

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por la ley 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA TESIS



**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA
SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RIO ICHU - HUANCVELICA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN AMBIENTAL Y/O SANITARIA

PRESENTADO POR:

Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria

Bach. VENTURA CEPIDA, Jackeline Blanca

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCVELICA, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 29 días del mes de abril del año 2022, a horas 9:00 a.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado por los siguientes: **Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Luis Alberto TITO CÓRDOVA (SECRETARIO)**, **M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA (ASESORA)**, designados con Resolución de Decano N° 035-2022-FCI-UNH, de fecha 07 de abril del 2022, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RIO ICHU-HUANCAVELICA", presentada por las Bachilleres **Jackeline Blanca VENTURA CEPIDA** y **Valeria PAYTAN CAVALCANTI**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; Finalizado la evaluación a horas 9:36; se invitó al público presente y a las sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

Jackeline Blanca VENTURA CEPIDA

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Valeria PAYTAN CAVALCANTI

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



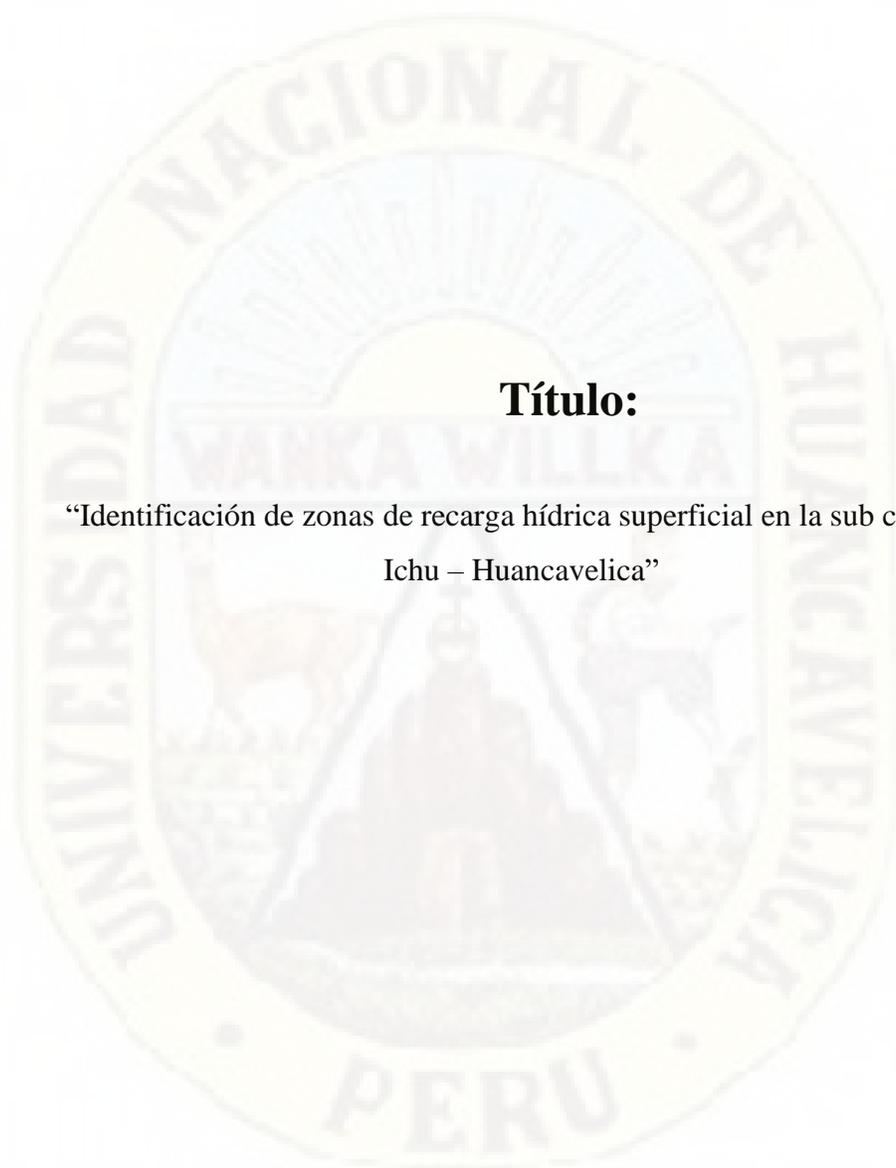
Secretario



Asesora

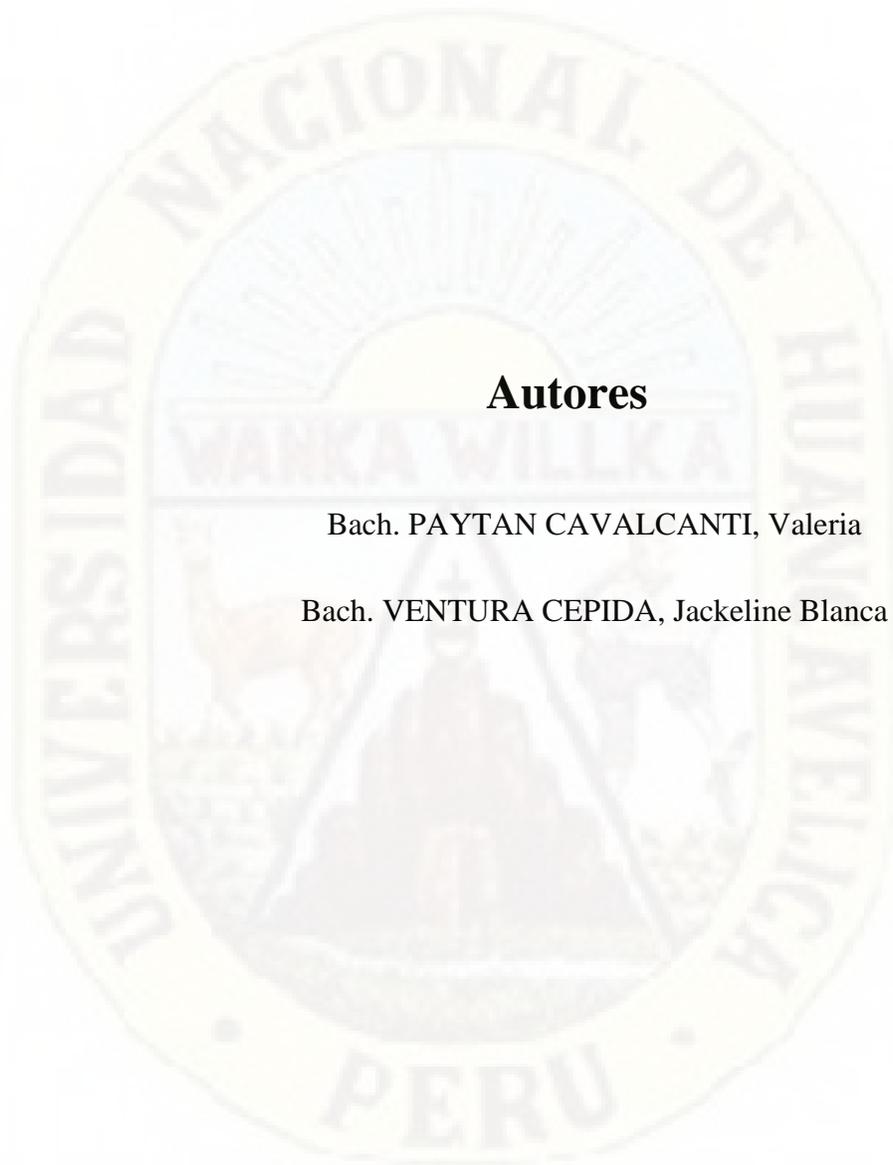


Vº Bº Decano



Título:

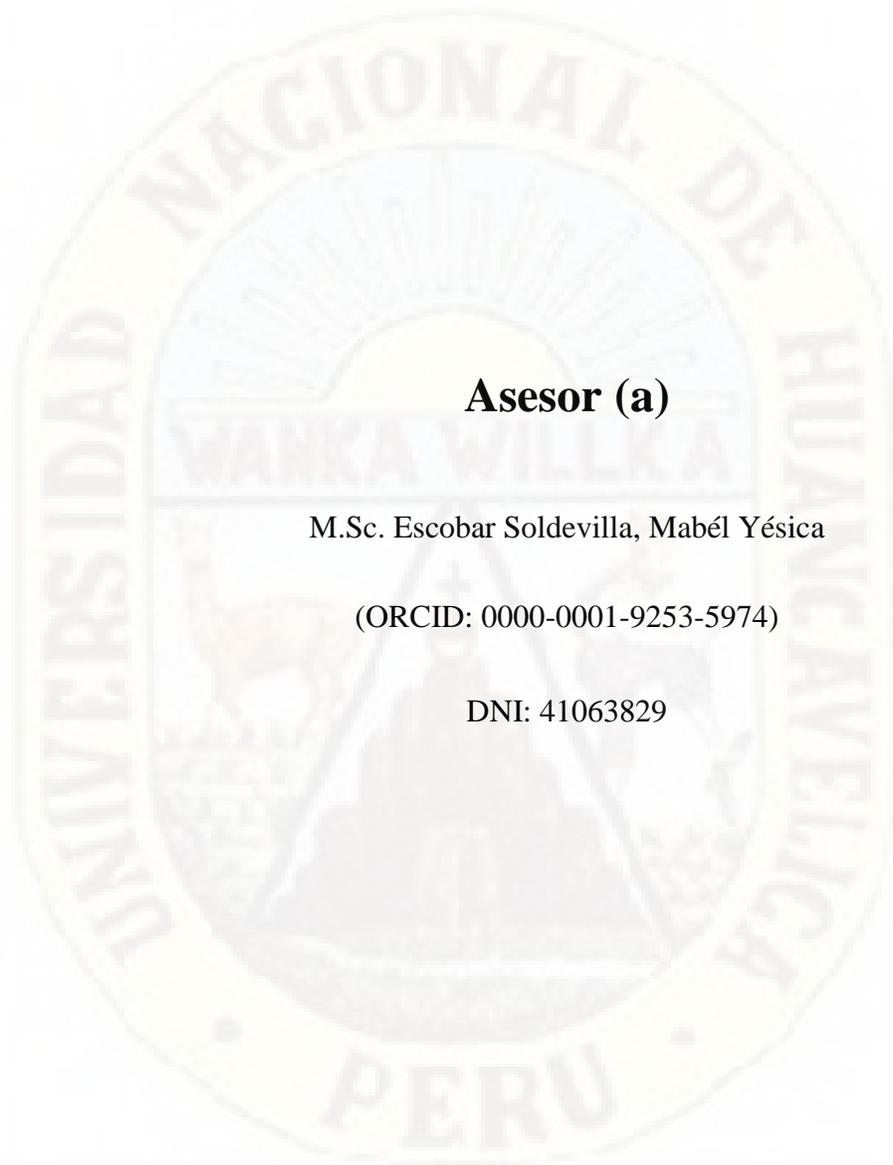
“Identificación de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río
Ichu – Huancavelica”



Autores

Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria

Bach. VENTURA CEPIDA, Jackeline Blanca



Asesor (a)

M.Sc. Escobar Soldevilla, Mabel Yésica

(ORCID: 0000-0001-9253-5974)

DNI: 41063829

Agradecimiento

La Universidad Nacional de Huancavelica nos brindó las diferentes oportunidades para poder sobresalir en la formación académica durante el periodo universitario en el cual han sido incomparables y únicos.

A nuestros familiares, a nuestros padres, hermanos y hermanas por haber sido los ejemplos de superación y guía.

Agradecemos mucho por la ayuda a todos nuestros docentes, de manera especial, agradecemos profundamente a la M.Sc. Escobar Soldevilla, Mabel Yésica por su paciencia, tiempo, motivación y ayuda el cual fue un pilar importante y fundamental en la elaboración de todo el proceso de la tesis.

A nuestros amigos, con quienes nos apoyamos a lo largo de la formación profesional y que gracias a esa consolidación de equipo pudimos obtener tantos logros académicos.

Tabla de Contenido

Título.....	iii
Autores	iv
Asesor (a)	v
Tabla de Contenido	vii
Tabla de contenidos de Tablas	ix
Tabla de contenidos de Figuras.....	xi
Tabla de contenidos de Apéndices	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract	xviii
Introducción	xix
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1.Descripción del problema	21
1.2.Formulación del problema	22
1.3.Objetivos.....	23
1.4.Justificación.....	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	25
2.1.Antecedentes	25
2.2.Bases Conceptuales	32
2.3.Hipótesis.....	63
2.4.Variable.....	63
2.5.Definición de Términos.....	64
2.6.Operacionalización de la Variable	66
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	68

3.1.Tipo de Investigación.....	68
3.2.Nivel de Investigación.....	68
3.3.Método de investigación.....	69
3.4.Diseño de investigación.....	69
3.5.Población y muestra.....	69
3.6.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70
3.7.Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	84
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	135
4.1.Presentación e interpretación de datos.....	135
4.2.Ubicación geográfica.....	137
Conclusiones.....	181
Recomendaciones.....	184
Referencias Bibliográficas.....	185
Apéndice.....	189

Tabla de contenidos de Tablas

Tabla 1	División de una Cuenca Hidrográfica.....	37
Tabla 2	Distribución de las bandas en OLI y TIRS	58
Tabla 3	Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor OLI ..	60
Tabla 4	Rangos espectrales y tamaños de pixel de las bandas en el sensor TIRS.....	62
Tabla 5	Operacionalización de la Variable.....	67
Tabla 6	Instrumentos de Recolección de Datos.....	72
Tabla 7	Ubicación de las estaciones pluviométricas sintéticas en coordenadas geográficas	91
Tabla 8	Clasificación de la pendiente según Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG.....	94
Tabla 9	Interpretación de los valores del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada).....	99
Tabla 10	Ubicación de las estaciones pluviométricas en coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM)	102
Tabla 11	Matriz pareada con tipo de llenado cualitativo	128
Tabla 12	Escala de comparación	129
Tabla 13	Matriz pareada con tipo de llenado cuantitativo	130
Tabla 14	Matriz normalizada y ponderación.....	131
Tabla 15	Obtención del nmax.....	131
Tabla 16	Valores del índice de consistencia (CI), el índice aleatorio (RI) y la proporción de consistencia o ratio de consistencia (CR).	132
Tabla 17	Valor de consistencia del modelo propuesto.....	133
Tabla 18	Parámetros básicos de la sub cuenca Ichu.....	135
Tabla 19	Sub cuencas que conforman la cuenca del Mantaro.....	138
Tabla 20	Distritos que conforman la sub cuenca Ichu	140

Tabla 21	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrrelieve.....	141
Tabla 22	Distribución de la pendiente y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	143
Tabla 23	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal	146
Tabla 24	Distribución de la cobertura vegetal y el área ocupada en la sub cuenca Ichu	148
Tabla 25	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica asociada a la precipitación	151
Tabla 26	Distribución de la precipitación y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	153
Tabla 27	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según su textura..	156
Tabla 28	Distribución del tipo de suelo y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	158
Tabla 29	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso de suelo.....	161
Tabla 30	Distribución del uso de suelo y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	163
Tabla 31	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la densidad de depresiones kársticas por kilómetro cuadrado.....	166
Tabla 32	Distribución de las depresiones kársticas y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	168
Tabla 33	Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el drenaje de las corrientes superficiales	171
Tabla 34	Distribución de las corrientes superficiales y el área ocupada en la sub cuenca Ichu.....	173
Tabla 35	Distribución de las zonas de recarga hídrica superficial y el área ocupada en la sub cuenca Ichu	178

Tabla de contenidos de Figuras

Figura 1 Zonificación de la Cuenca Hidrográfica.....	34
Figura 2 División de una cuenca hidrográfica: Sub cuencas y Micro cuencas....	38
Figura 3 Ciclo Hidrológico	48
Figura 4 Elementos que forman el Sistema SIG	53
Figura 5 Ancho de banda para los sensores OLI y TIRS en Landat 8 y EMT + en Landsat 7	59
Figura 6 Página de inicio de la USGS.....	74
Figura 7 Path – Row para Landsat 8 a nivel nacional.....	75
Figura 8 Imagen satelital Path: 006, Row:069	76
Figura 9 Composición de bandas que reflejan el color verdadero de la imagen satelital Lansdat 8.....	77
Figura 10 Página de Inicio Earth Data Search	78
Figura 11 Resultados de la búsqueda del modelo de elevación digital (DEM) ...	79
Figura 12 Modelo de elevación digital (DEM) que contiene el área de estudio..	80
Figura 13 Ejemplo CUM de la Zonificación Ecológica y Económica de Huancavelica	81
Figura 14 Página de Inicio SENAMHI HSR PISCO.....	82
Figura 15 Datos de precipitación media mensual en formato raster.....	83
Figura 16 Esquema de aplicación del programa HEC – HMS 4.8.....	84
Figura 17 Creación de un proyecto en HEC – HMS 4.8.....	85
Figura 18 Identificación de ríos en el programa HEC – HMS 4.8.....	86
Figura 19 Delimitación de la sub cuenca Ichu en HEC – HMS 4.8.....	87
Figura 20 Delimitación de la sub cuenca Ichu en HEC – HMS 4.8.....	88
Figura 21 Figura Mapa de la sub cuenca Ichu	89
Figura 22 Esquema de la aplicación del programa RStudio	90
Figura 23 Esquema de la aplicación del programa ArcGIS 10.8.1	93
Figura 24 Pendientes iniciales de la sub cuenca Ichu	95

Figura 25 Reclasificación de las pendientes de acuerdo al Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG	96
Figura 26 Mapa de pendientes de la sub cuenca Ichu	97
Figura 27 Aplicación de la herramienta Map Algebra del programa ArcGIS 10.8.1	100
Figura 28 Representación del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) en la imagen satelital	100
Figura 29 Mapa de cobertura vegetal de la sub cuenca Ichu	101
Figura 30 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 01	104
Figura 31 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 02	104
Figura 32 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 03	105
Figura 33 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 04	105
Figura 34 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 05	106
Figura 35 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 06	106
Figura 37 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 08	107
Figura 36 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 07	107
Figura 38 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 09	108
Figura 39 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 10	108

Figura 40 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 11	109
Figura 41 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 12	109
Figura 42 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 13	110
Figura 43 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 14	110
Figura 44 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 15	111
Figura 45 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 16	111
Figura 46 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 17	112
Figura 47 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 18	112
Figura 48 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 19	113
Figura 49 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 20	113
Figura 50 Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 21	114
Figura 51 Variación de la precipitación media para un periodo de 20 años	115
Figura 52 Ubicación de las estaciones pluviométricas sintéticas en el programa ArcGIS 10.8.1	116
Figura 53 Aplicación del ModelBuilde para la elaboración del mapa de precipitación local	117
Figura 54 Mapa de precipitación local de la sub cuenca Ichu	118
Figura 55 Base suelos de la sub cuenca Ichu	119

Figura 56 Mapa de tipo de suelos de la sub cuenca Ichu	120
Figura 57 Base uso actual de la sub cuenca Ichu	121
Figura 58 Mapa de uso de suelos de la sub cuenca Ichu.....	122
Figura 59 Base depresiones de la sub cuenca Ichu	123
Figura 60 Mapa de depresiones de la sub cuenca Ichu	124
Figura 61 Base ríos línea de la sub cuenca Ichu	125
Figura 62 Mapa de corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu	126
Figura 63 Mapa de la sub cuenca del Río Ichu	136
Figura 64 Ubicación geográfica de la sub cuenca Ichu.....	137
Figura 65 Demarcación hidrográfica de la sub cuenca Ichu	139
Figura 66 Demarcación política de la sub cuenca Ichu.....	140
Figura 67 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las pendientes.....	142
Figura 68 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la pendiente	144
Figura 69 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en la cobertura vegetal	147
Figura 70 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la cobertura vegetal	149
Figura 71 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en la precipitación local	152
Figura 72 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la precipitación local	154
Figura 73 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en el tipo de suelo	157
Figura 74 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función al tipo de suelo	159
Figura 75 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en el uso de suelo.....	162
Figura 76 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función al uso de suelo	164

Figura 77 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las depresiones kársticas	167
Figura 78 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a las depresiones kársticas.....	169
Figura 79 Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las corrientes superficiales.....	172
Figura 80 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a las depresiones kársticas.....	174
Figura 81 Mapa de las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca Ichu - Huancavelica.....	177
Figura 82 Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo a las zonas de recarga hídrica superficial	180

Tabla de contenidos de Apéndices

Apéndice 1: Matriz de consistencia	190
Apéndice 2: Registro de precipitación media mensual (mm) – Estaciones pluviométricas sintéticas.....	192
Apéndice 3: Registro de precipitación media anual (mm) para un periodo de 20 años.	213
Apéndice 4: Mapas de los parámetros superficiales de la sub cuenca del río Ichu	215
Apéndice 5: Mapa de zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del río Ichu	226



Resumen

En esta investigación se tuvo como objetivo de identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca de río Ichu. – Huancavelica, para lograr los objetivos planteados, se hizo el análisis multicriterio de parámetros superficiales en la sub cuenca del Río Ichu – Huancavelica, para identificar en potencial de recarga hídrica, en los que se incluye pendientes, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

Con el uso de sistemas de información geográfica se realizó una estimación cuantitativa, de potencial de recarga presente en el área de la sub cuenca. Utilizando algebra de mapas y la utilización de imágenes raster de cada una de las variables definidas.

De la sub cuenca del río Ichu, con los resultados obtenidos se puede decir que la cuenca puede ser categorizada como una sub cuenca con un moderado a muy alto potencial de recarga hídrica superficial, debido a que se muestra que una gran área de su superficie presenta una capacidad moderada, alta y muy alta posibilidad de infiltración de agua.

Los resultados obtenidos de las zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Ichu pueden servir como base de datos para siguientes investigaciones.

PALABRAS CLAVE: Sub cuenca, potencial, recarga hídrica, Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

The objective of this research was to identify the surface water recharge in the Ichu River sub-basin – Huancavelica, to achieve the stated objectives in which the multicriteria analysis of surface parameters was carried out in the sub-basin of the Ichu River – Huancavelica, to identify the potential for water recharge, which includes slopes, type of selo, vegetation cover, land use, geological structures, karst depressions, surface currents and local precipitation.

With the use of geographic information systems, a quantitative estimate was made of the recharge potential present in the sub-basin area. Using map algebra and the use of raster images of each of the defined variables.

The sub-basin of the Ichu river, with the results obtained, it can be said that the basin can be categorized as a sub-basin with a moderate to very high potential for surface water recharge, since it is shown that a large area of its surface has a moderate, high and very high capacity possibility of water infiltration.

The results obtained from the water recharge zones in the Ichu River sub-basin can serve as a database for the following investigations.

KEY WORDS: Sub basin, potential, water recharge, Geographic Information Systems.

Introducción

El recurso hídrico es un bien natural y necesario para el desarrollo del sector social, económico y ambiental, ya que cubre diferentes necesidades como el requerimiento biológico, uso doméstico e industrial, entre otros usos. Esto ha incurrido en que el recurso sea afectado por las actividades antrópicas que alteran su calidad, cantidad y su disponibilidad para ser aprovechada.

Existen diferentes factores biofísicos que se interrelacionan para determinar la zona de recarga hídrica como el clima, zona de vida, estratos geológicos, usos de la tierra, tipo de roca, la presencia de cobertura forestal, topografía, etc. Por lo tanto, esto se reflejará el estado de los cuerpos de agua circundantes a estas zonas.

Dentro de la investigación se desarrollaron los siguientes capítulos: Capítulo I Planteamiento del Problema en el cual se presentó la problemática actual del recurso agua, llegando a formularos la siguiente pregunta: ¿Es posible identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu - Huancavelica? y a establecernos como objetivo general de la investigación el: Identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu – Huancavelica.

Dentro del Capítulo II Marco teórico se desarrollaron los antecedentes internacionales, nacionales y locales de estudios de teledetección y zonas de recarga hídrica superficial en el cual emplean métodos espectrales de clasificación de datos.

Además, se definieron los conceptos primordiales en zonas de recarga hídrica y teledetección, para el buen entendimiento del trabajo de investigación.

Dentro del Capítulo III se estableció el tipo de investigación y la metodología para el desarrollo de la investigación, se desarrollaron también los requerimientos básicos para la elaboración del mapa de zonas de recarga hídrica superficial de la zona de estudio como son la elaboración de mapas temáticos de pendientes, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

Seguido del Capítulo IV donde se presentan los resultados, llegándose a obtener el mapa de zonas de recarga hídrica superficial de la subcuenca del río Ichu – Huancavelica.

Finalmente se encuentran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y Apéndices.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Se puede observar la problemática ambiental que se presenta en la provincia de Huancavelica y que es uno de los temas ambientales que cobran importancia y es relacionado con el agua.

La información existente suele ser muy general y carente de actualizaciones, se tienen varios antecedentes encontrados, de los cuales se desconocen datos reales como cambios en precipitación anual, temperatura, áreas deforestadas, densidad poblacional, etc.

Conocer las condiciones a las que se encuentra el área de la sub cuenca y también poder estudiarla desde un punto de vista hidrogeológico en el cual nos permite tener información disponible y actualizada para poder llevar una investigación adecuada.

Desde el punto de vista de la hidrología aquellas áreas alimentan los efluentes naturales, se conocen como zonas de recarga hídrica, para lograr su localización se requiere de un estudio técnico que determine sus ubicaciones geográficas.

