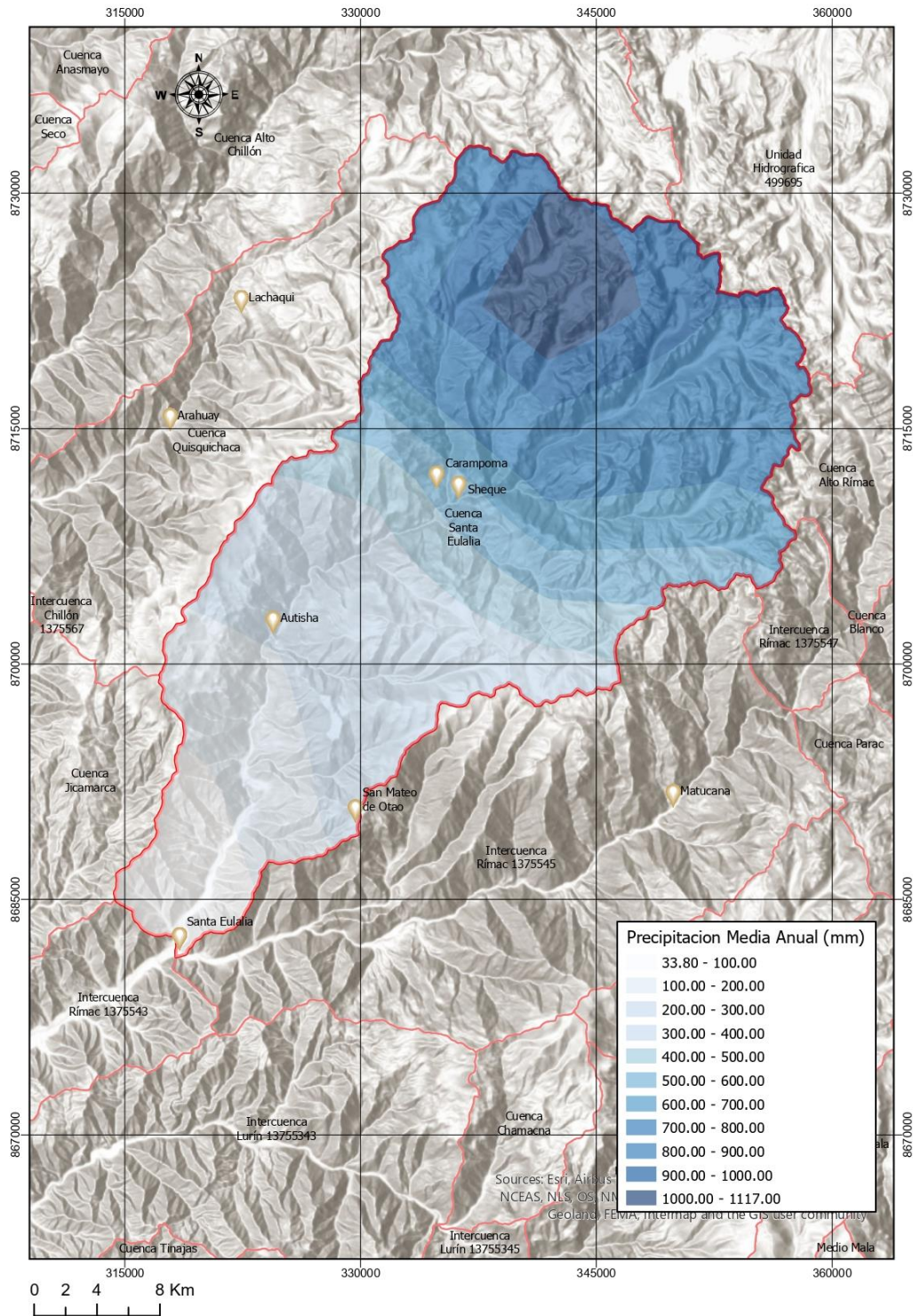

Anexo N° 8: Comparación con el software R, estaciones meteorológicas vs PISCO.