El uso de agua sin restricciones ha crecido a nivel global a un ritmo de más del doble del aumento de la población en el siglo XX, hasta tal punto que en muchas regiones ya no es posible el suministro de un servicio de agua fiable. La presión demográfica, el ritmo de desarrollo económico, la urbanización y la contaminación están ejerciendo una presión sin precedentes sobre un recurso renovable pero finito, sobre todo en regiones áridas y semiáridas. La escasez de agua es un concepto relativo y dinámico, y puede aparecer a cualquier nivel de suministro o demanda, pero también es una construcción social: todas sus causas están relacionadas con la intervención humana en el ciclo del agua. Cambia con el tiempo a consecuencia de la variabilidad hidrológica natural, pero varía aún más en función de los modelos existentes de gestión, planificación y política económica (Agricultura, 2013).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Es posible identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la subcuenca del Río Ichu – Huancavelica?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el potencial de recarga hídrica superficial asociada al parámetro de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales en la subcuenca del Río Ichu - Huancavelica?

- ¿Es posible generar un mapa que represente las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del Río Ichu, mediante la integración de los parámetros superficiales con el uso de Sistemas de Información Geográfica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu - Huancavelica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el potencial de recarga hídrica asociada al parámetro de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales que presenta la sub cuenca Ichu – Huancavelica.
- Generar un mapa que represente las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del Río Ichu, mediante la integración de los parámetros superficiales con el uso de Sistemas de Información Geográfica.

1.4. Justificación

La sub cuenca del río Ichu – Huancavelica tiene una vital importancia, debido a que se encuentra en medio de la ciudad de Huancavelica y la relación directa es por parte de las autoridades como también de los ciudadanos y que así se puede asegurar el mantenimiento y conservación de los recursos naturales.

Los trabajos de investigación hidrogeología en el territorio nacional son escasos aún más en el territorio local, sin embargo, en la actualidad se está tomando una mayor importancia a estos tipos de investigación, como también en el campo laboral.

Los datos obtenidos de esta investigación podrán ser aprovechados para crear planes de manejo agrícolas y de conservación de acuíferos en el subsuelo.

El desarrollo de investigaciones sobre los recursos hídricos en diferentes zonas, aporta datos reales y demás detalles para la protección y recuperación de zonas que son devastadas en el tema agrícola.

Con la identificación de zonas de recarga hídrica potencial se puede crear planes estratégicos que puedan reducir los impactos de cambios climáticos extremos como las inundaciones o sequías.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Chávez, Flores, y Paiz (2017), desarrollaron su estudio en el Municipio de San Jorge, Departamento de San Miguel, con un área de 37.55 km², en el periodo comprendido de marzo a octubre de 2015. El objetivo principal fue caracterizar las principales zonas potenciales de recarga al acuífero, como también cuantificar su recarga, utilizando la metodología del balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky (2006), aplicado a la unidad de análisis que la constituye cada miembro geológico presente en la zona de estudio. Los datos generados corresponden a los coeficientes de las variables: infiltración básica por textura de suelo (K_{fc}), pendiente (K_p) y tipo de cobertura vegetal (K_v). Se realizaron pruebas de infiltración utilizando el método del doble anillo para caracterizar la infiltración básica en cada miembro geológico, además se recolectaron muestras de suelo para análisis físico de textura, densidad, punto de marchitez y capacidad de campo, desarrolladas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. El comportamiento de la recarga potencial, según los resultados del balance hídrico de suelos, demostró mayor recarga al acuífero para el miembro geológico s5'b de 454.40 mm y menor capacidad para el miembro geológico s3'a de 322.68 mm anuales. Con el uso de cartografía

digital, procesada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcMap 10.1 de ESRI, se compusieron mapas que representan la pendiente, áreas consideradas de recarga hídrica (miembros geológicos), uso del suelo y precipitación. Estas capas se superpusieron con el fin de obtener el mapa de la recarga potencial, a su vez se categorizó en tres clases que son: Baja (≤ 200 mm), Media (200 – 400 mm) y Alta (≥ 400 mm), obteniendo así un mapa de categorías con base a su potencial para recargar al acuífero. En el Municipio de San Jorge se estimó una recarga equivalente a 44.26 Mm³, la que ocurre de manera directa por precipitación. Este resultado puede variar en el espacio y tiempo, ya que las características físicas, uso del suelo y la escorrentía pueden provocar una disminución en la recarga. En el contexto de cuencas, la zona de estudio se encuentra dentro de la subcuenca de la quebrada El Tránsito, que desemboca en el río grande de San Miguel.

De acuerdo a Donis (2015), tuvo como objetivo de investigación, aportar a los procesos de planificación e investigación de la Municipalidad de Guatemala para el manejo de los recursos hídricos locales. La metodología utilizada en la microcuenca del Río Negro fue la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica diseñada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); que evalúa los factores biofísicos de pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso de la tierra. Para cada factor existe una ponderación de 1 a 5 donde 1 corresponde al valor más bajo del potencial de recarga, y este valor se asignó según las características específicas que determinan la recarga hídrica. Al obtener los valores ponderados se utilizó la

ecuación modificada para la determinación del potencial de recarga hídrica. Se obtuvo como resultado mapas elaborados con Arc Gis 10.0 como representación gráfica de cada factor. La microcuenca en estudio presenta cuatro potenciales de recarga hídrica, los cuales, son: alto, moderado, bajo y muy bajo que cubren un área de 3.63 %, 19.57 %, 20.25 % y 56.38% respectivamente del área total, lo cual, significa que existe un potencial bajo de recarga hídrica, sin embargo, existen áreas con potencial alto de recarga hídrica que a largo plazo con cuencas colindantes pueden asegurar el recurso hídrico en calidad y cantidad. Por lo que se recomienda que estas áreas deben considerarse como áreas prioritarias en los planes de manejo de cuencas bajo proyectos de conservación de recursos naturales para el resguardo de servicios ecosistémicos del municipio.

Coy (2015) en su investigación, tuvo como objetivo global identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, la cual es drenada por el río del mismo nombre. Para lograr los objetivos planteados se utilizó un modelo metodológico para identificar el potencial de recarga hídrica, basado en un análisis de evaluación multivariable en los que se incluyen las pendientes, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso del suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local. Con el uso de sistemas de información geográfica se realizó una estimación cuantitativa del potencial de recarga presente en el área de la subcuenca. Utilizando álgebra de mapas y la utilización de imágenes raster de cada una de las variables definidas, se obtuvo un mapa en el que se identifican las áreas potenciales de recarga. Los

resultados muestran una categoría para cada potencial de recarga, este mapa obtenido se denominó “zonas potenciales de recarga hídrica, en la Subcuenca del río Tzunutz”. Las categorías son: muy bajo (11.54%), bajo (23.85%), alto (23.02%), muy alto (12.62%). En el análisis de cada una de estas categorías, se evidencio un potencial de recarga moderado característico, por lo que se ha establecido un equilibrio dentro de la zona estudiada, según los parámetros analizados.

Guerrero (2006) en su investigación, argumenta que en gran parte de Colombia el tema de agua subterránea es un recurso ignorado o pobremente conocido, en otras es torpemente manejado, y solamente en algunos lugares del país se utiliza racionalmente. Más aún, el recurso hídrico subterráneo como parte del ciclo hidrológico suele ser desconocido en la evaluación y gestión del recurso agua, teniendo en cuenta que, en gran parte del territorio nacional, hay municipios donde su fuente de abastecimiento es agua subterránea, por ejemplo, de los cuatros municipios del departamento del Vichada, tres cuentan con acueductos que se abastecen de agua subterránea, sin mencionar el departamento de la Guajira. En el Estudio Nacional del Agua 2014 se identificaron y delimitaron 62 sistemas acuíferos en Colombia (IDEAM, 2015), por tanto, le da una importancia significativa a la conservación y protección de las zonas de recarga de aguas subterráneas.

2.1.2. A nivel nacional

Entre los antecedentes nacionales se identificaron estudios que guardan relación con el presente tema de estudio. Si bien es cierto, el tema de investigación no es reciente a nivel internacional, en nuestro país aún no contamos con estudios que hayan aplicado la metodología que se tendrá en cuenta para el estudio.

Arela (2014) realizó un estudio en Puno llamado “Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa” cuyos resultados fueron que el 39% de la microcuenca están en condiciones aptas para ser consideradas como una zona de recarga hídrica, por lo que puede ser alimentadora de aguas subterráneas para la parte baja de la microcuenca en cuestión y que a su vez, el manejo de estas zonas debe de ser de vital importancia ya que su vulnerabilidad aumenta con las actividades que se “Determinación del potencial de recarga hídrica de la cuenca del río Rímac según la metodología de Matus” Nima Medina, Franco Denilson Pág. 14 desarrollan y pueden acabar en la degradación total del recurso hídrico. La vulnerabilidad del recurso hídrico va aumentando a medida que se desarrollan las actividades en una zona y esto puede conllevar a que la oferta hídrica disminuya, generando problemas por las demandas de agua para consumo humano

Quispe (2019) en su estudio titulado “Relación entre la capacidad de infiltración y la capacidad de adaptación frente al efecto de disminución de la disponibilidad del recurso hídrico en la Quebraba Quilcayhuanca” encontró que las actividades que se realizan en un área tienen un fuerte impacto en el recurso

hídrico ya que estas afectan las condiciones naturales del lugar y algunos factores como la infiltración se ven disminuidos, generando problemas para la recarga hídrica y disminuyendo la disponibilidad del agua pero a su vez, algunas poblaciones están tomando medidas de adaptación para afrontar los problemas respecto al tema de agua.

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

2.1.3. A nivel regional

El Gobierno Regional de Huancavelica (2020) en su “Estudio hidrológico de la sub cuenca del río Ichu” tiene como objetivo afianzar la gestión de los recursos hídricos en las zonas altoandinas del área de influencia de la sub cuenca del río Ichu en la región de Huancavelica, se viene realizando la intervención de este recurso natural existente con la identificación y ubicación para la realización,

análisis y determinación de los estudios hidrológicos con el objetivo de contar con información y resultados de la disponibilidad de la capacidad hídrica para un buen uso y distribución adecuado, para la planificación e implementación a futuras obras hidráulicas y con ello beneficiar a la población que durante años vive con la esperanza de obtener mecanismos de siembra y cosecha del agua. De esta manera garantizar el uso eficiente del agua y con ello satisfacer necesidades básicas, además del crecimiento y desarrollo de la actividad agrícola y ganadera en nuestra región. La conservación y recuperación de los recursos hídricos es un tema que va tomando más importancia y relevancia y su escasez en cantidad, calidad y oportunidad es más notoria, incluso esto se refleja en el estrés hídrico que presentan algunos ríos de la costa peruana y en las sub cuencas alto andinas se aprecia claramente una acentuación del cambio climático, cambios en los patrones atmosféricos, procesos más acentuados en la desglaciación y contaminación por efectos de actividades industriales. Científicos sociales hablan de posibles guerras futuras por el acceso al agua, la sub cuenca del río Ichu no escapa a ello, frente a la oferta hídrica y los diversos usos de las demandas del agua existentes en la zona, obras de transvase, embalse, así como de las áreas de ampliación, surge la necesidad de efectuar una evaluación de recursos hídricos superficiales del río Ichu, específicamente en la jurisdicción del ámbito de la Administración Local de Agua - Huancavelica, para ello se ha seleccionado la sub cuenca de río Ichu y se ha permitido evaluar, cuantificar, su uso y aprovechamiento racional en cantidad y oportunidad del recurso hídrico y servirá como base para la planificación

hidrológica, es decir, como un medio necesario para formular, ejecutar y controlar la política de desarrollo en todos los sectores que estén directa o indirectamente relacionados con el uso y aprovechamiento del recurso agua y que se enmarque dentro la Ley N.º 29338 de recursos hídricos y su reglamento.

2.2. Bases Conceptuales

2.2.1. Cuenca Hidrográfica

Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas (Visión Mundial 2001). Las cuencas hidrográficas han sido consideradas desde tiempos remotos como las unidades o espacios geosociales y políticos más adecuados para la planificación y desarrollo, su mayor énfasis se ha orientado hacia temas de carácter hidrológico (Zury 2004). Es una unidad natural con límites definidos por la división geográfica hacia donde escurren las aguas, desde la parte más alta hasta el punto de salida del agua en la parte más baja (Cajina y Faustino 2007).

2.1.1.1. Zonas funcionales de una cuenca hidrográfica

En función de la dinámica hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

2.1.1.2. La zona de captación, de cabecera o cuenca alta

Son áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En

esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

2.1.1.3.La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media

Es una zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

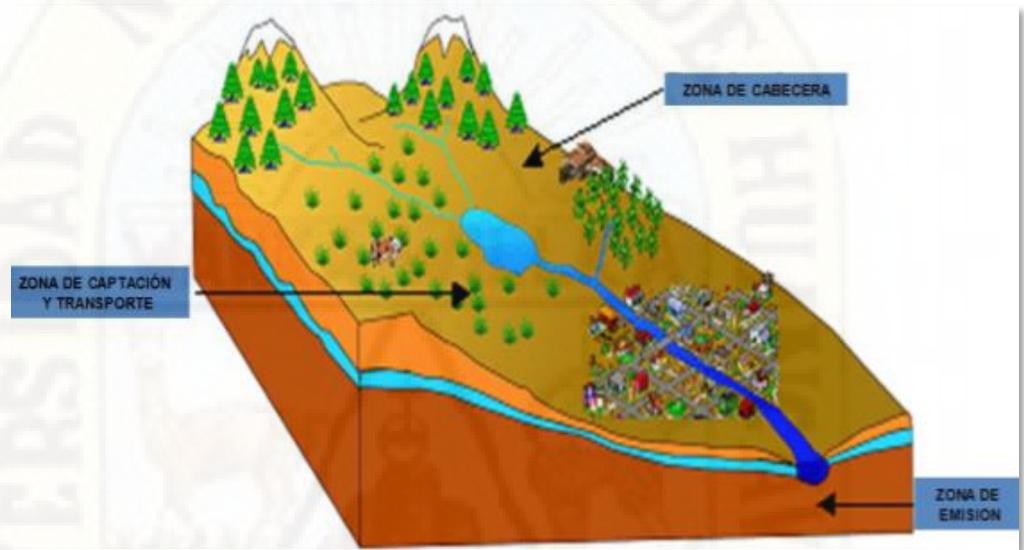
2.1.1.4.La zona de descarga, de emisión o cuenca baja

Es el sitio donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros (ver de esta misma colección Los humedales de México.Oportunidades para la sociedad, además de muy productiva para el uso

agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

Figura 1

Zonificación de la Cuenca Hidrográfica



Fuente: Cartilla técnica: ¿Qué es cuenca hidrológica? (2011)

2.1.1.5. Tipos de cuencas

a) Por su tamaño geográfico

Las cuencas hidrográficas pueden ser:

- ✓ Grandes
- ✓ Medianas
- ✓ Pequeñas

b) Por su ecosistema

Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural así tenemos:

- ✓ Cuencas áridas
- ✓ Cuencas tropicales
- ✓ Cuencas frías
- ✓ Cuencas húmedas

c) Por su objetivo

Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse:

- ✓ Hidroenergéticas
- ✓ Para agua poblacional
- ✓ Agua para riego
- ✓ Agua para navegación
- ✓ Ganaderas
- ✓ De uso múltiple

d) Por su relieve

Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse:

- ✓ Cuencas planas
- ✓ Cuencas de alta montaña

- ✓ Cuencas accidentadas o quebradas

e) Por la dirección de la evacuación de las aguas

Existen tres tipos de cuencas:

- ✓ Exorreicas o abiertas: drenan sus aguas al mar o al océano.
- ✓ Endorreicas o cerradas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.

Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto del Sáhara y en muchas otras partes (Ordoñez, 2011)

2.1.1.6.División de una cuenca hidrográfica

Un tema de permanente discusión es lo referente a los conceptos de cuenca, sub cuenca y micro cuenca. El punto de partida para dicho análisis es el grado de ramificaciones de los cursos de agua que pueden existir; así por ejemplo se pueden considerar como micro cuencas a los cursos de agua de primer, segundo y tercer orden; a sub cuencas, los cursos de agua de cuarto y quinto orden y a cuencas los cursos de agua de sexto orden y más. El número de orden de un curso de agua o río se inicia a partir del cauce más pequeño y teniendo como punto de referencia los límites definidos por el “Divortium Acuarum”. Desde el punto de vista práctico en algunos casos el grado de ramificación del curso de agua puede ser rebasado

por la magnitud del área de cada una de sus unidades, tal es el caso de la cuenca del río Amazonas en que las sub cuencas que la forman (Marañón, Huallaga, etc.), son realmente unas “cuencas” cada una de ellas, pues la magnitud de su área es tan grande que resultaría muy dificultoso su análisis en base al grado de ramificaciones de sus cursos de agua. Es decir las divisiones en cuencas o micro cuencas, deben hacerse con criterio técnico y práctico (Universidad Nacional Agraria la Molina, 2016).

Tabla 1

División de una Cuenca Hidrográfica

Unidad geográfica	Área (miles de has)
Cuenca	> 50
Sub cuenca	5 – 50
Micro cuenca	< 50

Fuente: Manejo y gestión de cuencas hidrográficas, Universidad Nacional Agraria la Molina (2016).

Figura 2

División de una cuenca hidrográfica: Sub cuencas y Micro cuencas



Fuente: División de una cuenca hidrográfica (Vision, 2011)

2.1.1.7. Manejo integral de cuencas

El manejo integrado de cuencas hidrográficas es el conjunto de acciones que se realizan para proteger, conservar, utilizar, aprovechar, manejar y rehabilitar adecuadamente los recursos naturales en las cuencas hidrográficas de acuerdo a los enfoques sistémico, socioambiental, integral, multi e interdisciplinario, multi e intersectorial del agua como recurso integrador de la cuenca. Promueve buscar la sostenibilidad ecológica, social y económica de los recursos naturales en el ambiente en el contexto de la intervención humana, sus necesidades y

responsabilidades del riesgo a la ocurrencia de desastres, principalmente de origen hidrometeorológico (Hernández J. E., 2013) .

2.1.1.8.Gestión de cuencas

El proceso de gestión de cuencas, incluye el concepto de manejo integral de cuencas, pero además enfatiza en los procesos y acciones (la gestión) necesarias para lograr los recursos humanos, económicos, logísticos y administrativos requeridos para lograr ese manejo integral o manejo de la cuenca (Jiménez 2010a), donde el objetivo de manejo de cuencas es el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, en especial el agua (Ramakrishna 1997). La gestión tiene como base un conjunto de procesos y acciones, denominado ciclo de la gestión de cuencas que incluye el reconocimiento de la cuenca, la identificación y análisis de los actores e informantes claves, el diagnóstico, el ordenamiento del territorio, el establecimiento de la línea base, la elaboración e implementación del plan de gestión de cuenca, los mecanismos de gestión financiera y administrativa, el sistema de monitoreo y evaluación, así como la sistematización y comunicación de las experiencias (Hernández J. E., 2013).

2.1.1.9.La cuenca como sistema

El elemento más importante en definir a la cuenca como unidad de planificación y de cogestión es que la misma constituye un sistema. La cuenca hidrográfica concebida como un sistema significa que la cuenca es un todo, funcionalmente indivisible e interdependiente, conformada por las interrelaciones

dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas. Considerando aspectos como; social, económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico, componentes que interaccionan en el tiempo y en el espacio (Hernández J. E., 2013).

2.1.1.10. Zonas de recarga hídrica

La recarga hídrica es el proceso por el cual se incorpora agua a un acuífero. El agua que alimenta el acuífero proviene principalmente de la infiltración de la lluvia y las aguas superficiales, pero también puede provenir de otro acuífero. El área donde ocurre la recarga a un acuífero se llama zona de recarga y son terrenos donde la capacidad de infiltración es elevada (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

Factores que afectan la recarga hídrica

Los efectos benéficos de la preservación de las zonas de recarga hídrica no son exclusivas del bosque sino también la recarga hídrica depende de la precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos (Iarna, 2006).

Asimismo, depende de la permeabilidad del suelo, de su contenido de humedad, intensidad de lluvia y el patrón de drenaje de la cuenca. A su vez, se puede mencionar la pendiente de la superficie como un factor importante, ya que, los terrenos con mayor inclinación favorecen la escorrentía superficial; que, por lo contrario, los terrenos que posean poca pendiente retienen por más tiempo el agua lo que favorece la infiltración (Matus, Faustino, & Juménez, 2009).

Existen una serie de factores que inciden en el proceso la recarga hídrica a los acuíferos, los cuales son los siguientes:

a) La Escorrentía

Es el flujo de agua que circula por la superficie del suelo y que proviene principalmente de la lluvia, el deshielo o el riego. Una vez el suelo se satura de agua, y por lo tanto se supera su capacidad de almacenar agua, la lluvia provoca escorrentía. Este exceso de agua, en forma de escorrentía superficial fluye aguas abajo, alimentando arroyos, quebradas, ríos, lagos, embalses y océanos. Cuando la intensidad de la lluvia es fuerte y cae en un periodo corto de tiempo, como sucede con las tormentas tropicales, el suelo no tiene el tiempo suficiente de infiltrarlo y hay mayor escorrentía. Si hay mayor escorrentía, la recarga de agua a los mantos acuíferos será menor. En resumen, la escorrentía está relacionada con la capacidad de infiltración del suelo y la precipitación; pero además, hay otros factores que la afectan de forma importante como la topografía, la cobertura vegetal, el manejo del suelo, y la humedad (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

b) La Topografía

Se define como la representación del relieve del terreno. La topografía influye en la recarga hídrica pues dependiendo de la pendiente del terreno, varía la velocidad a la que discurre el agua y el tiempo que el agua está en contacto con la superficie del suelo. Las pendientes altas favorecen la escorrentía superficial y

reducen la infiltración del agua; caso contrario se da con las pendientes muy bajas (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

c) La cobertura vegetal

Se refiere al tipo de vegetación existente en la superficie como, por ejemplo, bosques, manglares, pastizales y cultivos agrícolas. Cuando el suelo se encuentra cubierto, se disminuye la escorrentía superficial y se facilita el proceso de infiltración del agua. Las gotas de lluvia pueden parecer inofensivas, pero al impactar contra la superficie de forma directa (si no hay cobertura), su fuerza compacta el suelo y perjudica su capacidad de infiltración. La cobertura (por ejemplo, las copas de los árboles o los matorrales) reciben las gotas de lluvia y la retienen en sus hojas, copas y ramas liberándola más lentamente y dando tiempo al suelo para infiltrarla. Si un bosque o área forestal es reemplazado por pastizales y cultivos, se presenta un aumento de la escorrentía superficial, erosión del suelo y una reducción considerable en la evapotranspiración, lo que desfavorece el proceso de recarga. Los bosques tropicales son capaces de retener 1350 ton de agua/ha/día. Solo el hecho de reforestar un 10% de una hectárea talada, implica reducir la escorrentía en un 2% (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

d) El Suelo

Es la parte superficial de la corteza terrestre. Sus características como la textura, la densidad, el grado de saturación (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración, pueden resultar en suelos impermeables y compactados que

impiden o dificultan la infiltración, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga. Por ejemplo, los suelos arcillosos, dificultan la infiltración, mientras que los suelos arenosos, con tamaño de agregados o partículas gruesas o mediamente gruesas, poseen una elevada capacidad de infiltración (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.2. El Manejo del Suelo

Afecta la escorrentía, la evaporación directa de la superficie del suelo, la humedad del suelo disponible para las plantas dentro del alcance de sus raíces y la profundidad a la cual pueden penetrar las raíces⁹. Un suelo bien manejado a través de prácticas de conservación del suelo, retiene mayor humedad y favorece la infiltración y por tanto la recarga hídrica de los acuíferos (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.3. Los Estratos Geológicos

Son las capas horizontales de sedimentos acumulados durante un espacio de tiempo continuo. Las partes más superficiales de los estratos suelen ser el suelo, mientras que la capa más profunda se denomina la base, mientras más profundos sean los estratos son más antiguos. La disposición de los diferentes materiales geológicos en el suelo y subsuelo influye directamente en la recarga hídrica (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.4. El Clima

Se refiere a la cantidad de lluvia y la temperatura típica de cada región específica. El clima influye directamente en el agua que se puede llegar a infiltrar en un acuífero, así como en los procesos de la evaporación del agua. Por ejemplo, durante el verano, o época seca, hay menor infiltración del agua, así como una mayor evaporación (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.5. La Evapotranspiración

Se refiere a la cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de dos procesos: la evaporación, que es cuando el agua se evapora desde el suelo húmedo y la transpiración que consiste en la absorción del agua infiltrada en el suelo por parte de las raíces de las plantas; quedando una parte retenida para el aprovechamiento de las especies vegetales, mientras que la mayor parte es transpirada por las plantas. Estos procesos afectan la recarga hídrica ya que disminuye la cantidad de agua proveniente de la precipitación que será infiltrada (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.6. Clasificación de las zonas de recarga hídrica

Según (Faustino 2006), citado por Matus (2007) que, de acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, las zonas de recarga hídrica se pueden clasificar en:

a) Zonas de recarga hídrica superficial

Corresponden a prácticamente toda la cuenca hidrográfica, excepto las zonas totalmente impermeables. Después de cada lluvia, la zona de recarga hídrica superficial se humedece y origina escorrentía superficial, dependiendo de las condiciones de drenaje (relieve del suelo y saturación). La medición de ese caudal se realiza en el cauce principal del río y se conoce como descarga superficial o caudal de escorrentía superficial (Oscar Matus, 2009).

b) Zonas de recarga hídrica subsuperficial

Corresponden a las zonas de la cuenca donde los suelos tienen capacidad para retener el agua o almacenarla superficialmente sobre una capa impermeable que hace que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje. Es la ocurrencia de caudales en la red hídrica, aun cuando las lluvias hayan finalizado, que dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua proviene de bosques (Oscar Matus, 2009).

c) Zonas de recarga hídrica subterránea

Corresponden a las zonas de la cuenca (sitios planos o cóncavos y rocas permeables) donde el flujo vertical de la infiltración es significativo; esta es la que forma o alimenta los acuíferos. Un aspecto importante en esta zonificación es la

conexión entre acuíferos y la recarga externa (que viene de otra cuenca). Para la evaluación se pueden considerar dos métodos: directo (mediante sondeos, bombeos y prospección geofísica) e indirecto (mediante el balance hidrogeológico) (Oscar Matus, 2009).

d) Zonas de recarga hídrica subterránea

Corresponden a zonas de la cuenca que presentan fallas geológicas profundas o donde el balance hidrogeológico genera pérdidas por percolación profunda (Oscar Matus, 2009).