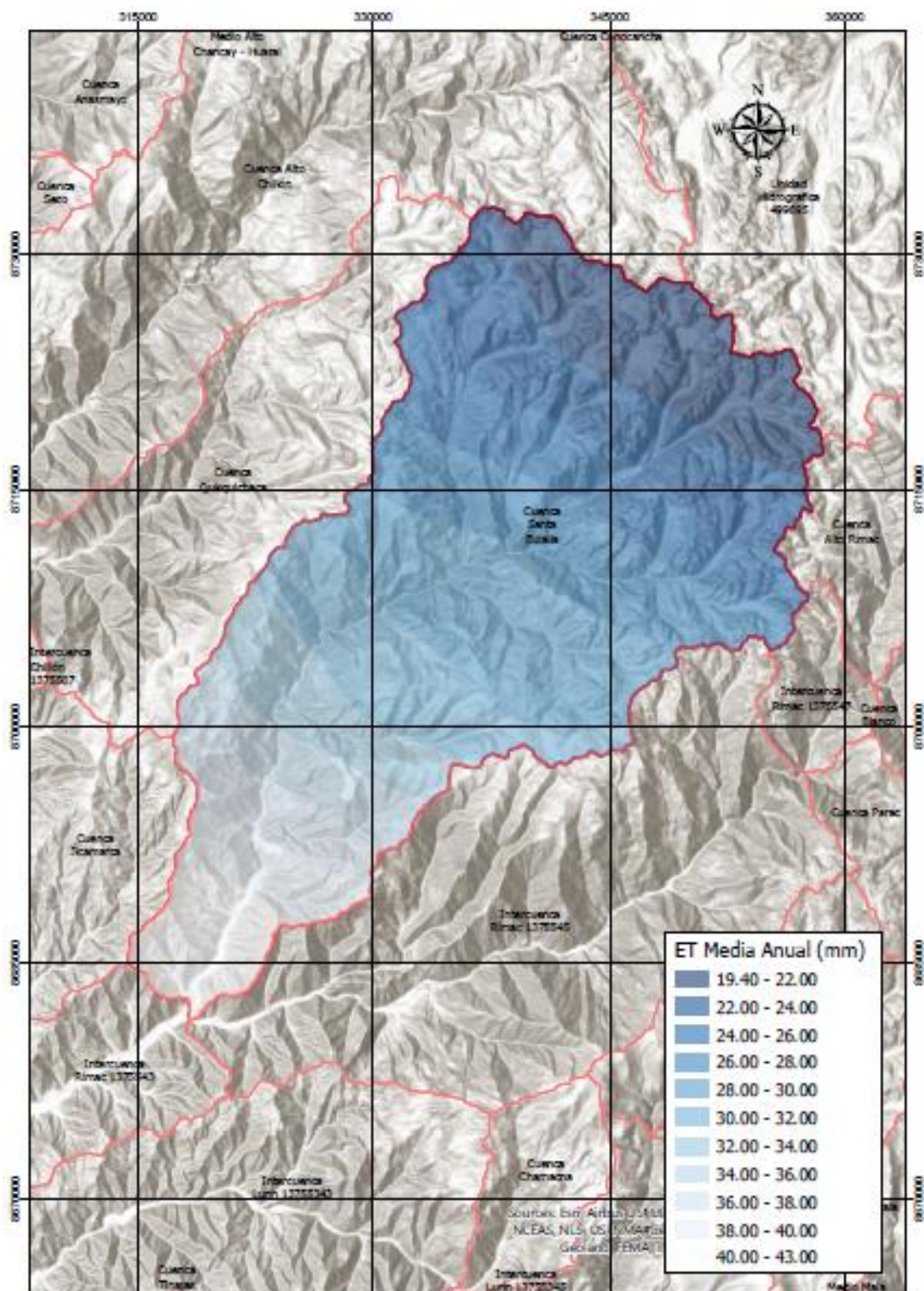
Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS



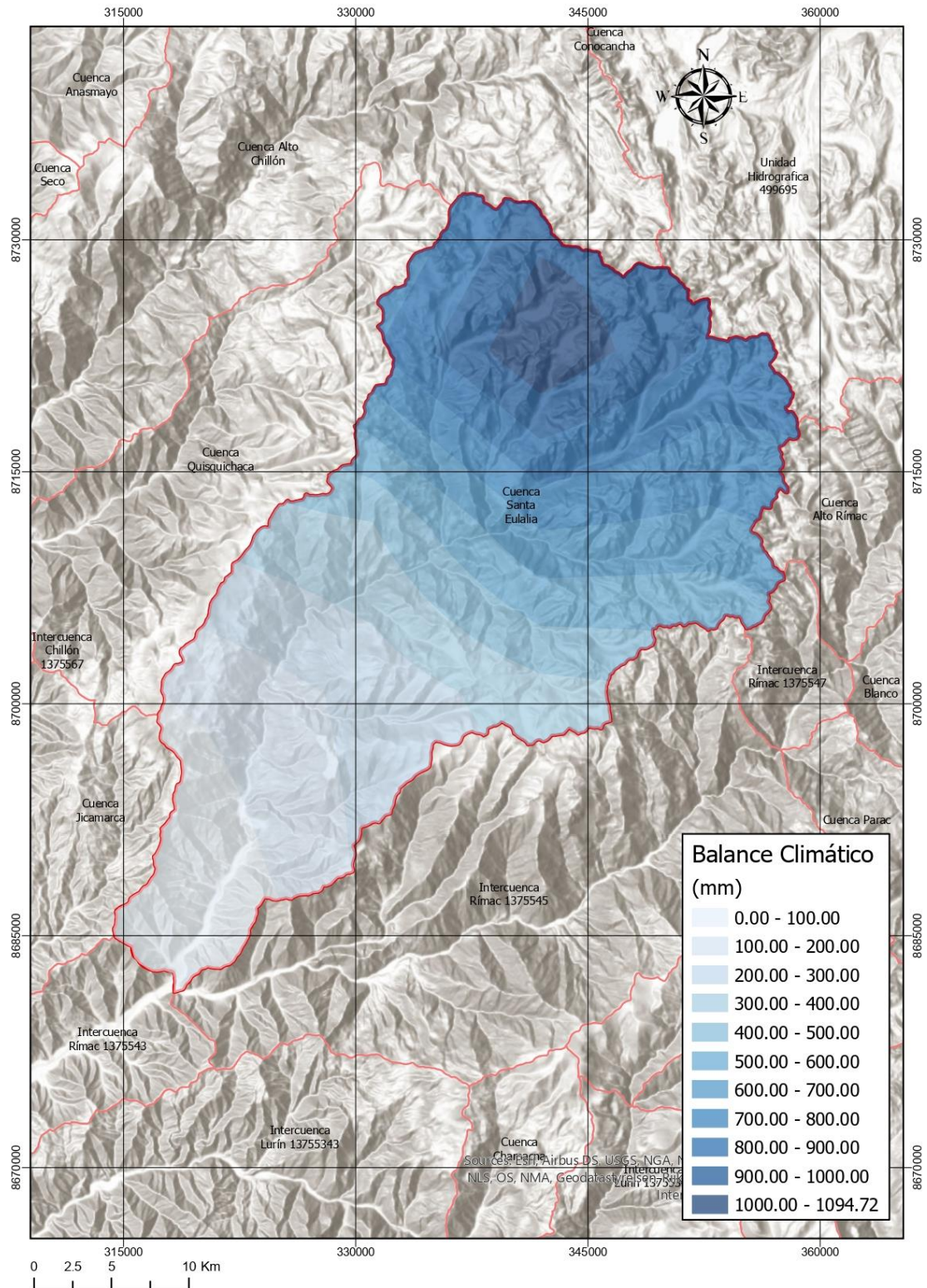
Anexo N° 9: Precipitación media anual de la subcuenca Santa Eulalia



Anexo N° 10: Evapotranspiración media anual de la subcuenca Santa Eulalia



Anexo N° 11: Balance climático de la subcuenca Santa Eulalia



Anexo N° 12: Mapa de la recarga hídrica de la subcuenca Santa Eulalia