2.1.7. Servicios ecosistémicos de las zonas de recarga hídrica

De acuerdo a Pérez, Navarro, y Saborio (2018), las zonas de recarga hídrica y los acuíferos proveen una serie de servicios ecosistémicos hídricos fundamentales para el bienestar humano y de los propios ecosistemas, entre los cuales se encuentran:

a) Servicios de Abastecimiento

Los acuíferos proveen un suministro seguro y rentable del agua para el consumo humano, las actividades agropecuarias y los ecosistemas acuáticos (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

b) Servicios de Regulación

Los acuíferos y zonas de recarga ayudan a la regulación del agua y del ciclo hidrológico. Las zonas de recarga en los bosques previenen la erosión y reducen los riesgos de inundaciones. Los acuíferos almacenan agua durante los periodos lluviosos y la liberan lentamente en los periodos secos o de estiaje. Así también facilitan la regulación de los microclimas y mantienen los niveles de aguas subterráneas. Las zonas de recarga ayudan en la purificación del agua que pasa a través del suelo (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

c) Servicios de Apoyo

En las zonas de recarga hídrica existen hábitats riparios, hábitats de bosques tropicales, bosques de coníferas, bosque nuboso, manglares, entre otros (Pérez, Navarro, & Saborio, 2018).

2.1.8. Ciclo hidrológico

El agua en la Hidrosfera se encuentra en sus tres estados físicos: sólido, líquido y gaseoso. Es en estado líquido cuando tiene mayor interés para el hidrólogo ya que en esta forma está la lluvia, los ríos, los lagos y también las aguas subterráneas, que son el objeto de estudio de la hidrogeología (Santamarta, 2013).

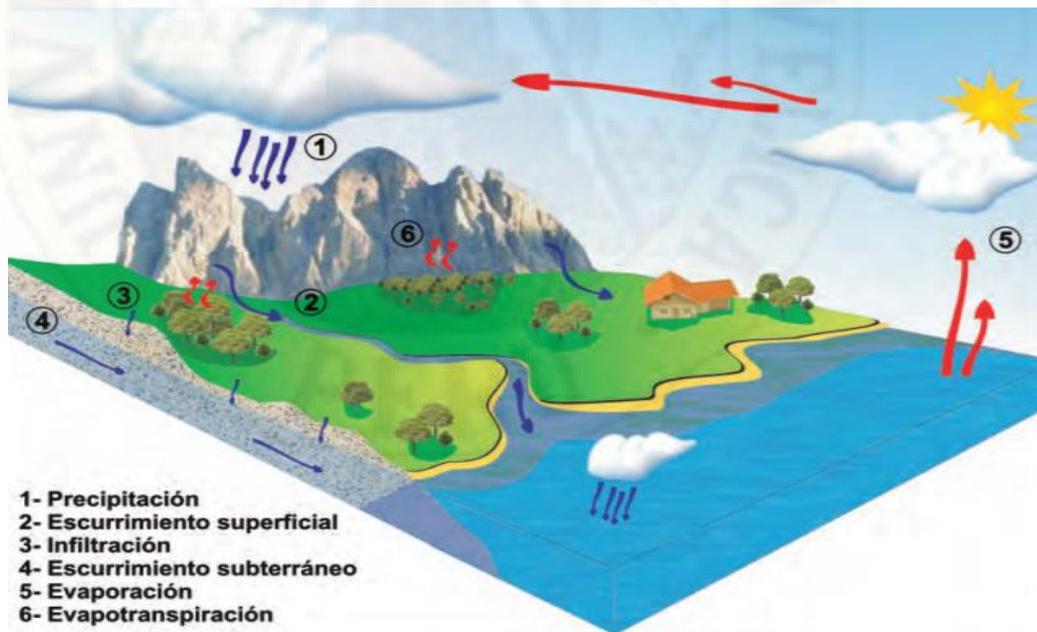
El concepto de Ciclo Hidrológico es claro: a grandes rasgos, en la atmósfera el agua sufre un movimiento ascendente desde los océanos por evaporación y un movimiento descendente sobre los continentes por las

precipitaciones, con el correspondiente transporte atmosférico y continental. La cantidad de agua de la corteza terrestre se ha mantenido prácticamente constante, al menos durante los últimos tiempos geológicos (Santamarta, 2013).

Del agua que alcanza la superficie del terreno (precipitación), una parte queda retenida en charcos (retención superficial) y es evaporada en su mayor parte (evaporación). Otra parte circula por la superficie y la parte epidérmica del terreno por efecto de la gravedad, constituyendo la escorrentía superficial, que acaba en torrentes, ríos, lagos o en el mar, de donde será evaporada de nuevo (Santamarta, 2013).

Figura 3

Ciclo Hidrológico



Fuente: Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos por Juan Santamarta (2013).

2.1.9. Recarga hídrica y la actividad antrópica

Las zonas de recarga hídrica son una parte importante del sistema hidrológico de una cuenca hidrográfica, y al presentarse cualquier fenómeno que altere su estado provocará un efecto negativo que se verá reflejado en los acuíferos y por consiguiente, en el aprovechamiento de la cantidad y calidad de agua, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso (Stormwater, 2004).

Los impactos potencialmente adversos del desarrollo desmedido dentro de la dinámica de la recarga hídrica han sido durante mucho tiempo señalados; entre ellos el crecimiento demográfico, urbanismo, deforestación, la expansión de fronteras agropecuarias, entre otros. Estos factores han ido reduciendo la permeabilidad de los suelos a través de la perturbación y compactación, con ello, reducen la tasa de recarga del agua subterránea. Estas reducciones en la recarga hídrica de las aguas subterráneas pueden tener impacto negativo en arroyos, humedales y otros cuerpos de agua reduciendo el volumen, calidad y la velocidad del flujo de agua base de los mismos, también afectando negativamente el rendimiento de los pozos de abastecimiento de agua (Stormwater, 2004).

2.1.10. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica, abreviados como SIG, son sistemas basados en computadora que han sido desarrollados y diseñados específicamente para manejar información geográfica. Además, permiten al

usuario capturar información espacial, almacenar, realizar análisis, manipulación y producción de mapas como salida. Dado que la información espacial se puede manejar de manera eficiente por medio de métodos de acceso espacial a una base de datos, estos sistemas son capaces de contener un enorme rango y cantidad de información (Ali, y otros, 2017) .

En los modelos de erosión, la implementación SIG admite una gestión eficiente de los datos georeferenciados, el cálculo de los parámetros de entrada para diferentes escenarios, el análisis espacial de los resultados del modelado y la visualización efectiva. Así también, se incorporan herramientas para el análisis estadístico y el modelado del proceso de erosión capturado por datos obtenidos por teledetección (Ali, y otros, 2017).

2.1.11. Funciones de un SIG

a) Incorporación de la información

Se incluye aquí no solo el paso de datos geográficos a una forma analítica (digitalización), sino también la integración en el sistema de las bases de datos. Previamente, hay que realizar un análisis lo más exhaustivo posible de la información necesaria para su correcta estructuración en función de las necesidades del proyecto (Morea & Huerta).

b) Gestión de la información

Toda la información incorporada debe poder ser gestionada por el sistema realizando búsquedas temáticas, espaciales y con capacidad de selección multicondicionadas para su posterior análisis. La gestión se refiere tanto a datos geográficos como alfanuméricos (Morea & Huerta).

c) Análisis de la información

Esta función es la específica de los SIG y es su elemento característico. A partir de la preparación de los datos (apartados A y B) se utilizan procedimientos de análisis territorial para la obtención de resultados. En realidad, son modelos resultantes del tratamiento inteligente de la información, condicionados por las hipótesis contempladas. Los resultados pueden ser más o menos reales en función de la bondad de los datos y de la veracidad de las hipótesis utilizadas (Morea & Huerta).

d) Interrelación con el usuario

Los puntos anteriores deben tener su finalización en un relación práctica e intuitiva con el usuario del sistema, de tal forma que pueda elegir la salida más adecuada de los datos utilizados y de los resultados obtenidos en relación con los fines perseguidos. Un SIG debe tener capacidad para ofrecer salidas tales como mapas, gráficos, tablas resumen y en cualquier soporte (papel, pantalla, exportación de datos. etc.) (Morea & Huerta).

2.1.12. Componentes de un SIG

Como ya hemos visto, en su concepción actual los SIG son sistemas complejos que integran una serie de distintos elementos interrelacionados. El estudio de todos y cada uno de estos elementos es el fundamento para el estudio global de los Sistemas de Información Geográfica, y de ese modo se aborda a lo largo de este libro, mostrando las propias características de cada elemento y los conceptos necesarios para entender las relaciones entre ellos (Olaya, 2014).

Otra forma distinta de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen. Cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto:

a) Datos

Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG (Olaya, 2014).

b) Métodos

Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos (Olaya, 2014).

c) Software

Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores (Olaya, 2014).

d) Hardware

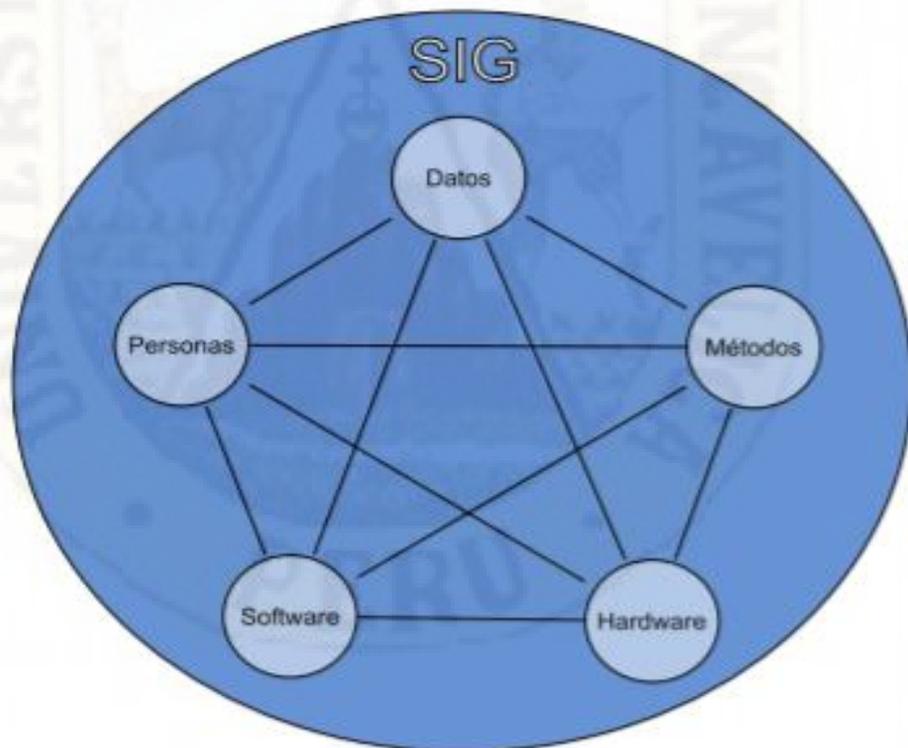
El equipo necesario para ejecutar el software (Olaya, 2014).

e) Personas

Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG (Olaya, 2014).

Figura 4

Elementos que forman el Sistema SIG



Fuente: Sistemas de información geográfica de Olaya (2014).

2.1.13. Fuentes de abastecimiento de agua

Las fuentes de abastecimiento de agua o zonas de descarga, son los espacios por donde afloran las aguas subterráneas como los manantiales, quebradas, y ríos. Son la evidencia más factible del funcionamiento del agua subterránea, debido a que representan la fase final del recorrido del flujo subterráneo, al regresar el agua a la superficie (Peñuela, 2013)

Las fuentes de agua superficial son la base para el desarrollo de las actividades productivas, que se llevan a cabo en los asentamientos poblacionales. Sin embargo, son esas mismas actividades las que deterioran y alteran la calidad y cantidad del agua de dichas fuentes; de forma natural mediante el arrastre de sedimentos y materia orgánica, y de manera antrópica por las descargas residuales domésticas, efluentes industriales y escorrentía agrícola. Esto expone a un grave riesgo a la salud pública de un lugar o los lugares que están dentro y fuera de su área de influencia directa (Tapia, 2012).

2.1.14. Estrategias de manejo sustentable de zonas potenciales de recarga hídrica y recursos hídricos

Las estrategias son un conjunto de decisiones potenciales o condicionales que delimitan las acciones a realizarse, tomando en cuenta todos los escenarios posibles que pueden presentarse en el futuro. La definición de una estrategia, consiste en crear un listado de todas las situaciones a las que se podría llegar para poder seleccionar la decisión que intentará resolver cada una de ellas. Sin

estrategias, no se puede pasar a la acción (Baena, 2015). Cualquier tipo de investigación debe ser planificada y diseñada siguiendo fundamentos científicos. Por lo cual, se requieren estrategias claras sobre las interrogantes que se buscan responder, los objetivos de la investigación y el diseño deben estar aclarados y los pasos metodológicos a seguir deben ser detallados. De igual manera, se debe definir claramente el tipo de datos que se coleccionarán y la forma en cómo se analizarán (Castillo y Peña-Modragón, 2015) . Con estas consideraciones, el manejo del recurso hídrico es uno de los desafíos prioritarios que deben ser atendidos y planificados estratégicamente. Las alternativas técnicas para el manejo de las zonas productoras de agua son varias, sin embargo, la dificultad que suele encontrarse es que los dueños de las tierras no aceptan aplicar medidas que representen una inversión económica adicional a sus actividades, reduciendo sus ingresos. Esto origina, entre otras disyuntivas, la definición y negociación de pagos (incentivos), compensaciones y hasta compra de terrenos, especialmente cuando se tiene la certeza de haber encontrado una zona de recarga importante que abastece de agua a una población o es suministrada para otros usos importantes (Faustino, 2007).

2.1.15. Satélite LANDSAT 8

Antes de 1972, la idea de utilizar datos de satélite para la vigilancia terrestre, la cartografía o la exploración era un concepto visionario. Hecho que da origen al Programa Landsat, el cual se constituye en una serie de misiones de

observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). El programa Landsat ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta. Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio. Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada; de manera general cada pixel en su imagen tiene un tamaño con el que se podría cubrir un campo de béisbol. En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multiespectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores (Ariza, 2013).

2.1.15.1. Diferencias y semejanzas de Landsat 8

El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Ariza, 2013).

Las bandas espectrales del sensor OLI, aunque similares a el sensor Landsat 7 ETM +, proporcionan una mejora de los instrumentos de las misiones

Landsat anteriores, debido a la incorporación de dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. Esto proporciona información más detallada sobre la presencia de características tales como las nubes, agua y nieve. Por otra parte el sensor TIRS recoge dos bandas espectrales en longitudes de onda incluidas por la misma banda en los anteriores sensores TM y ETM+ (Ariza, 2013).

Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azulprofundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Tabla. 2). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza, 2013).

Tabla 2*Distribución de las bandas en OLI y TIRS*

	Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 – Aerosol costero	0.43 – 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 – 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 – 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 – 0.67	30
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
	Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 – 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 – 1.38	30
	*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

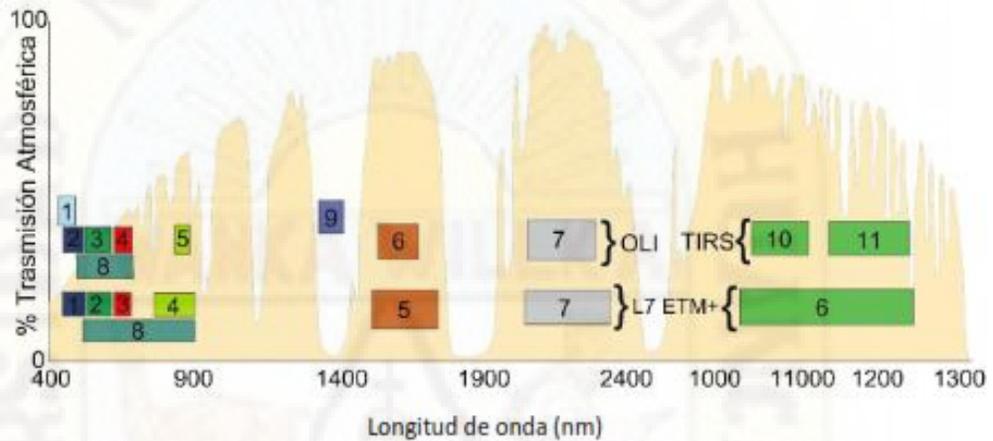
Fuente: Descripción y corrección de productos Landsat 8 (2013).

Nota: * Las bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a remuestrear a 30 metros.

Figura 5

Ancho de banda para los sensores OLI y TIRS en Landsat 8 y EMT + en Landsat

7



Fuente: Descripción y corrección de productos Landsat 8 (2013).

2.1.16. Sensor OLI

El sensor Operational Land Imager (OLI) avanza en la tecnología de sensores Landsat, utilizando un enfoque demostrado ya por el sensor Advanced Land Imager ubicado en el satélite experimental de la NASA Observing- 1 (EO-1). En el comienzo los satélites Landsat estaban equipados con sensores "whiskbroom" los cuales empleaban espejos de exploración como instrumentos visión para barrer el campo espectral a través de un ancho de banda superficial y transmitir la luz a unos detectores. A diferencia del OLI, el cual utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías larga de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su

respectivo ancho de banda. El diseño del "pushbroom" lo hace un instrumento más sensible proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles (Fig. 5). Sus imágenes tienen una resolución espacial de 49 pies (15 m) pancromáticas y 98 pies (30 metros) (incluido el visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta) a lo largo de 115 millas (185 kilómetros) de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra mientras que proporciona una resolución suficiente como para distinguir las características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo (Ariza, 2013).

Todas las bandas del sensor OLI se pueden adquirir en 12 bits de resolución radiométrica, 8 bandas serán de 30 metros y 1 de las bandas, la banda pancromática, es de 15 metros.

Tabla 3

Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor OLI

N° Banda	Descripción	Ancho de banda (nm)	Centro de tolerancia (±nm)	Mínimo inferior (nm)	Máximo superior (nm)
1	Aerosol costero	443	2	433	453
2	Azul	482	5	450	515
3	Verde	562	5	525	600
4	Rojo	655	5	630	680
5	NIR	865	5	845	885

N° Banda	Descripción	Ancho de banda (nm)	Centro de tolerancia (\pmnm)	Mínimo inferior (nm)	Máximo superior (nm)
6	SWIR1	1610	10	1560	1660
7	SWIR2	2200	10	2100	2300
8	Pancromático	590	10	500	680
9	Cirrus	1375	5	1360	1390

Fuente: Descripción y corrección de productos Landsat 8 (2013).

2.1.17. Sensor TIRS

Todo en la Tierra emite radiación térmica infrarroja, termino comúnmente conocido como calor. La física nos dice que la cantidad de la radiación emitida es proporcional a la temperatura del objeto. El sensor térmico infrarrojo (TIRS) fue añadido a la carga útil del LDCM cuando se hizo evidente que los gestores de los recursos hídricos se basaban en la medición de alta precisión de la energía térmica de la tierra obtenidas por los predecesores del LDCM – el TM del satélite Landsat 5 y Enhanced Thematic Mapper – Plus ETM+ del Landsat 7 – con el fin de hacer un seguimiento del uso de la tierra y el agua. La decisión de añadir el sensor TIRS se hizo después de que el diseño de la misión se había iniciado. Los ingenieros tenían menos de cuatro años para diseñar y construir TIRS por lo que recurrieron a una nueva tecnología desarrollada por la NASA llamada Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs) (Ariza, 2013).

Los satélites Landsat anteriores miden la temperatura superficial del suelo utilizando una sola banda térmica para detectar longitudes de onda largas de la luz emitida por la superficie de la tierra. Los QWIPs en el TIRS sin embargo, detectan dos segmentos del espectro infrarrojo térmico, ambos incluidos dentro de una ventana de transmisión atmosférica, con el fin de producir mejores estimaciones de la temperatura superficial (Ariza, 2013).

Al igual que el sensor OLI, el TIRS es también un sensor “Pushbroom” con un 115-millas (185 kilómetros) de campo de visión (Cross-track). Con una resolución espacial de 328 pies (100 metros) de ancho, esta resolución espacial del TIRS está diseñada para captar las mediciones de consumo de agua en los campos riego, particularmente a través de las grandes llanuras de los Estados Unidos (Ariza, 2013).

Tabla 4

Rangos espectrales y tamaños de pixel de las bandas en el sensor TIRS

N° banda	Descripción	Ancho de banda (nm)	Centro de tolerancia (±nm)	Mínimo inferior (nm)	Máximo superior (nm)
10	Thermal 1	10800	200	10300	11300
11	Thermal 2	12000	200	11500	12500

Fuente: Descripción y corrección de productos Landsat 8 (2013).

2.1.18. Hidrogeología

La hidrogeología es una rama del conocimiento que se basa y utiliza el concurso de muchas y muy variadas disciplinas, una de las principales es la geología ya que son precisamente las formaciones geológicas las que constituyen el medio donde se almacena y se mueve el agua subterránea. Sin un conocimiento básico de ciertos aspectos de la geología es imposible un estudio de los recursos en aguas subterráneas y mucho menos su explotación racional (Vélez, 1999).

2.2. Hipótesis

2.2.1. Hipótesis general

Mediante el análisis de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu, esta investigación será capaz de identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del río Ichu del departamento de Huancavelica.

2.3. Variable

2.3.1. Variable única

Identificación de las zonas de recarga hídrica superficial mediante el análisis de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo

de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la subcuenca Ichu.

2.4. Definición de Términos

Fuentes hídricas superficial Las aguas superficiales son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo. El agua superficial se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas

Cuenca Hidrográfica Una cuenca hidrográfica de un río es la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos

Sub cuenca Superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos, hacia un determinado punto de un curso de agua, generalmente un lago o una confluencia de ríos.

Manejo de cuenca Participación comunitaria, restauración de cuenca y microcuenca, utilizadas para consumo humano y para protección legal de las zonas de recarga.

Cobertura vegetal Escorrentía, estratos, estructura, infiltración, estimación, balance, conservación y restauración.

Ciclo Hidrológico Balance hídrico uso de suelo cuencas hidrográficas.

Palabras clave: calidad del agua, disponibilidad, Manejo de cuencas, recurso hídrico, zonas prioritarias.

Hidrogeología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivo

Satélite LANDSAT 8 Landsat 8 es el octavo satélite del Programa Landsat, una colaboración entre la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Es el programa de imágenes de la Tierra más largo en la historia.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

ENGRH (Estrategia Nacional para la Gestión de los Recursos Hídricos)

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales)

ANA (Autoridad Nacional del Agua)

USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos)

LDCM (Landsat Data Continuity Mission)

OLI (Operational Land Imagen)

TIRS (Termal Infrared Sensor)

2.5. Operacionalización de la Variable

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, hubo la necesidad de operacionalizarla a través de una variable y de los indicadores de la misma.

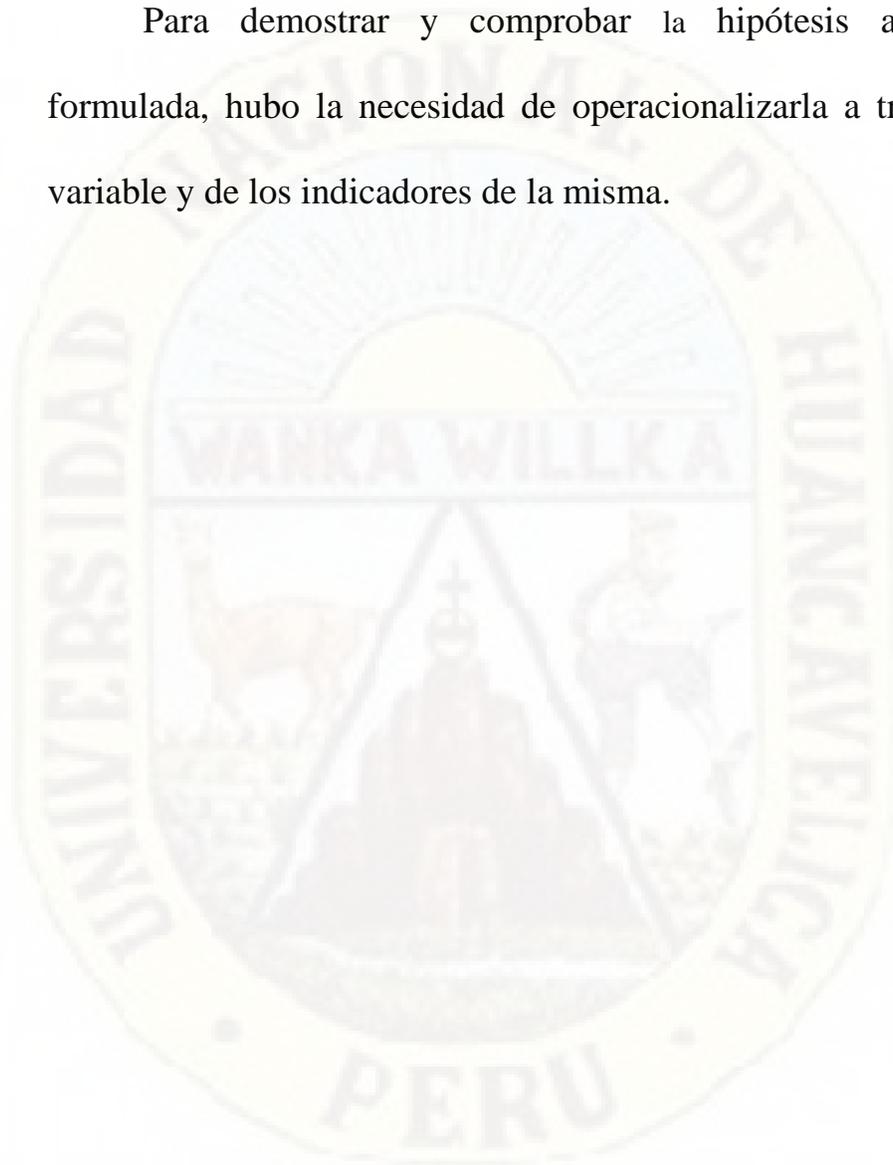


Tabla 5

Operacionalización de la Variable

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medición
Identificación de las zonas de recarga hídrica superficial mediante el análisis de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu.	<p>La recarga hídrica es el proceso por el cual se incorpora agua a un Acuífero. El agua que alimenta el acuífero proviene principalmente de la infiltración de la lluvia y las aguas superficiales, pero también puede provenir de otro acuífero.</p> <p>El área donde ocurre la recarga a un acuífero se llama zona de recarga y son terrenos donde la capacidad de infiltración es elevada.</p>	<p>Mediante el análisis multicriterio se realizará los mapas de los parámetros establecidos en el modelo de aplicación y después de acuerdo a la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica se elaboraran los mapas de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales, para obtener el mapa de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del rio Ichu – Huancavelica.</p>	Identificación de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del rio Ichu – Huancavelica	<p>Mapa de pendiente</p> <p>Mapa de cobertura vegetal</p> <p>Mapa de precipitación local</p> <p>Mapa de tipo de suelo</p> <p>Mapa de uso de suelo</p> <p>Mapa de depresiones kársticas</p> <p>Mapa de corrientes superficiales</p>	Raster

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La investigación es aplicada, ya que, está muy relacionada con la investigación básica, debido a que en base a los resultados teóricos es posible el avance de las aplicaciones prácticas. Muestra de ello es que toda investigación aplicada contiene una fundamentación teórica. A pesar de ello, en la investigación empírica, lo importante para el investigador son los efectos prácticos de su estudio (Escudero & Cortez, 2018).

3.2. Nivel de Investigación

La investigación, reúne características de un nivel descriptivo, que, de acuerdo a Hernández, Fernández, & Baptista (2014), busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

3.3. Método de investigación

3.3.1. Método Científico - No experimental

Según Hernández, Fernández, & Baptista (2014), podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos.

3.4. Diseño de investigación

3.4.1. No experimental - Transversal

Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población presenta un área definida de 1379.1764 km² correspondiente a la sub cuenca del Río Ichu, departamento de Huancavelica.

3.5.2. Muestra

La sub cuenca del Río Ichu constituidos por su pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

3.5.3. Muestreo

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos de la presente investigación son:

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Análisis documental: Esta técnica consistió en la búsqueda puntual de información relacionada al trabajo de investigación, la información fue recolectada a través de libros, boletines, revistas, folletos, y tesis, como son la guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica y como fuente secundaria bases de datos SIG para la elaboración de los mapas necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación.

Check – list: Esta técnica fue utilizada para tener en cuenta todos los datos necesarios para la elaboración de los mapas de pendiente, tipo de suelo,

cobertura vegetal, uso de suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Se muestra la descripción general de los instrumentos de recolección de datos utilizados para el desarrollo del trabajo de investigación.

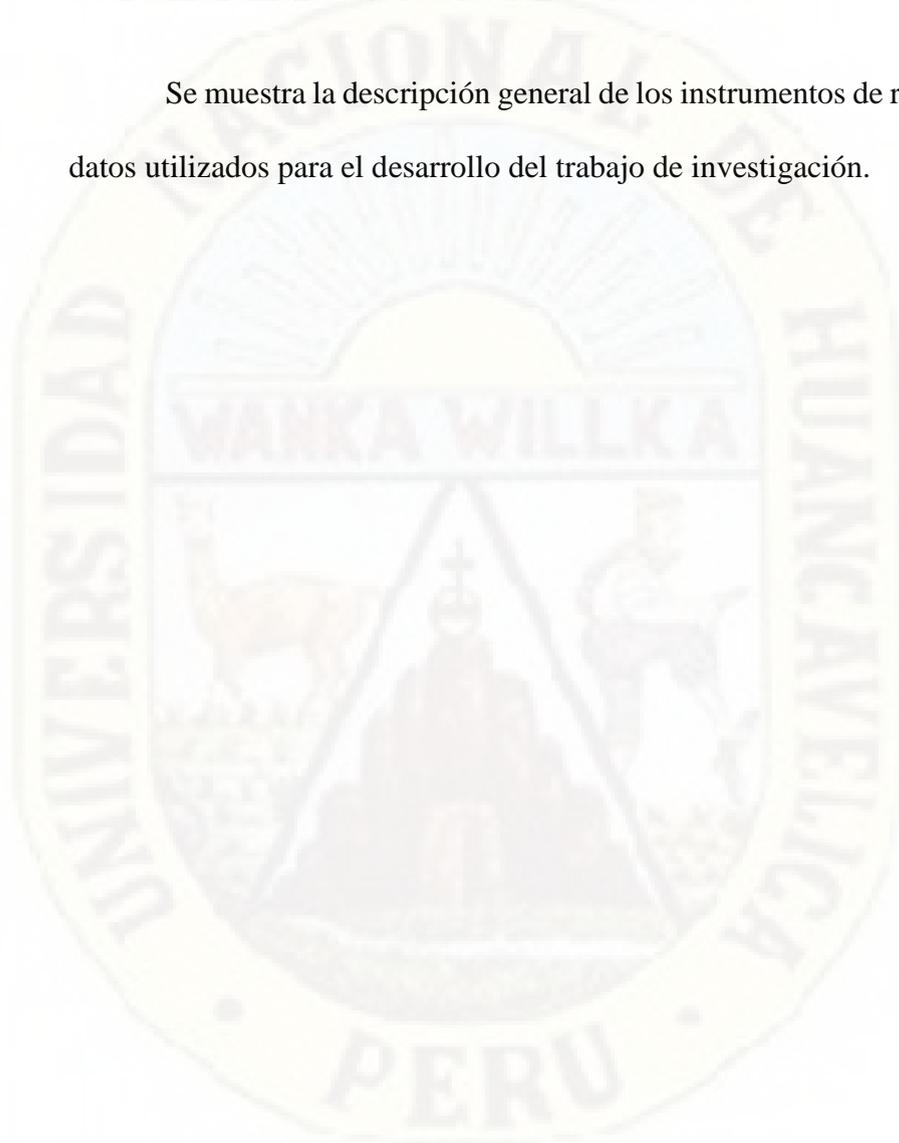


Tabla 6

Instrumentos de Recolección de Datos

Instrumentos de recolección de datos	Fuente	Información que brinda	Descripción	Formato
Información cartográfica				
Imágenes satelitales Landsat 8	Satélite de observación de American Earth - USGS	Banda 5 y Banda 4 para la elaboración del mapa de Cobertura Vegetal	Imagen de satélite resolución de 30m x 30m pixel	Raster
Modelos de elevación digital (DEM)	ALOS PALSAR - Earth Data Search	Topografía	Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución de 12.5m x 12.5m pixel	Raster
Zonificación ecológica y económica del departamento de Huancavelica (ZEE Huancavelica)	Gobierno Regional de Huancavelica - Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental	Información base a nivel departamental	Mapa de uso de suelo, tipo de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales	Vector
Información hidrológica				
Datos de precipitación SENAMHI HSR PISCO	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	Datos de precipitación media mensual de un periodo histórico de 20 años	Mapa de precipitación local	Raster

Fuente: Elaboración propia.

a) Imágenes satelitales LANDSAT 8

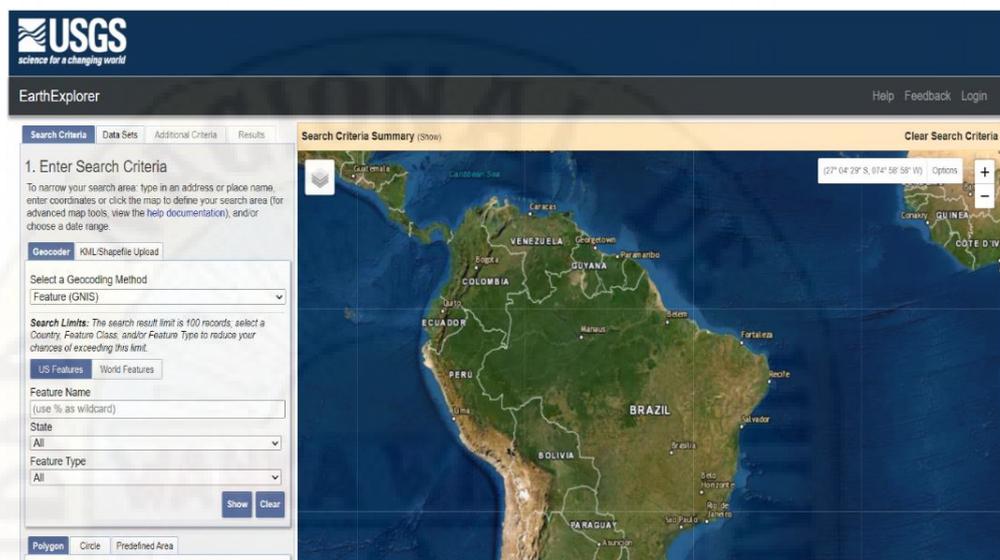
Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva 1 (azulprofundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda 9 es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Codazzi, 2013).

Utilizamos las imágenes satelitales para la elaboración del mapa de cobertura vegetal de la sub cuenca del Río Ichu.

La data satelital utilizada para el estudio corresponde al Satélite de observación EarthExplorer USGS perteneciente al servicio geológico de Estados Unidos (<https://search.asf.alaska.edu/#/>), brinda información obtenida por la gran mayoría de los satélites landsat.

Figura 6

Página de inicio de la USGS

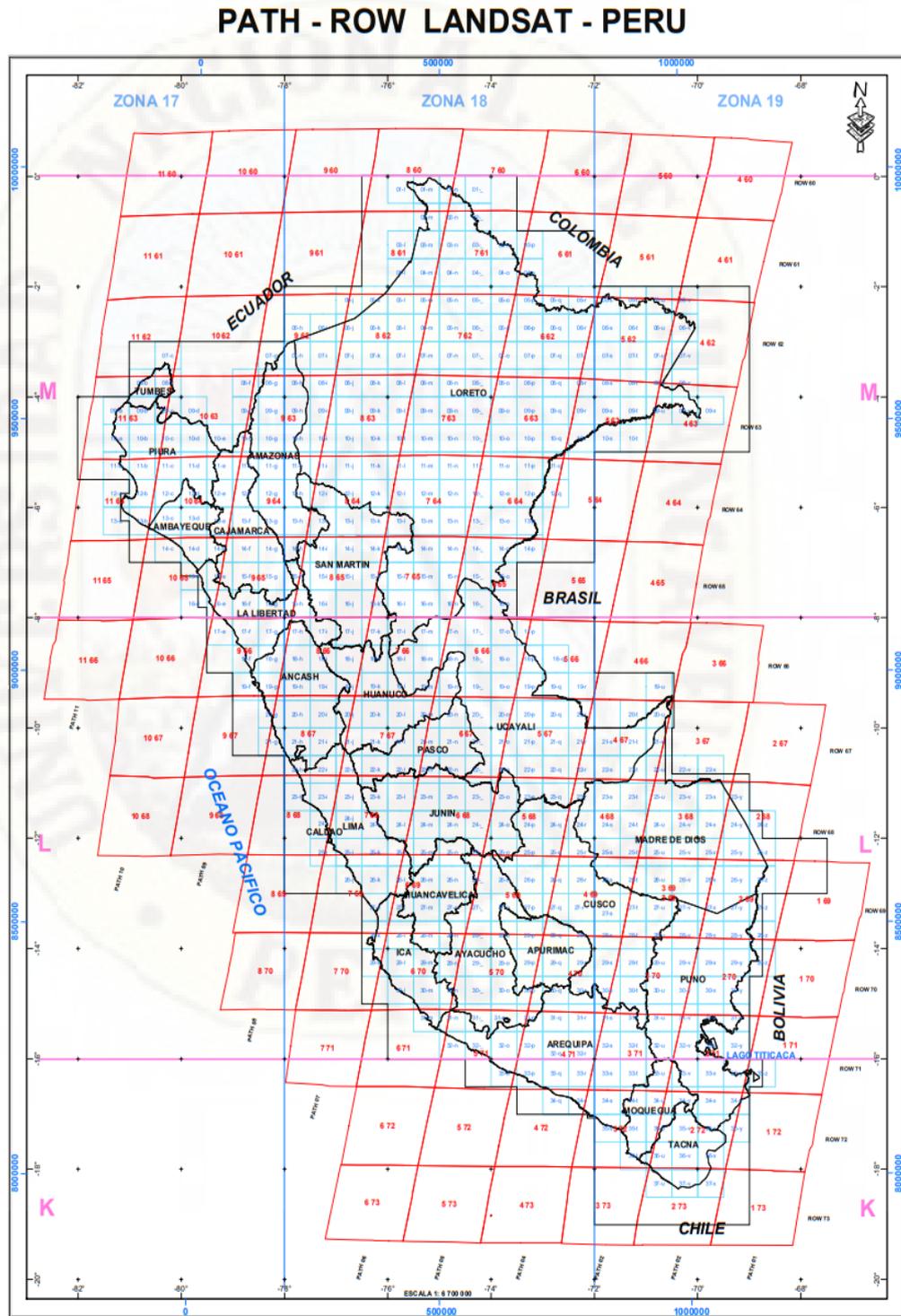


Fuente: EarthExplorer USGS, 2022

El procedimiento de descarga consiste en indicar el método de búsqueda de la zona donde se encuentra el área de estudio, para este proceso decidimos descargar la imagen por medio del método de geocodificación Path Row, que de acuerdo al Path Row – Landsat – Perú brindado por el Ministerio de Educación del Perú, el área de estudio se ubica en Path: 006, Row:069.

Figura 7

Path – Row para Landsat 8 a nivel nacional

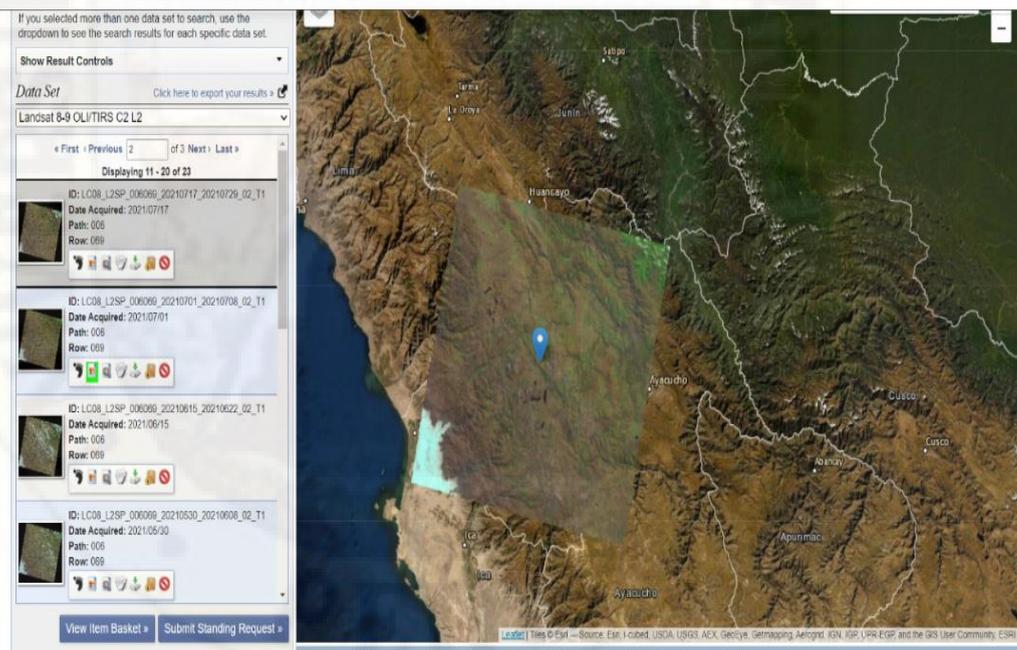


Fuente: Ministerio de Educación, 2018

Seguidamente seleccionamos el rango de fechas en las que queremos que se busquen las imágenes satelitales, para el trabajo de investigación el periodo elegido fue de un año comprendido entre las fechas de 01/01/2021 hasta 01/01/2022. A continuación, procedimos a seleccionar el Data Sets, que implica seleccionar de que satélite quieres obtener la imagen, seleccionando el Landsat 8 – 9 OLI/TIRS C2 L2, para después obtener resultados de las imágenes que se tomaron en la zona del desarrollo de proyecto.

Figura 8

Imagen satelital Path: 006, Row:069



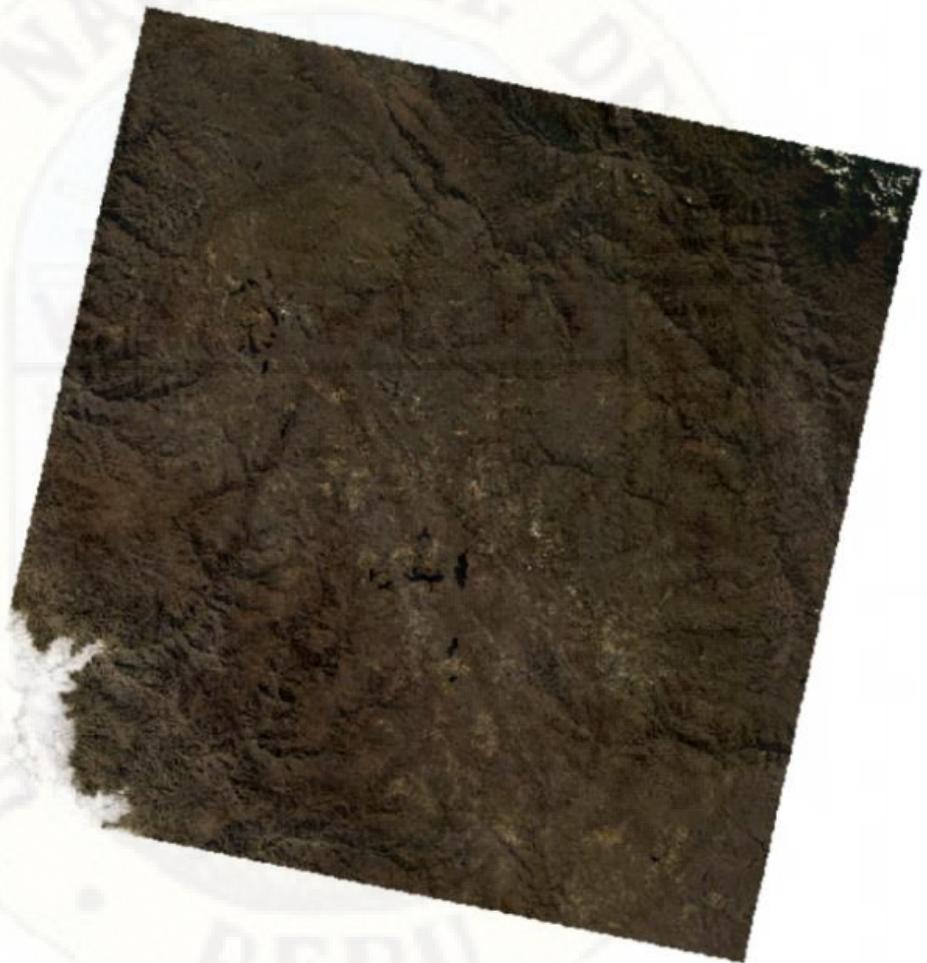
Fuente: EarthExplorer USGS, 2022.

La escena descargada con fecha 01/07/2021, que cubre el ámbito la subcuena del Río Ichu fue las siguiente:

LC08_L2SP_006069_20210701_20210708_02_T1

Figura 9

*Composición de bandas que reflejan el color verdadero de la imagen satelital
Landsat 8*



Fuente: Elaboración propia, 2022.

b) Modelos de elevación digital (DEM)

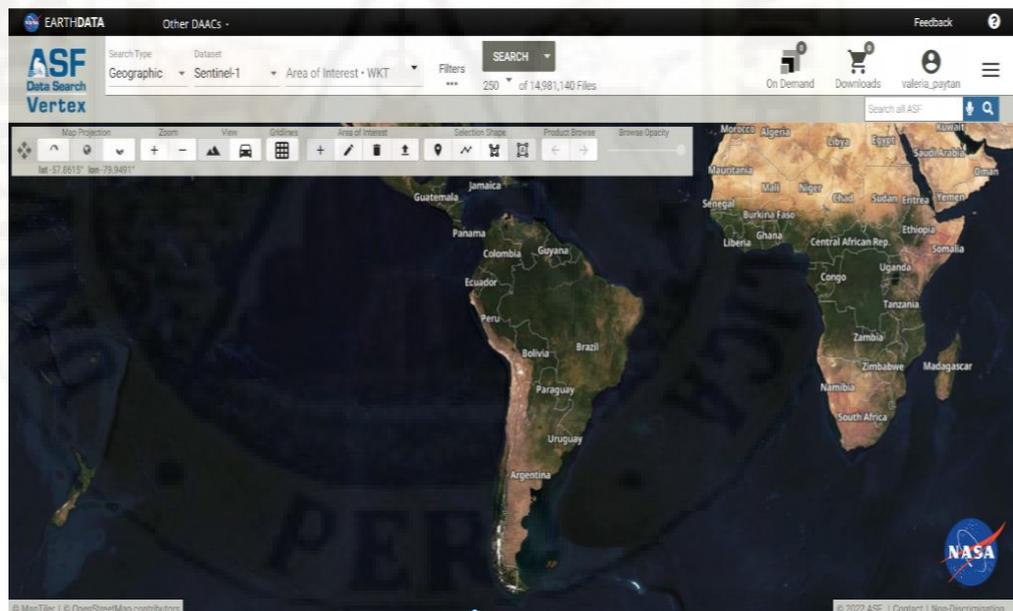
Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (S.A.S., 2014). Estas imágenes en formato tipo raster se utilizaron

para la delimitación de la sub cuenca del Río Ichu, y la elaboración del mapa de pendientes de la sub cuenca del Río Ichu.

El Modelo de Elevación Digital (DEM) utilizado, se extrajo de la página Earth Data Search que contiene datos recolectados por la NASA (<https://search.asf.alaska.edu/#/>), esta página contiene información de los satélites Sentinel – 1, ALOS PALSAR, ALOS AVNIR – 2, SIR – C (beta), S1 InSAR (beta), SMAP, UAVSAR, RADARSAT – 1, ERS, JERS – 1, AIRSAR y SEASAT.

Figura 10

Página de Inicio Earth Data Search



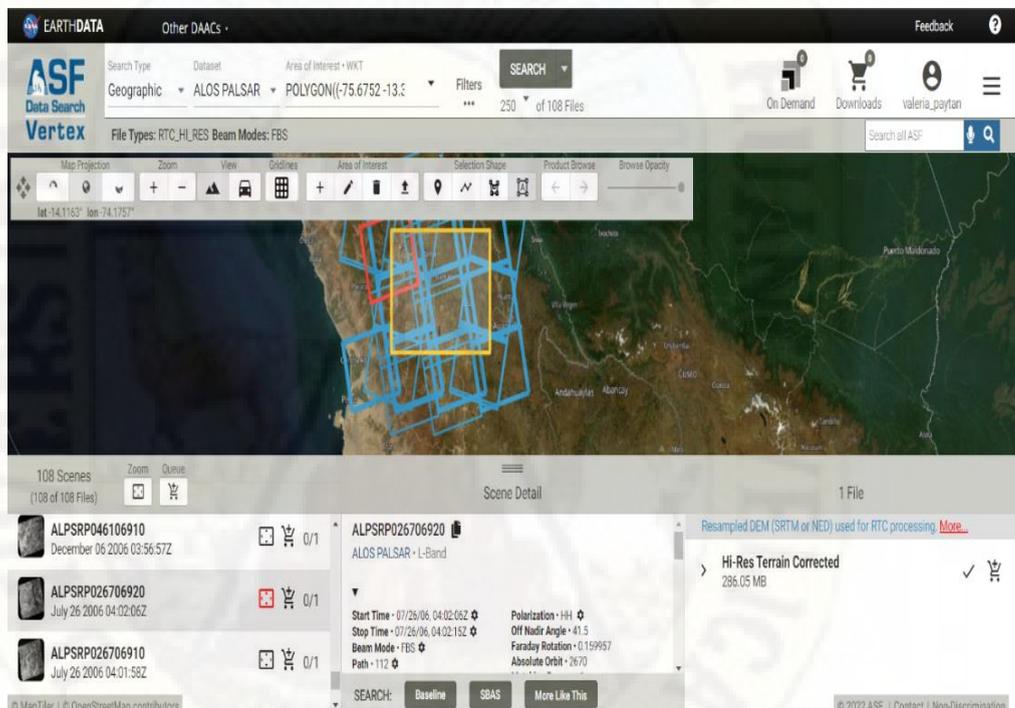
Fuente: Earth Data Search, 2022.

El procedimiento de descarga consiste en seleccionar el satélite del cual se va a descargar el DEM, siendo de nuestro interés el satélite ALOS PALSAR que nos brinda Modelos de Elevación Digital (DEM) con una resolución de 12.5m x 12.5m pixel, seguido, en la opción de buscar por filtros se selecciona

el File Type con Hi – Res Terrain Corrected y el Beam Mode con FBS, posteriormente elegir por medio de un polígono el área de interés y a continuación se mostraran los resultados y captando que DEM contiene la cuenca se procede a descargar el Modelo de Elevación Digital (DEM).

Figura 11

Resultados de la búsqueda del modelo de elevación digital (DEM)



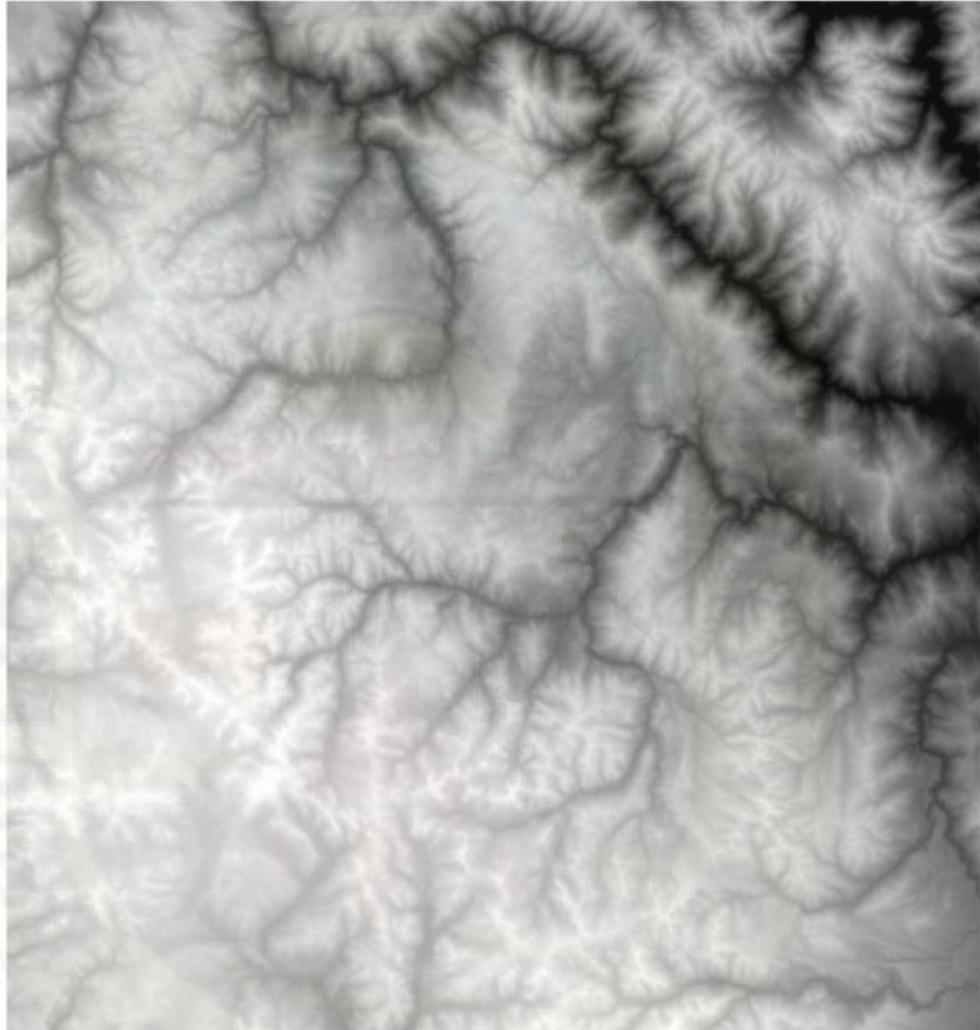
Fuente: Earth Data Search, 2022.

La escena descargada que cubre el ámbito la subcuenca del Río Ichu fue las siguiente:

AP_07717_FBD_F6930_RT1

Figura 12

Modelo de elevación digital (DEM) que contiene el área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2022.

c) Zonificación ecológica y económica del departamento de Huancavelica (ZEE Huancavelica)

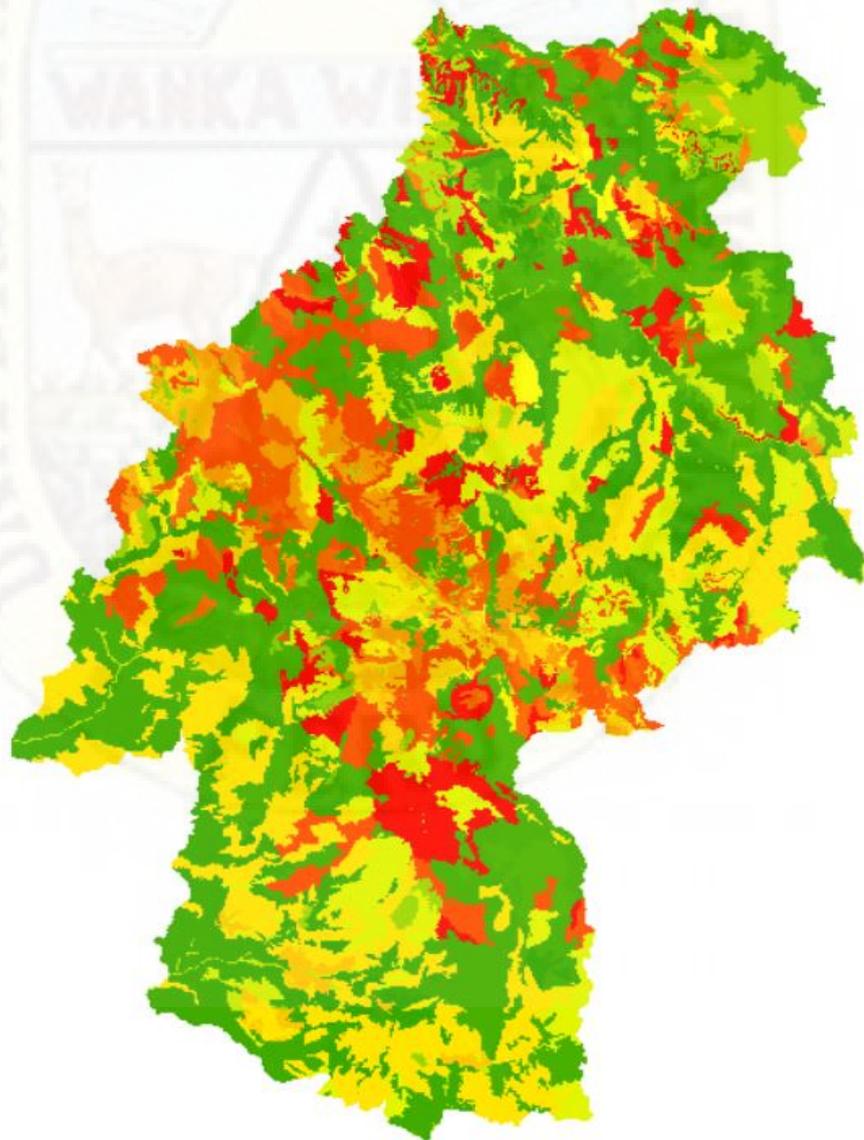
La Zonificación Ecológica y Económica es un proceso dinámico y flexible para la identificación de alternativas de uso sostenible de un territorio basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales (Ambiente, 2019).

La información obtenida en la ZEE Huancavelica fue utilizada en la elaboración de los mapas de uso de suelo, tipo de suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la sub cuenca del Río Ichu.

La data obtenida fue a través de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Gobierno Regional de Huancavelica.

Figura 13

Ejemplo CUM de la Zonificación Ecológica y Económica de Huancavelica



Fuente: ZEE, Gobierno Regional Huancavelica.

d) Datos de precipitación SENAMHI HSR PISCO

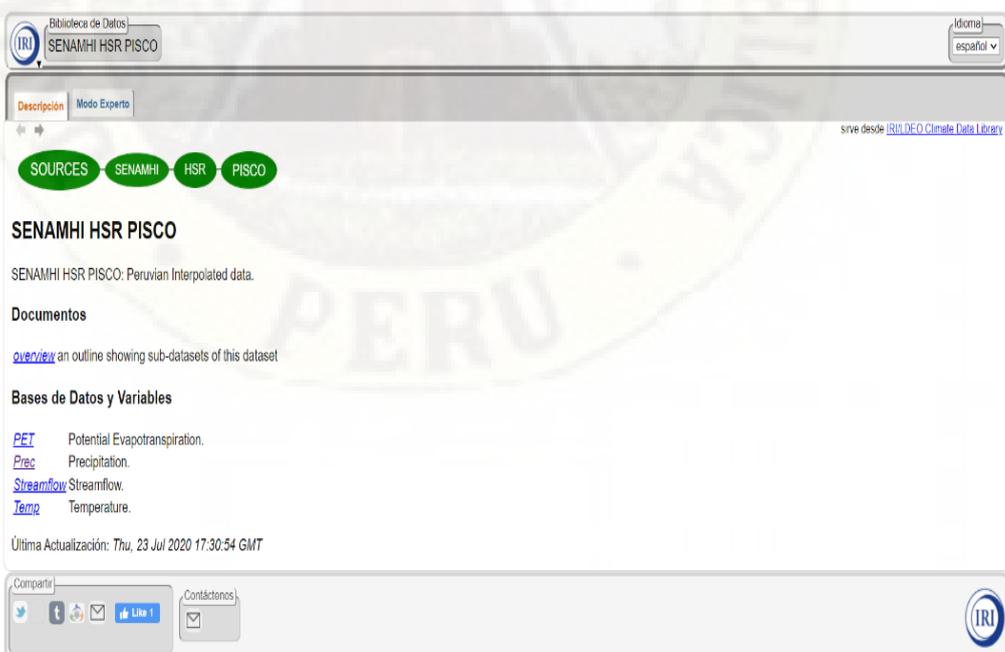
PISCOt v1.1 es el resultado de la combinación entre datos observados de estaciones climatológicas convencionales, datos satelitales (LST) y variables topográficas (Z, X, Y y TDI) establecidos (Perú, 2018).

Los datos obtenidos de SENAMHI HSR PISCO fueron decodificados y utilizados en la elaboración del mapa de precipitación de la sub cuenca del Río Ichu con un registro histórico de 20 años.

El proceso de descarga consistió en seleccionar entre las Bases de Datos y Variables, “Prec Precipitación”, seguido seleccionar la base de datos que indica que posee datos de las precipitaciones medias mensuales.

Figura 14

Página de Inicio SENAMHI HSR PISCO

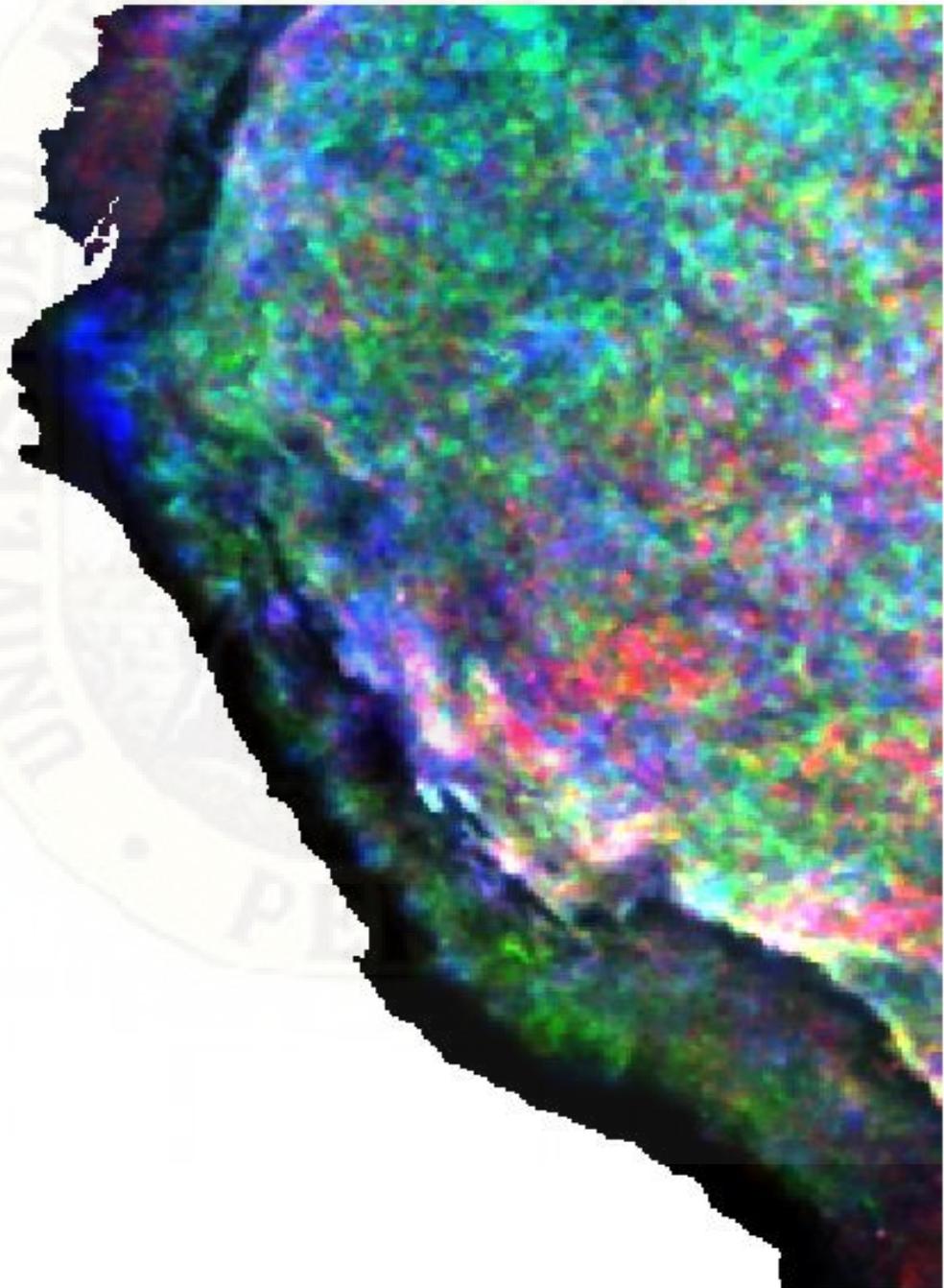


Fuente: SENAMHI HSR PISCO, 2022.

El formato de descarga de los datos de precipitación es de tipo Raster con una resolución de 0.05 m x 0.05 m pixel.

Figura 15

Datos de precipitación media mensual en formato raster



Fuente: SENAMHI HSR PISCO, 2022.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos que se utilizaron en el desarrollo del trabajo de investigación son los siguientes:

Fase 1: Aplicación del programa HEC - HMS 4.8

HEC-HMS está indicado para la modelación de los procesos hidrológicos más habituales que se dan en una cuenca, utiliza una estructura de trabajo que denomina proyecto (Project) a la agrupación de un modelo de cuenca, un modelo de lluvias (modelo meteorológico) y un modelo de Datos de control por hidrológica. Como se describe anteriormente el HEC - HMS 4.8 se utilizó en la delimitación de la sub cuenca del Río Ichu.

Figura 16

Esquema de aplicación del programa HEC – HMS 4.8



Fuente: Elaboración propia, 2022.

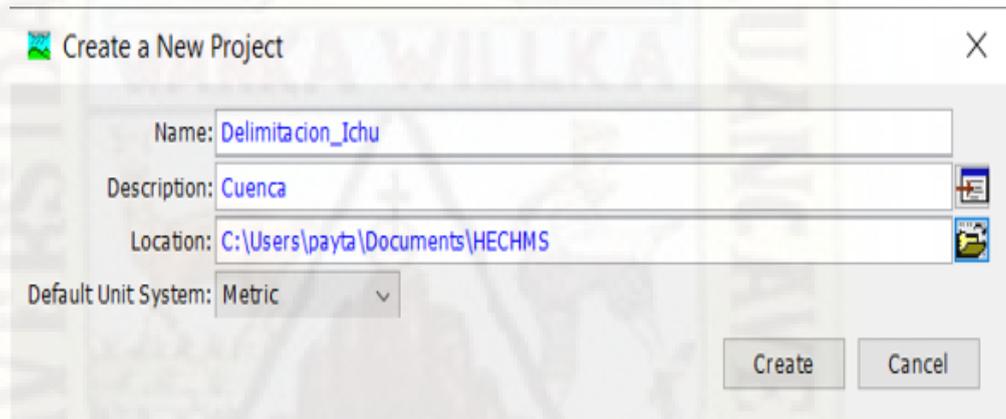
Fase 2: Delimitación de la sub cuenca del Río Ichu

Contando con el DEM que incluye el área de estudio, procedimos en la delimitación de la cuenca para la cual utilizamos el software HEC – HMS 4.8, el procedimiento de la delimitación consiste en lo siguiente:

Al aperturar el programa, procedemos a utilizar la herramienta “File > New” y habremos creado un proyecto, donde nos piden insertar datos como: “Name – Nombre del proyecto”, “Description – Descripción del proyecto”, “Location – Ubicación donde se guardara el proyecto” y “Default Unit System – Las unidades en las que el proyecto trabajara”.

Figura 17

Creación de un proyecto en HEC – HMS 4.8

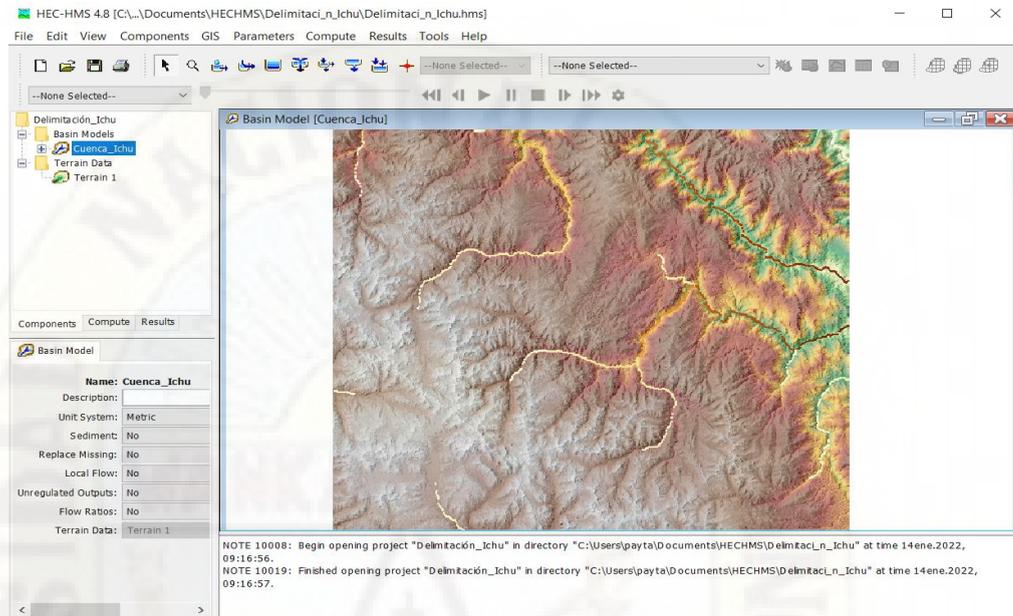


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Habiendo creado el proyecto, utilizamos la herramienta “Components > Basin Model Manager” y “Components > Terrain Data Manager”, con estas dos opciones agregamos un modelo de cuenca y un modelo de terreno, el “Terrain Data” requiere que insertemos el DEM para que se pueda enlazar con el “Basin Model” y tener un terreno donde se delimitara la cuenca.

Figura 18

Identificación de ríos en el programa HEC – HMS 4.8

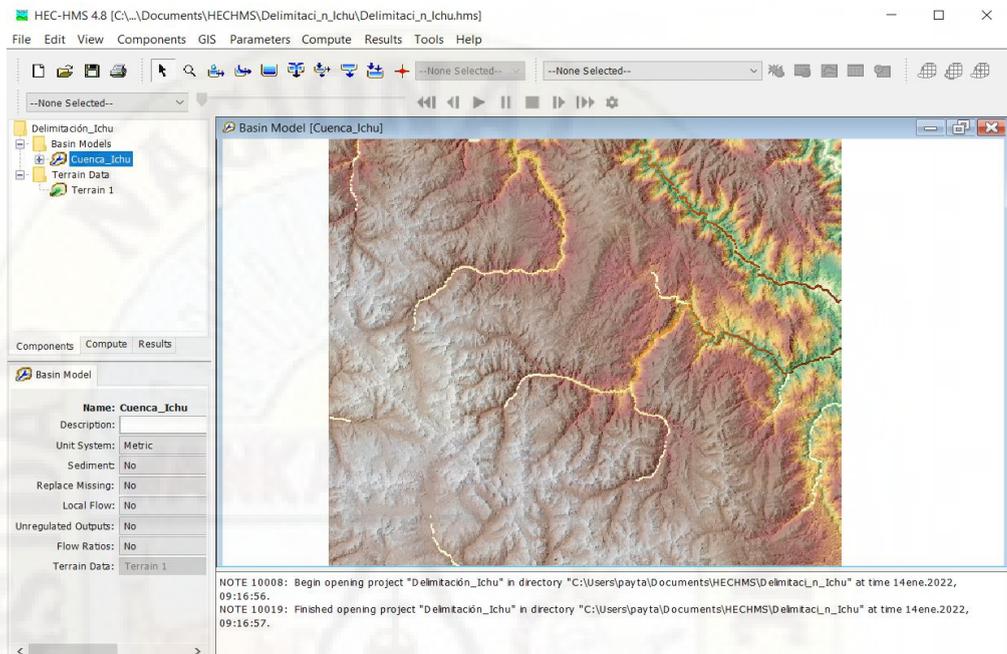


Fuente: Elaboración propia, 2022

Con el área de trabajo visible, procedemos a utilizar la herramienta “GIS > Preprocess Sinks” que tiene como función rellenar los espacios vacíos del DEM, después de ejecutar la herramienta, utilizamos la herramienta “GIS > Preprocess Drainage” que es lo mismo que las herramientas Flow accumulation y Flow direction del ArcGIS y generan mapas de acumulación y dirección de flujo, obteniendo estos datos procedemos a la ejecución de la herramienta “GIS > Identify Streams”, que dándole un área de trabajo de 200 km² para el proyecto, identifica los cauces de los ríos principales.

Figura 19

Delimitación de la sub cuenca Ichu en HEC – HMS 4.8

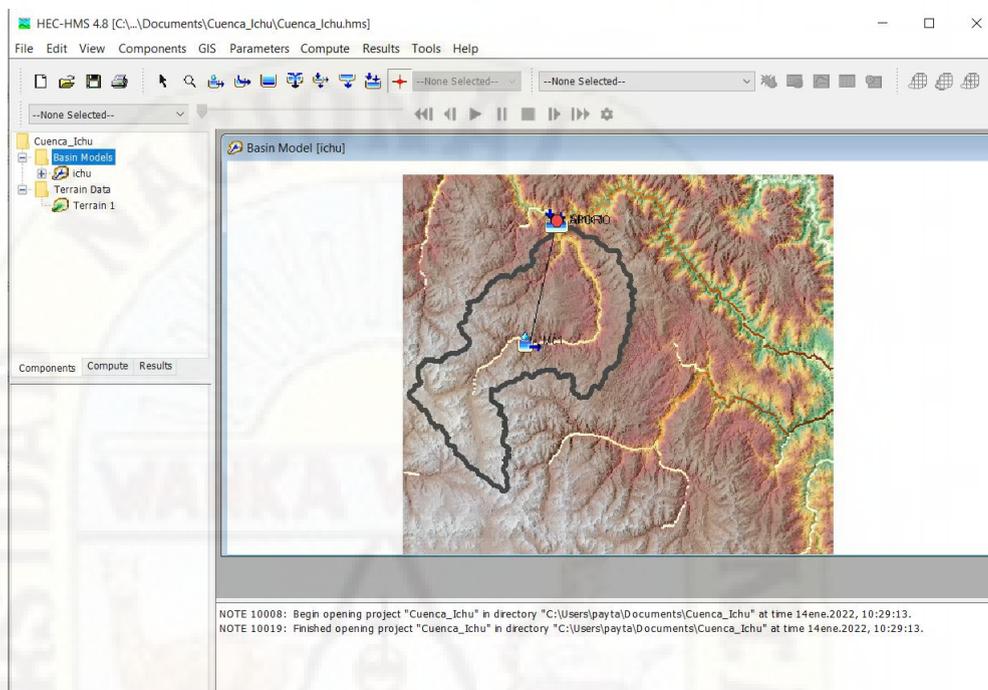


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Identificamos el río Ichu para el trabajo de investigación e insertamos un punto de aforo a través de la herramienta “Break Points Manager” y a continuación utilizamos la herramienta “GIS > Delineate Elements” donde nos piden datos como: “Subbasin Prefix” y “Reach Prefix”, que serán las únicas opciones que rellenaremos, para finalmente tener la delimitación de la cuenca.

Figura 20

Delimitación de la sub cuenca Ichu en HEC – HMS 4.8

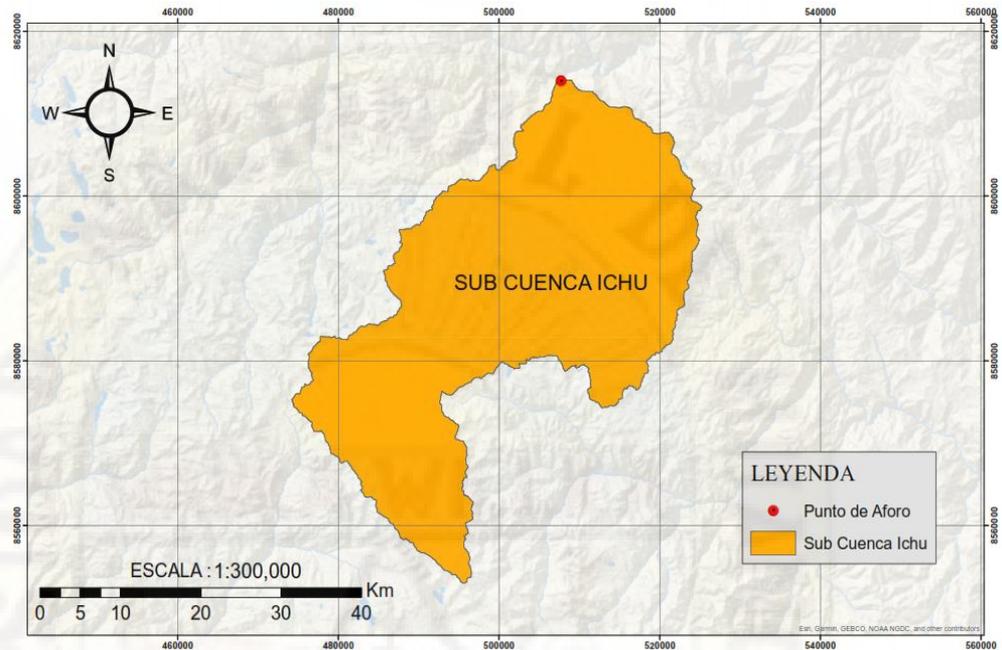


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Al tener la cuenca delimitada en el programa HEC – HMS 4.8 procedemos a la exportación de la cuenca delimitada en formato shapefile a través de la herramienta “GIS > Export Layers”, para su uso en los demás procedimientos a realizarse en el programa ArcGIS.

Figura 21

Figura Mapa de la sub cuenca Ichu



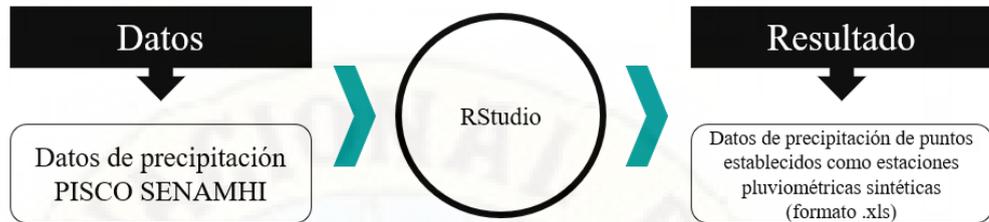
Fuente: Elaboración propia, 2022.

- **Aplicación del programa RStudio:**

R es un lenguaje y entorno de programación, creado en 1993 por Ross Ihaka y Robert Gentleman del Departamento de Estadística de la Universidad de Auckland, cuya característica principal es que forma un entorno de análisis estadístico para la manipulación de datos, su cálculo y la creación de gráficos por Contreras, Molina, y Arteaga (2007). El programa R se utilizó en la decodificación de los datos descargados de PISCO SENAMHI para obtener los datos de precipitación media mensual con un tiempo histórico de 20 años.

Figura 22

Esquema de la aplicación del programa RStudio



Fuente: Elaboración propia, 2022.

- **Datos de estaciones pluviométricas**

Para evaluar la cantidad promedio de precipitación sobre un área es necesario basarse en los valores puntuales registrados en cada estación pluviométrica que conforma la red. Pero como la contribución de cada estación al total de la tormenta es desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la distribución de la precipitación dentro del área en consideración. El método elegido para este trabajo de investigación es a través de la aplicación del programa RStudio, que contando con un código de programación nos brindó datos de precipitación media mensual para cada una de las estaciones pluviométricas sintéticas elegidas.

Para la decodificación de los datos descargados de PISCO SENAMHI es necesario conocer la ubicación, en el sistema de coordenadas geográficas, de las 21 estaciones pluviométricas sintéticas consideradas para el desarrollo del trabajo de investigación.

Tabla 7

Ubicación de las estaciones pluviométricas sintéticas en coordenadas geográficas

Estaciones PISCO SENAMHI	Latitud	Longitud
Estación 01	-12.884136	-75.208081
Estación 02	-12.853950	-75.159357
Estación 03	-12.933204	-75.152834
Estación 04	-12.996954	-75.121908
Estación 05	-12.697659	-75.057133
Estación 06	-12.770277	-75.077409
Estación 07	-12.853180	-75.082227
Estación 08	-12.946810	-75.079169
Estación 09	-13.031174	-75.064531
Estación 10	-12.609302	-74.951542
Estación 11	-12.681649	-74.980751
Estación 12	-12.763804	-74.981675
Estación 13	-12.828153	-74.990591
Estación 14	-12.590594	-74.895614
Estación 15	-12.681484	-74.893404
Estación 16	-12.765973	-74.895985
Estación 17	-12.844633	-74.888737
Estación 18	-12.618459	-74.831186
Estación 19	-12.685119	-74.811221
Estación 20	-12.759375	-74.818601
Estación 21	-12.827180	-74.835895

Fuente: Elaboración propia, 2022.

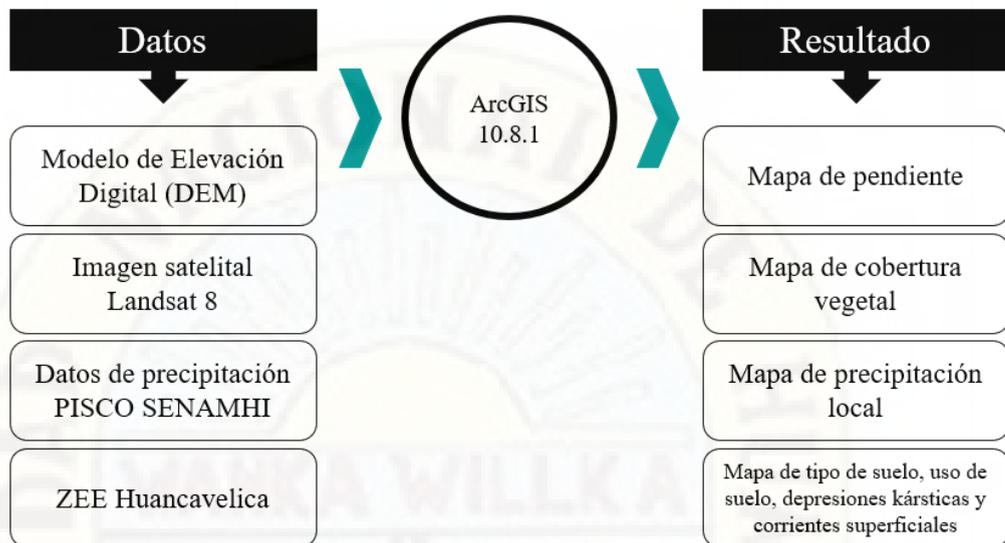
Después de haber hecho uso del programa RStudio, obtuvimos una base de datos de precipitaciones medias mensuales para cada estación sintética desde el funcionamiento de PISCO SENAMHI, que contine un registro histórico de 41 años, teniendo como última fecha de registro enero del 2022. El registro histórico de interés para el desarrollo de este trabajo de investigación es de 20 años, tomando como año 1 el 2002 y el año 20 el 2021, los datos obtenidos de este periodo de años fueron considerado como base de datos para la elaboración del mapa de precipitación local de la sub cuenca Ichu.

- **Aplicación del programa ArcGIS 10.8.1:**

ArcGIS es un sistema de información geográfica (SIG) integrado que consiste en tres partes claves: El software ArcGIS Desktop es un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas, el ArcSDE Gateway es una interfaz para administrar las geodatabase (forma corta para base de datos geográfica) en un sistema de administración de bases de datos (DBMS) y el software ArcIMS es un SIG orientado al Internet para distribuir datos y servicios por ESRI (2002). Este programa fue utilizado en la elaboración de los mapas de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, estructuras geológicas, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local, y a través de la aplicación de la herramienta “Álgebra de Mapas” la elaboración del mapa final de determinación de las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu.

Figura 23

Esquema de la aplicación del programa ArcGIS 10.8.1



Fuente: Elaboración propia, 2022.

a) Pendiente

Para la obtención del mapa de pendientes, se usó como dato base el DEM descargado anteriormente del satélite ALOS PALSAR, que presenta una resolución de 12.5 m x 12.5 m pixel y georreferenciado con datum WGS 84 Zona 18 S.

El mapa de pendientes fue elaborado en grados sexagesimales de inclinación teniendo como referencia la clasificación según el Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, en esta se hace una descripción del tipo de terreno de cada rango asignado.

Tabla 8

Clasificación de la pendiente según Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG

Rango	Término descriptivo
0 – 2	Plano o casi a nivel
2 – 4	Ligeramente inclinado
4 – 8	Moderadamente inclinado
8 – 15	Fuertemente inclinado
15 – 25	Moderadamente empinado
25 – 50	Empinado
50 – 75	Muy empinado
>75	Extremadamente empinado

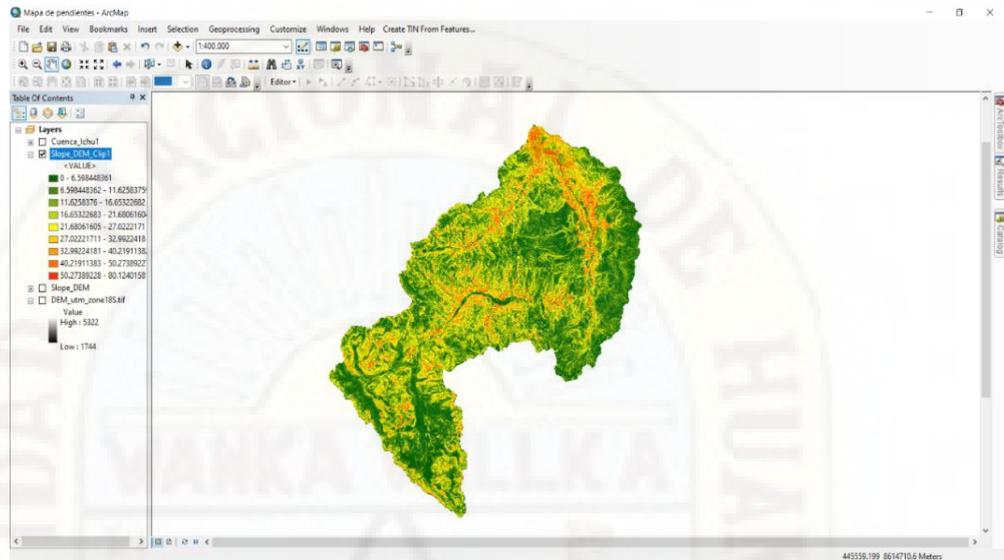
Fuente: (Ministerio de Agricultura, 2009).

Habiendo identificado el rango de pendientes, procedimos con la elaboración del mapa de pendientes, el procedimiento consiste en lo siguiente:

Abierto el programa, insertamos el DEM a través del “Arc Catalog > Folder Connections”, seguido aplicamos la herramienta “Spatial Analyst Tools > Surface > Slope”, a continuación, se aplicó la herramienta “Geoprocessing > Clip” que sirvió para cortar el Slope de acuerdo a la forma de la sub cuenca Ichu.

Figura 24

Pendientes iniciales de la sub cuenca Ichu

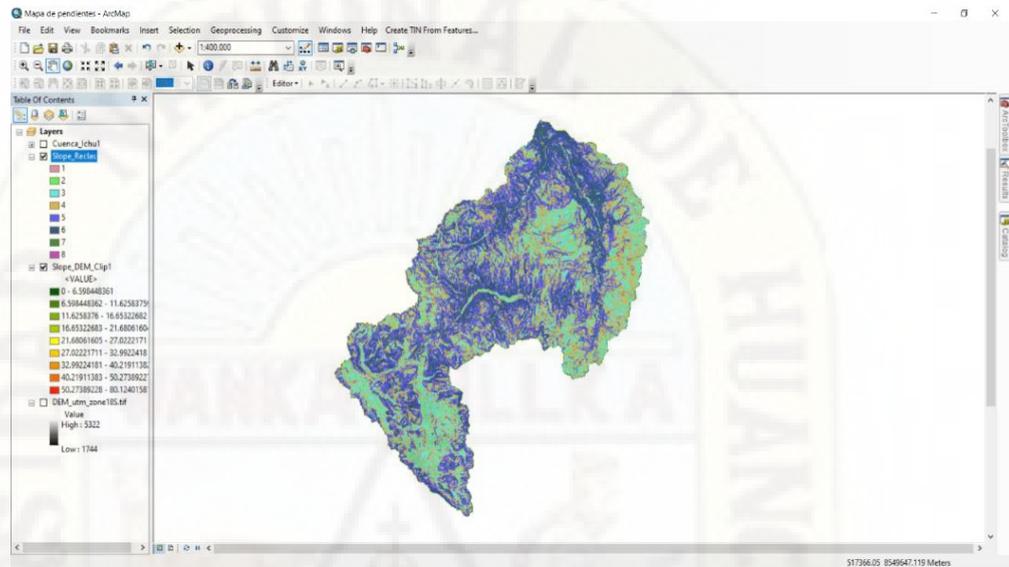


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la clasificación de acuerdo al Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG, se utilizó la herramienta “Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify > Classification”, e insertamos los rangos antes descritos en la tabla N° 8

Figura 25

Reclasificación de las pendientes de acuerdo al Decreto Supremo N° 017 – 2009 – AG

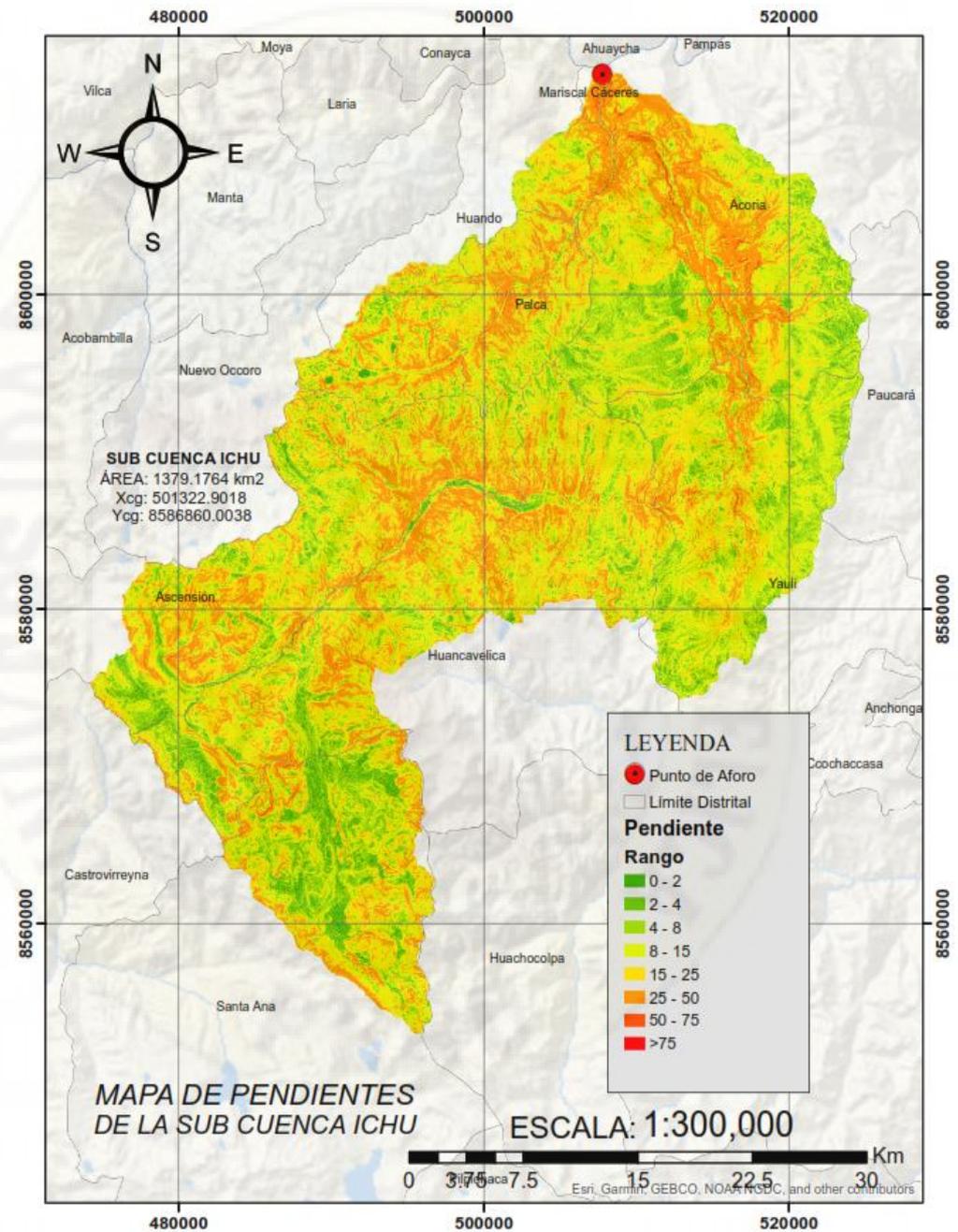


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Teniendo la reclasificación, usamos la herramienta “Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon”; después, a través de la tabla de atributos de los polígonos, insertamos los valores del rango, siendo para los valores de la reclasificación 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 el rango de 0-2, 2-4, 4-8, 8-15, 15-25, 25-50, 50-75 y >75 respectivamente, obteniendo finalmente el mapa de pendientes.

Figura 26

Mapa de pendientes de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

b) Cobertura vegetal

La cobertura vegetal o NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) como parámetro se puede analizar espectralmente como la influencia que tiene la clorofila con la energía electromagnética del sol. Este índice es utilizado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, que proporcionan una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas.

Por esta razón, se empleó una imagen satelital Landsat 8 que contiene el área de intervención del trabajo de investigación, como base de datos con una resolución de 30 m x 30 m pixel y georreferenciada en la Zona 18S datum WGS 84, puesto que esta recolecta información de la tierra cada 16 días y que, por lo tanto, nos brinda información actual. Las bandas utilizadas para el análisis de la cobertura vegetal fueron la banda 4 que representa el rojo (B4) y la banda 5 que representa el infrarrojo cercano (B5).

La siguiente fórmula se utiliza para la obtención del NDVI:

$$NDVI = \frac{(pS_{NIR} - pS_{RED})}{(pS_{NIR} + pS_{RED})}$$

Realizando el remplazo por las bandas espectrales que contienen el rojo e infrarrojo cercano de la imagen satelital Landsat 8, la fórmula quedaría expresada de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{(pS_{B5} - pS_{B4})}{(pS_{B5} + pS_{B4})}$$

El NDVI presenta un valor entre -1 y +1, cuando el NDVI está cerca de +1 indica abundancia de la vegetación, mientras que cuando el NDVI está cerca de -1 indica que la tierra es suelo desnudo.

Tabla 9

Interpretación de los valores del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)

Rango	Interpretación
-1 – 0	Planta muerta u objeto inanimado
0 – 0.33	Planta enferma
0.33 – 0.66	Planta medianamente sana
0.66 - 1	Planta muy sana

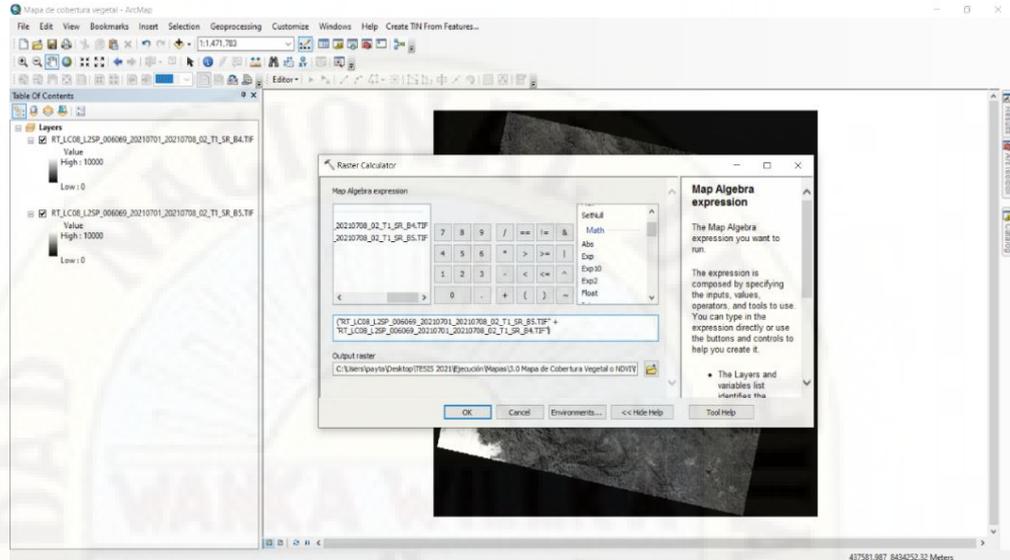
Fuente: (Toribio, 2019).

Para la obtención del mapa de cobertura vegetal de la sub cuenca Ichu se realizaron los siguientes pasos:

Después de haber abierto el programa, se insertaron las dos bandas necesarias para la elaboración del mapa de cobertura vegetal, que serían las bandas B4 y B5, las bandas están identificadas como la banda RT_LC08_L2SP_006069_20210701_20210708_02_T1_SR_B4 y RT_LC08_L2SP_006069_20210701_20210708_02_T1_SR_B5, estas a través de la herramienta “Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator” y la aplicación de la fórmula del NDVI, obtenernos el mapa de cobertura vegetal en toda la imagen satelital.

Figura 27

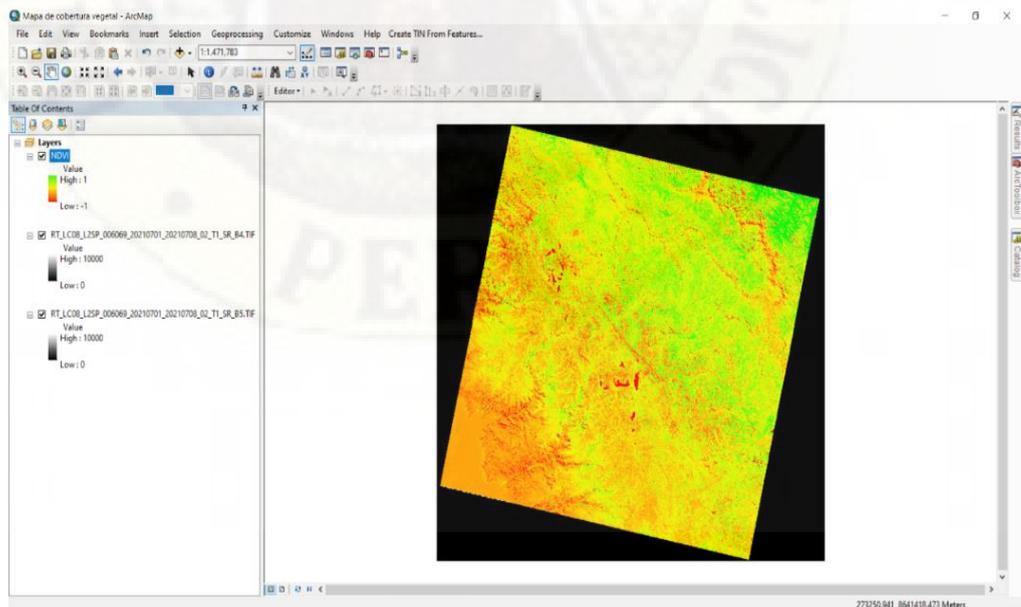
Aplicación de la herramienta Map Algebra del programa ArcGIS 10.8.1



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 28

Representación del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) en la imagen satelital

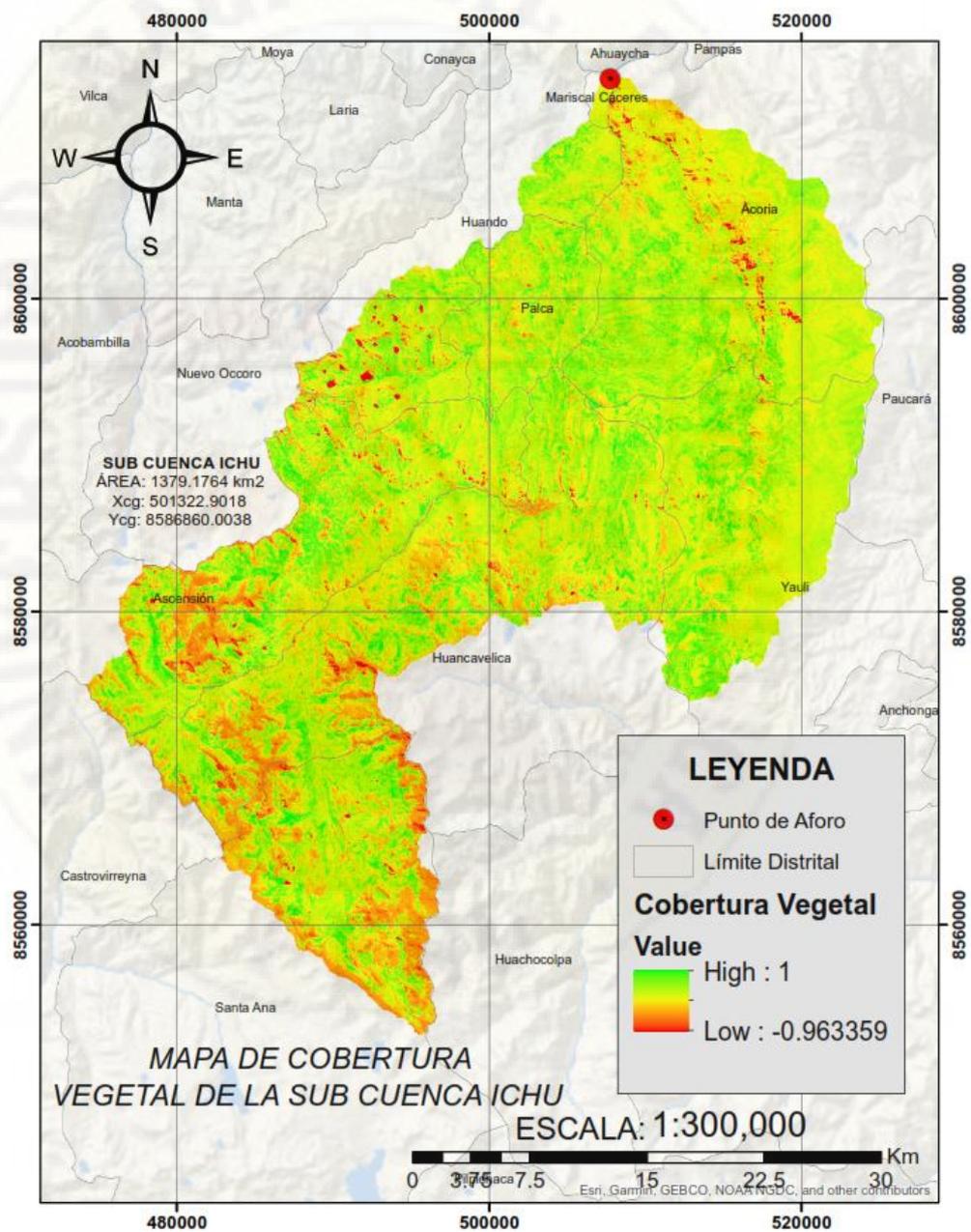


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para cortar la imagen obtenida al modelo de la sub cuenca Ichu utilizamos la herramienta “Geoprocessing > Clip”.

Figura 29

Mapa de cobertura vegetal de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

c) Precipitación local

La precipitación, al ser un factor muy importante en el proceso de recarga hídrica, es considerada como la fuente principal de agua que permite alimentar las zonas de recarga en el área de intervención del trabajo de investigación.

Este se ve reflejado en la capacidad de drenaje de la sub cuenca y de las pendientes que permiten la infiltración del agua al subsuelo.

El análisis de datos de precipitación se realizó con un registro histórico de 20 años, comprendidos desde enero del año 2002 a diciembre del año 2021, con un total de 21 estaciones pluviométricas sintéticas ubicadas dentro del área de intervención de la sub cuenca Ichu, los datos de precipitaciones medias mensuales para cada estación se obtuvieron de la base de datos descargada y decodificada de PISCO SENAMHI.

Tabla 10

Ubicación de las estaciones pluviométricas en coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM)

Estaciones PISCO SENAMHI	Coordenada X	Coordenada Y
Estación 01	477425.33	8575668.29
Estación 02	482709.75	8579010.76
Estación 03	483422.37	8570246.98
Estación 04	486780.18	8563198.21
Estación 05	493797.61	8596298.64

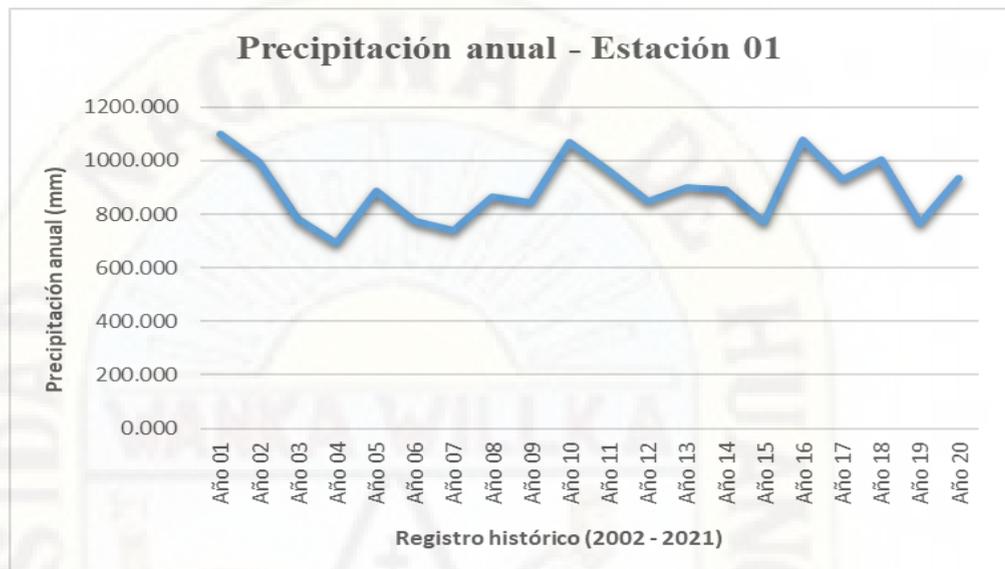
Estaciones PISCO SENAMHI	Coordenada X	Coordenada Y
Estación 06	491598.80	8588267.62
Estación 07	491078.28	8579099.17
Estación 08	491413.94	8568745.68
Estación 09	493003.01	8559416.25
Estación 10	505263.87	8606069.82
Estación 11	502090.61	8598069.50
Estación 12	501989.61	8588984.98
Estación 13	501021.22	8581868.22
Estación 14	511338.57	8608136.04
Estación 15	511574.92	8598085.81
Estación 16	511290.20	8588742.53
Estación 17	512073.33	8580043.65
Estación 18	518334.10	8605051.66
Estación 19	520497.71	8597678.92
Estación 20	519690.78	8589467.16
Estación 21	517808.66	8581970.86

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Este análisis muestra que la máxima tasa de precipitación anual durante el registro histórico de 20 años asumido, fue durante el año 2003 con 1,396.688 mm y la mínima fue durante el año 2005 con 533.830 mm.

Figura 30

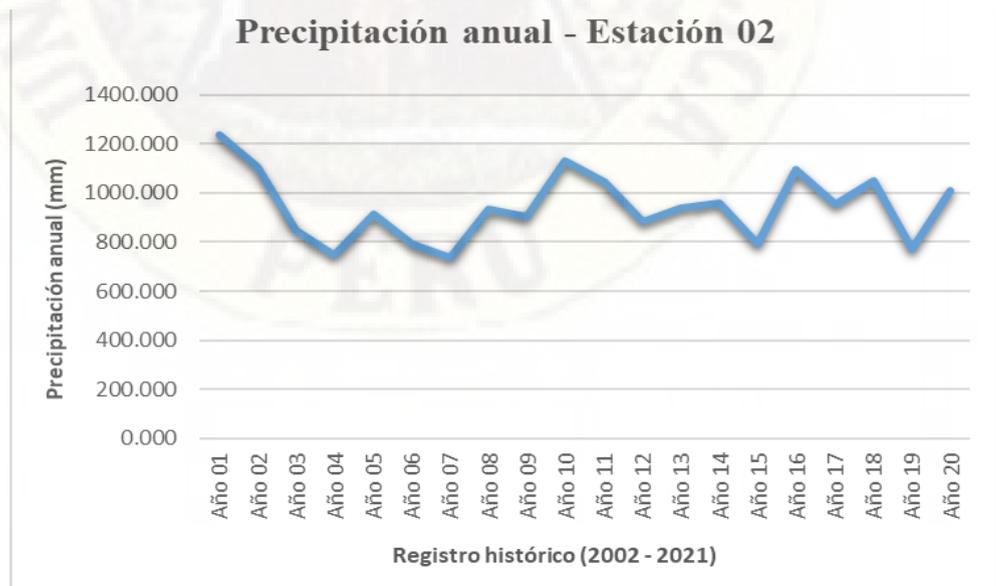
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 01



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 31

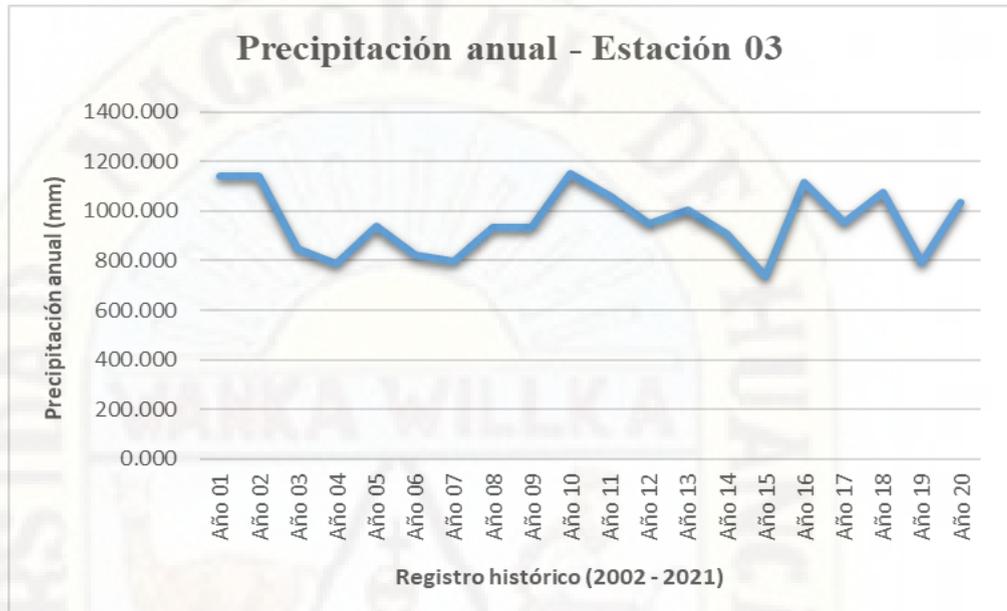
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 02



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 32

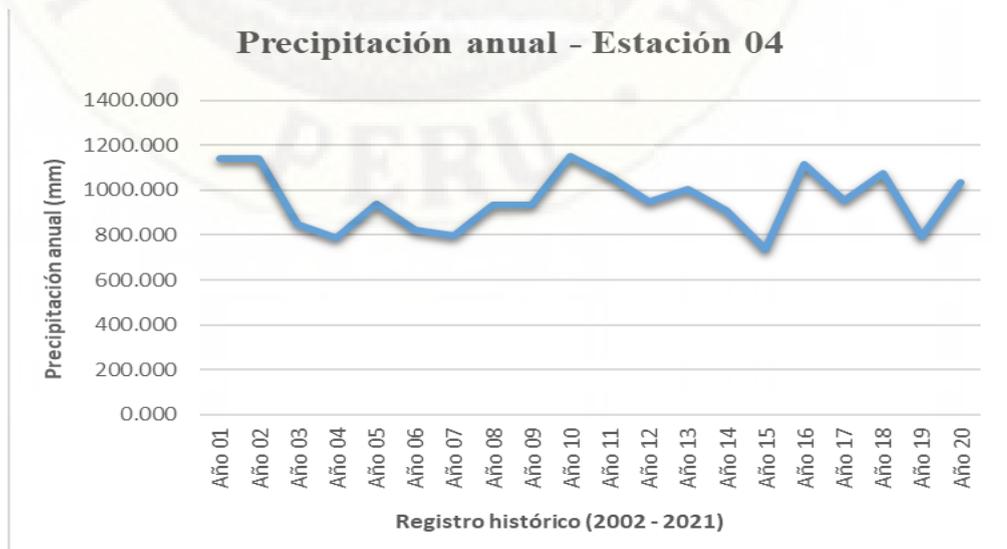
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 03



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 33

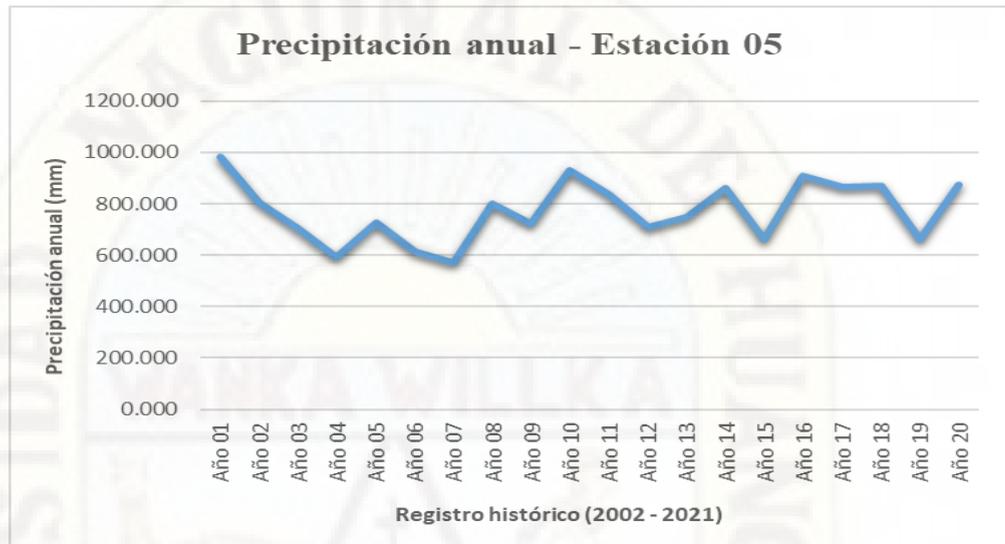
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 04



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 34

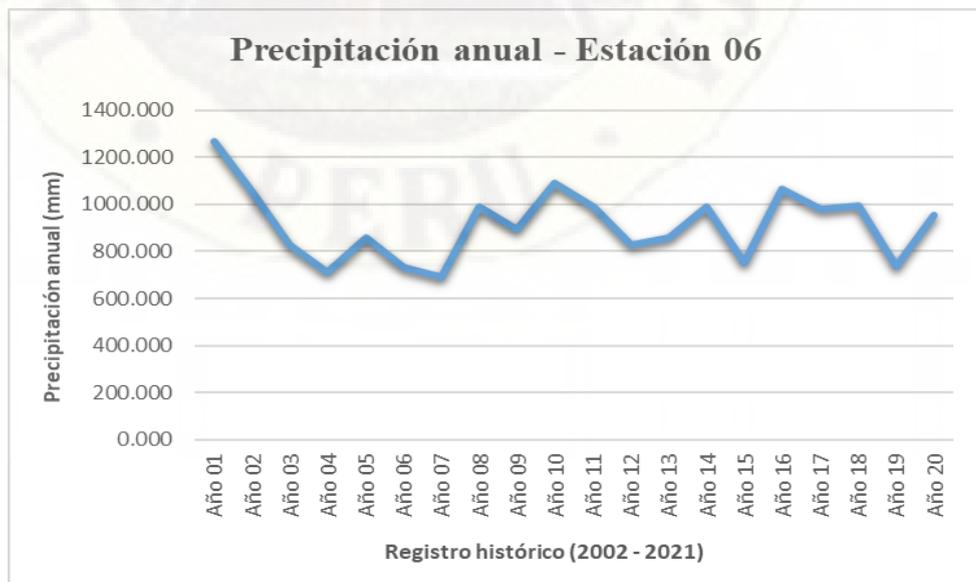
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 05



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 35

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 06

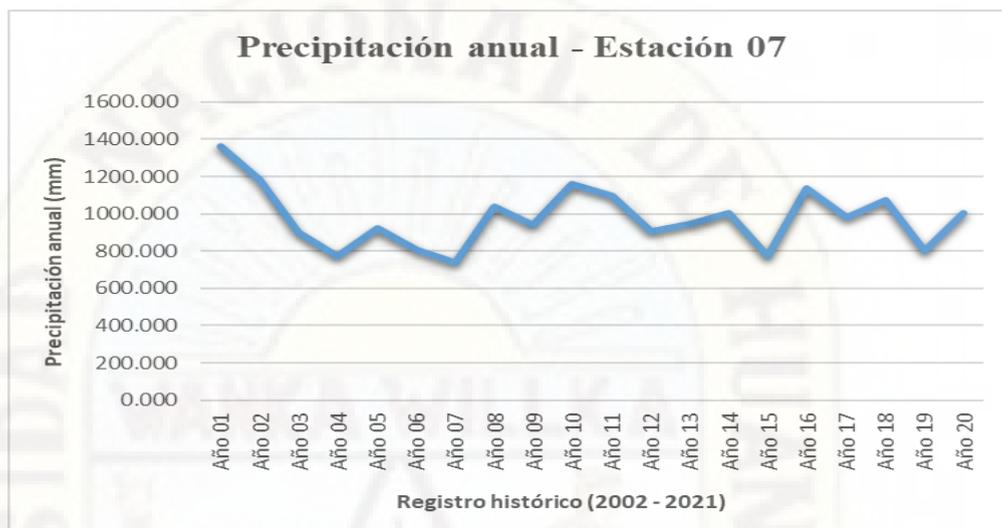


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 36

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

07

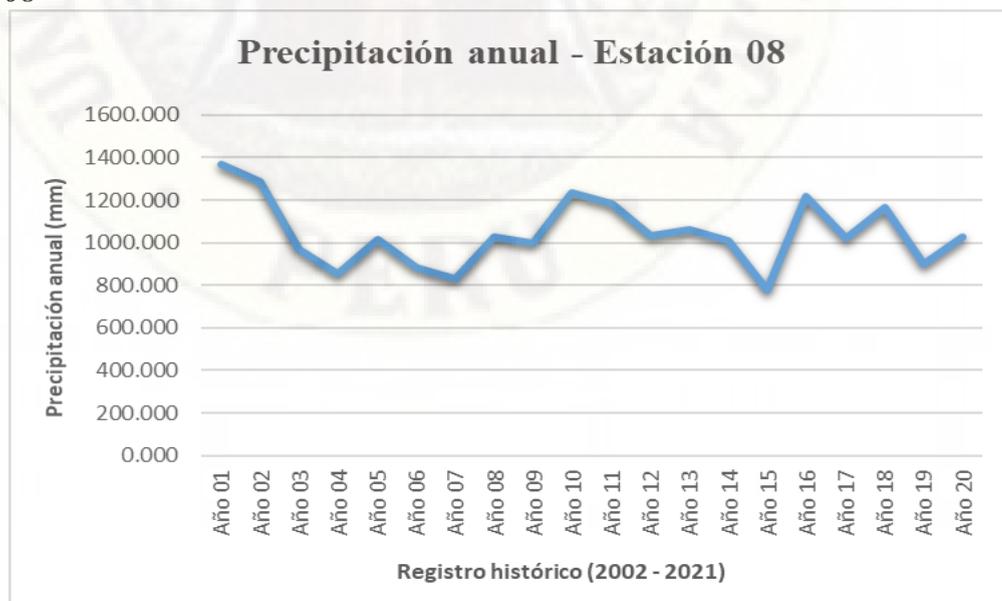


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 37

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

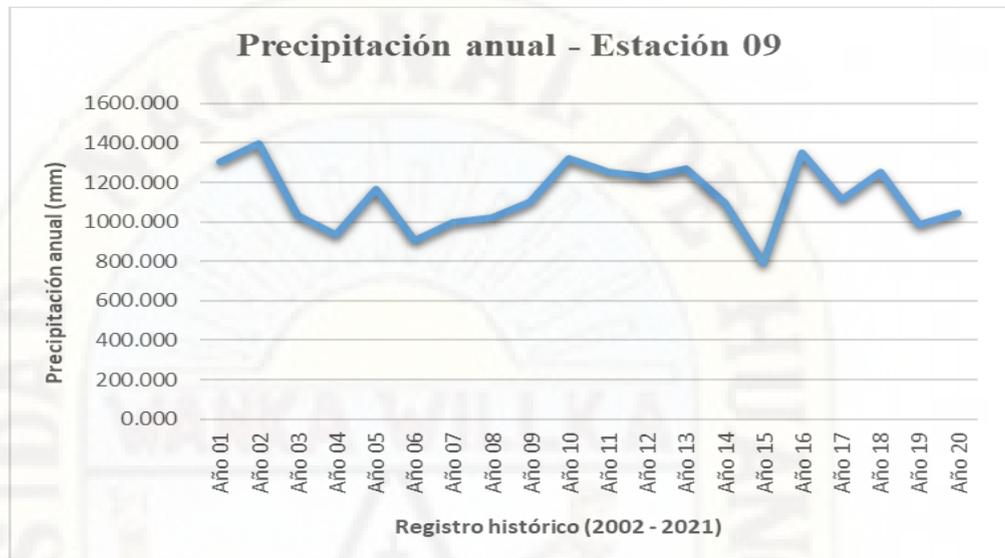
08



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 38

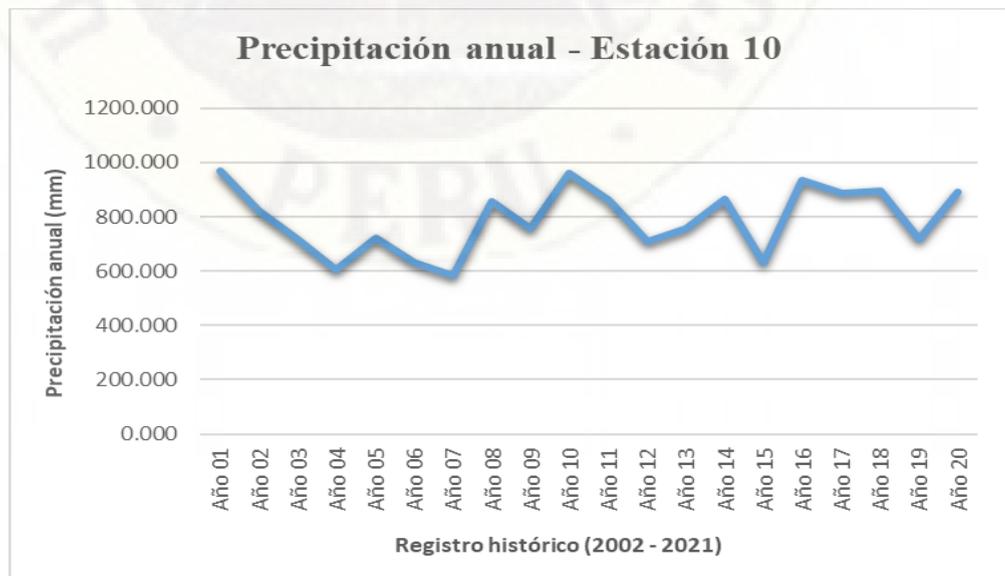
Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 09



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 39

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N° 10

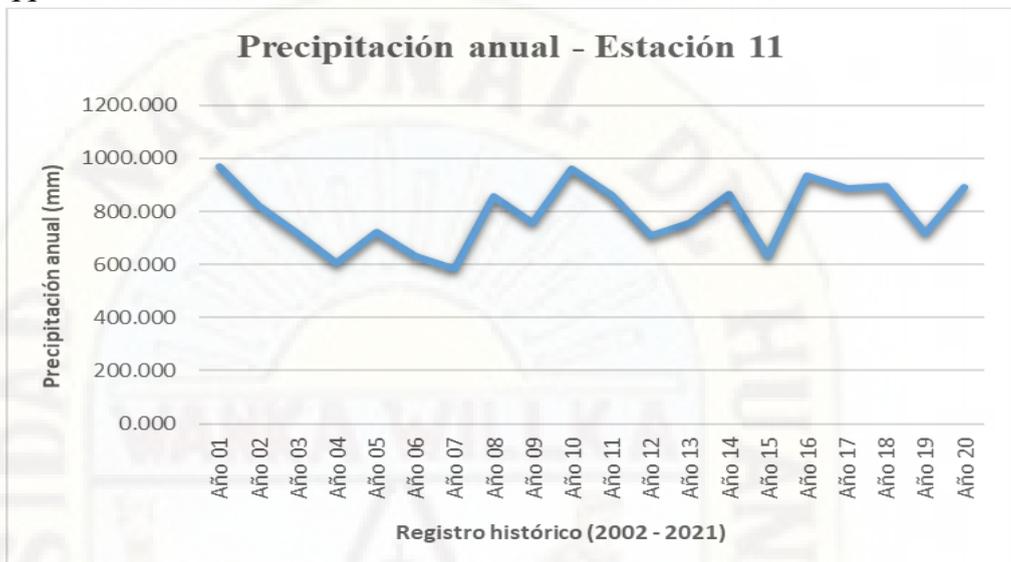


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 40

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

11

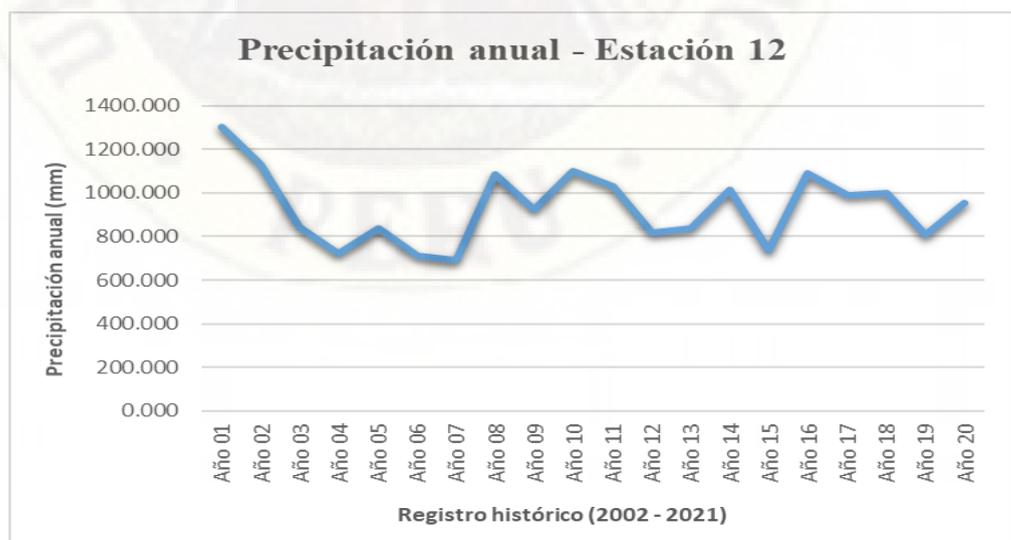


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 41

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

12

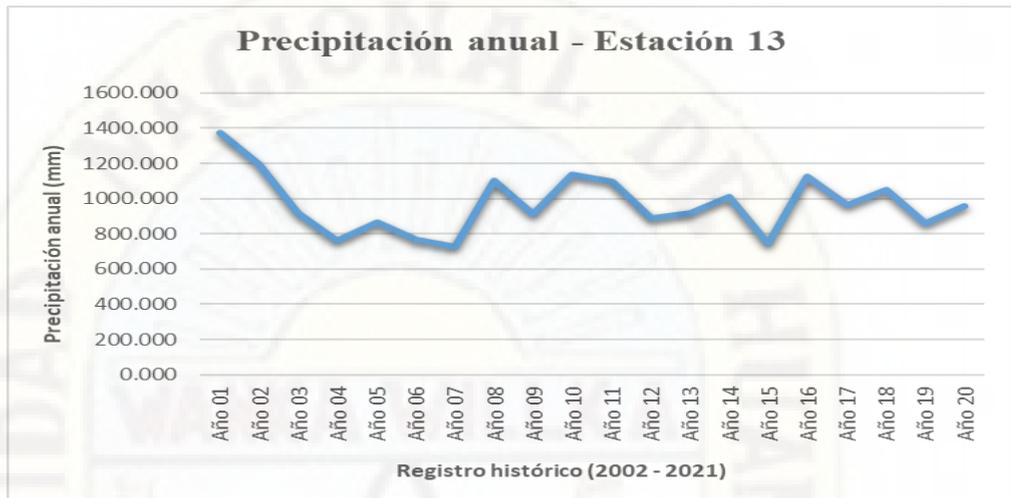


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 42

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

13

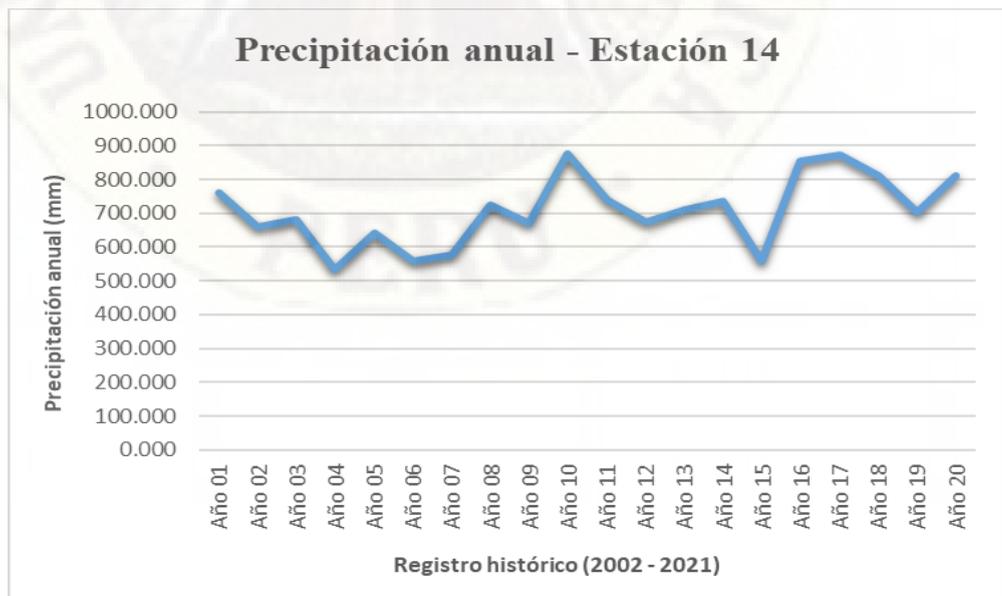


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 43

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

14

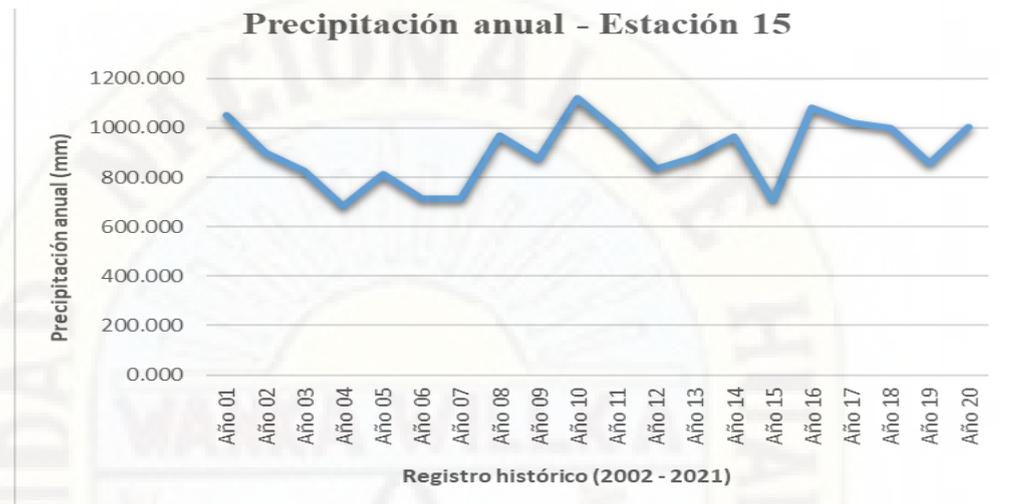


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 44

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

15

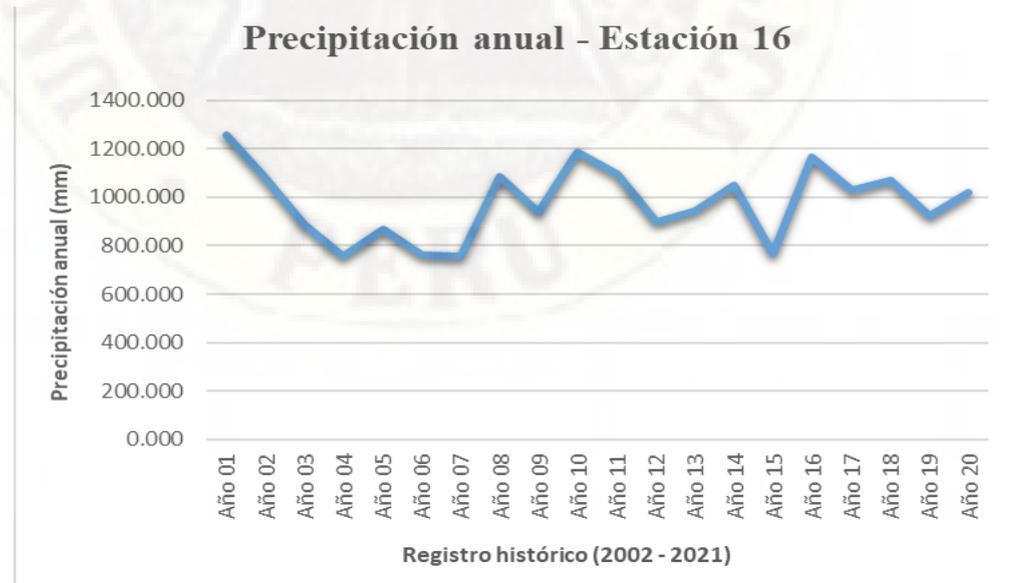


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 45

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

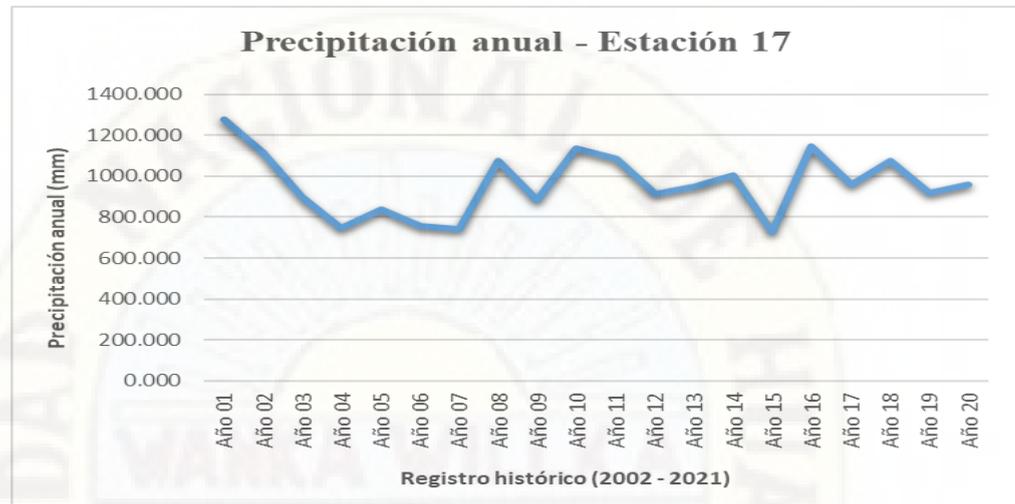
16



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 46

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

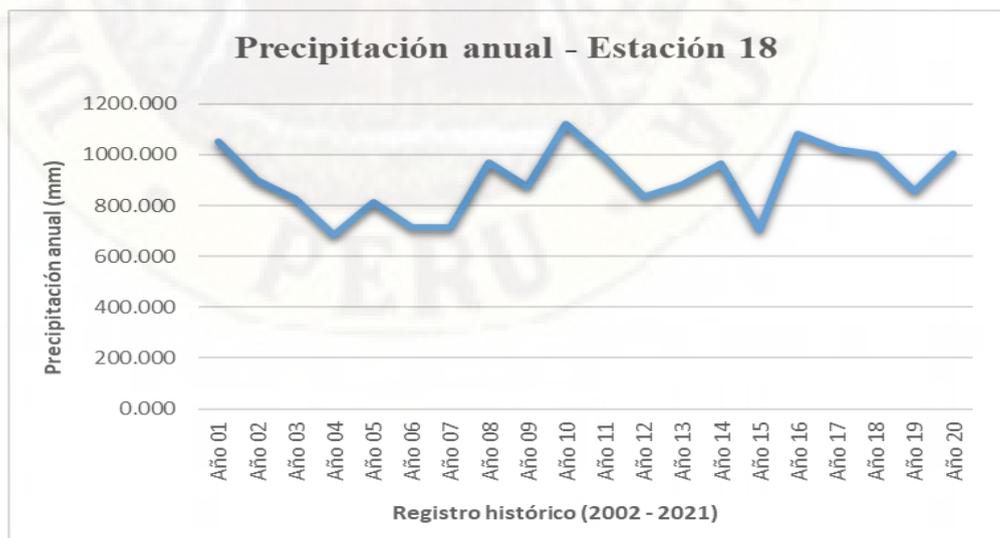


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 47

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

18

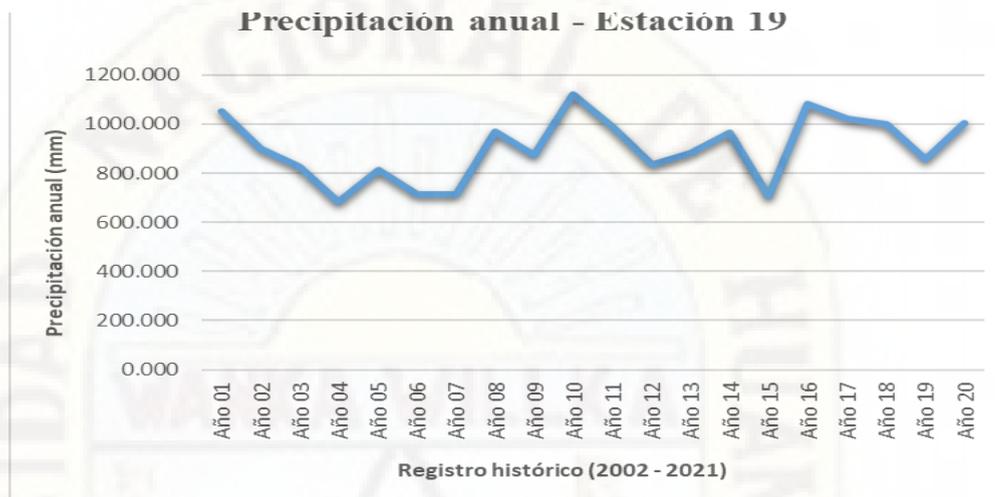


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 48

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

19

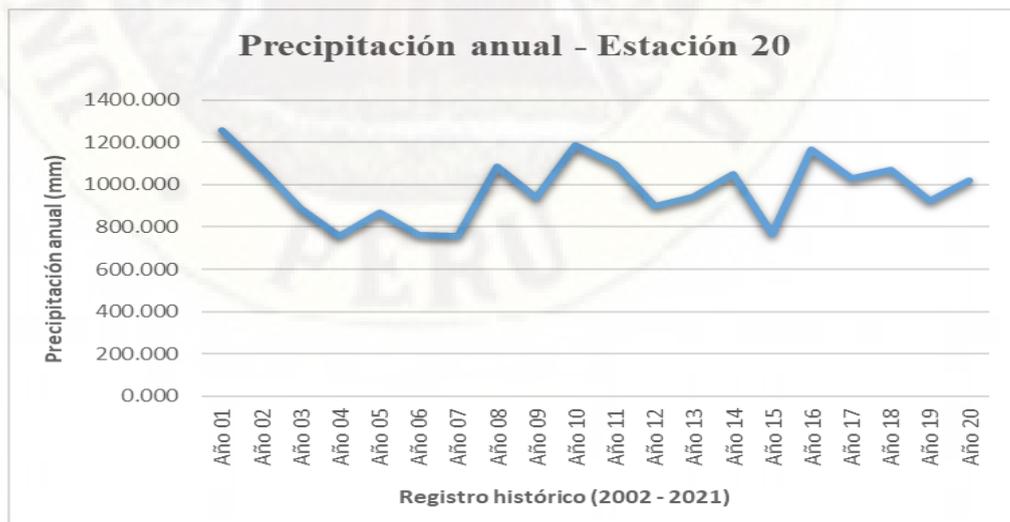


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 49

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

20



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 50

Variación de la precipitación anual de la estación pluviométrica sintética N°

21



Fuente: Elaboración propia, 2022

Por otra parte, en el análisis de la precipitación media para 20 años la estación pluviométrica sintética con mayor tasa de precipitación fue la Estación 09 con un promedio de 1,128.497 mm ubicada en la parte alta de la sub cuenca Ichu, y la estación que presenta la mínima tasa de precipitación es la Estación 14 con un promedio de 707.261 mm ubicada en la parte baja de la sub cuenca Ichu.

Figura 51

Variación de la precipitación media para un periodo de 20 años



Fuente: Elaboración propia, 2022.

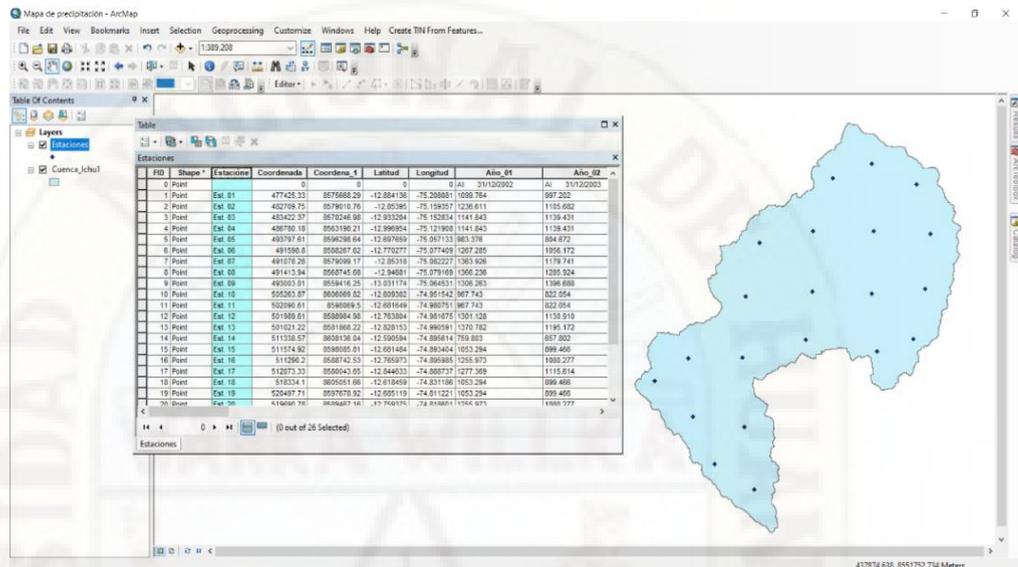
A partir de la información obtenida, procedimos con la elaboración del mapa de precipitación local con la metodología de Isoyetas, como explicaremos en el procedimiento que viene a continuación:

Contando con la base de datos de precipitación por cada estación pluviométrica sintética y a su vez, la ubicación de las mismas, insertamos la base de datos en el programa y los ubicamos con “Display XY Data” creando un shapefile de las estaciones representada con puntos.

Figura 52

Ubicación de las estaciones pluviométricas sintéticas en el programa ArcGIS

10.8.1

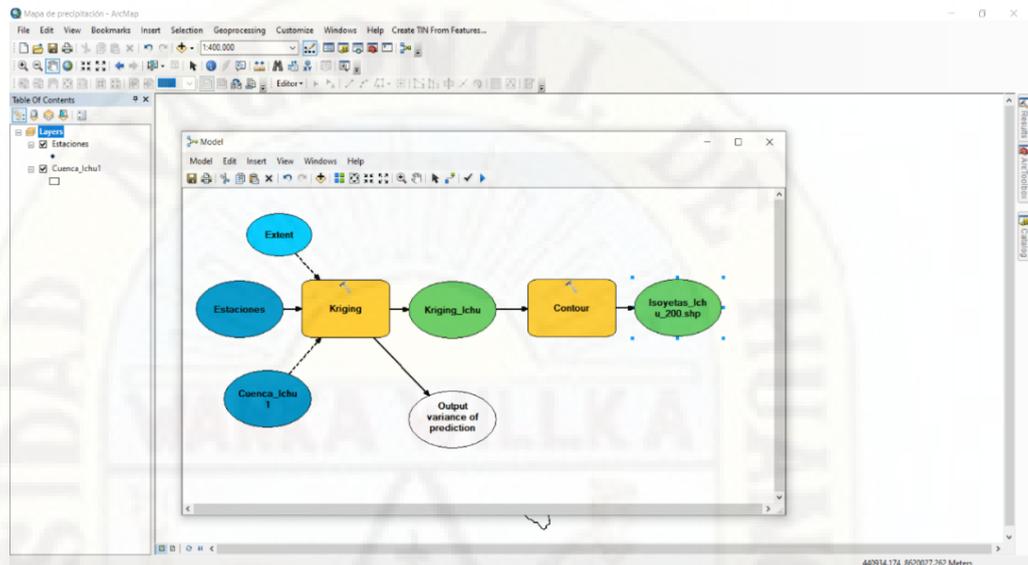


Fuente: elaboración propia, 2022.

Continuando, a través del “ModelBuilder”, establecemos todas las herramientas y procesos que debe seguir el programa para la creación del mapa de precipitación local, empezamos con la herramienta “Spatial Analyst Tools > Interpolation > Kriging > Make variable > From Environment > Processing Extent > Extent > Shape de la sub cuenca Ichu”, seguido de “Kriging > Make variable > From Environment > Raster Analysis > Mask > Shape de la sub cuenca Ichu”, enlazamos el resultado de la aplicación de la herramienta “Kriging” con la herramienta “Contour” donde establecemos el intervalo de las isoyetas que en este caso será con un intervalo de 10.

Figura 53

Aplicación del ModelBuilder para la elaboración del mapa de precipitación local

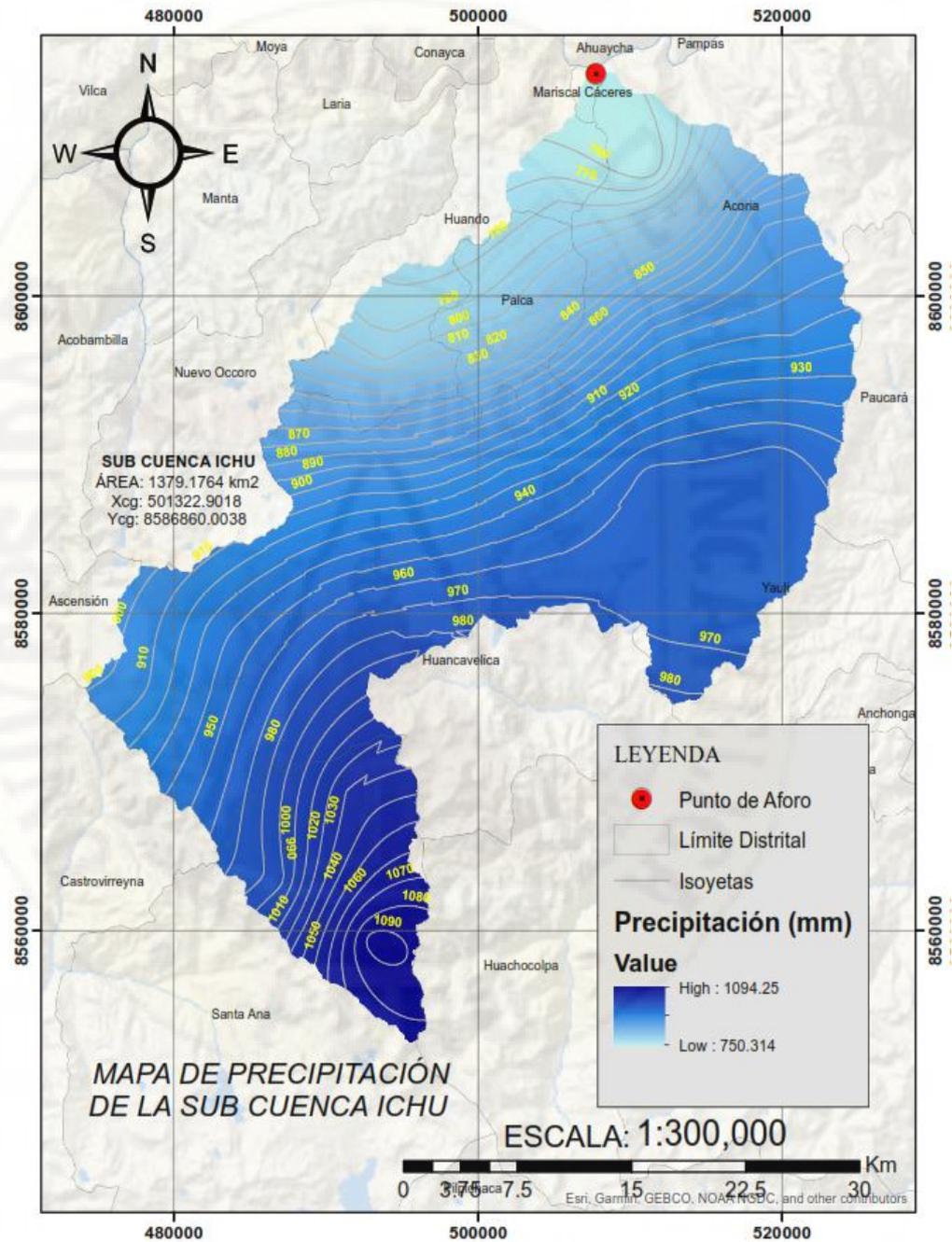


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Validamos el modelo y corremos, terminado el proceso obtuvimos el mapa de precipitación local con la metodología de Isoyetas.

Figura 54

Mapa de precipitación local de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

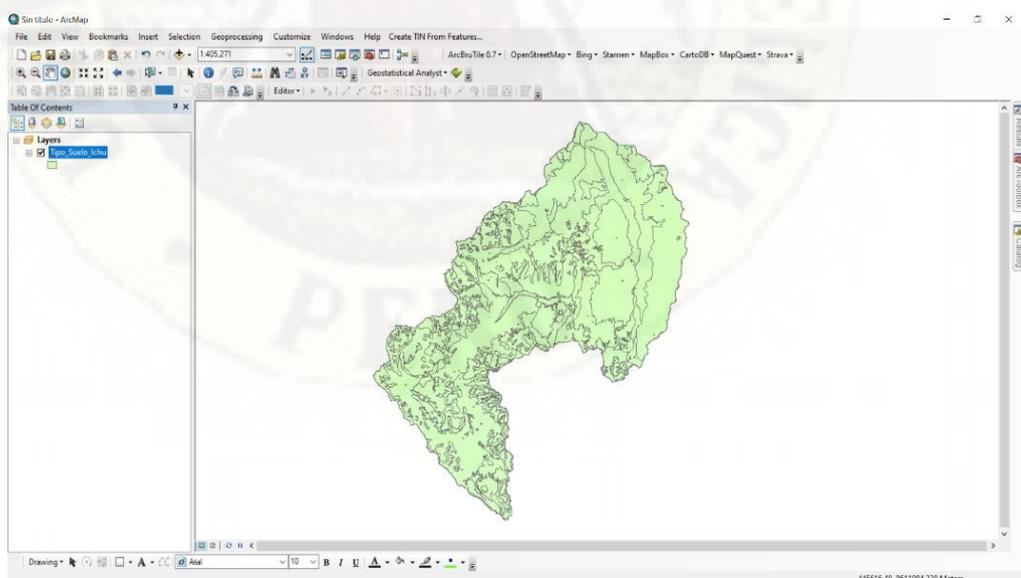
d) Tipo de suelo

Para la elaboración del mapa de uso de suelo, se tomó como dato base la ZEE Huancavelica en su última versión, obtenida del Gobierno Regional de Huancavelica, esta nos brinda información del tipo de suelo a nivel departamental, pero, para el trabajo de investigación es necesario obtener la información de uso de suelo de la sub cuenca Ichu, el procedimiento de obtención del mapa fue el siguiente:

Teniendo la base de datos del ZEE Huancavelica y enlazado al Folder Connections, se procede a buscar dentro de la ZEE la carpeta “M_FÍSICO > MF_SUELOS”, seguido del uso de la herramienta “Geoprocessing > Clip” para realizar el corte a la forma de la sub cuenca Ichu.

Figura 55

Base suelos de la sub cuenca Ichu

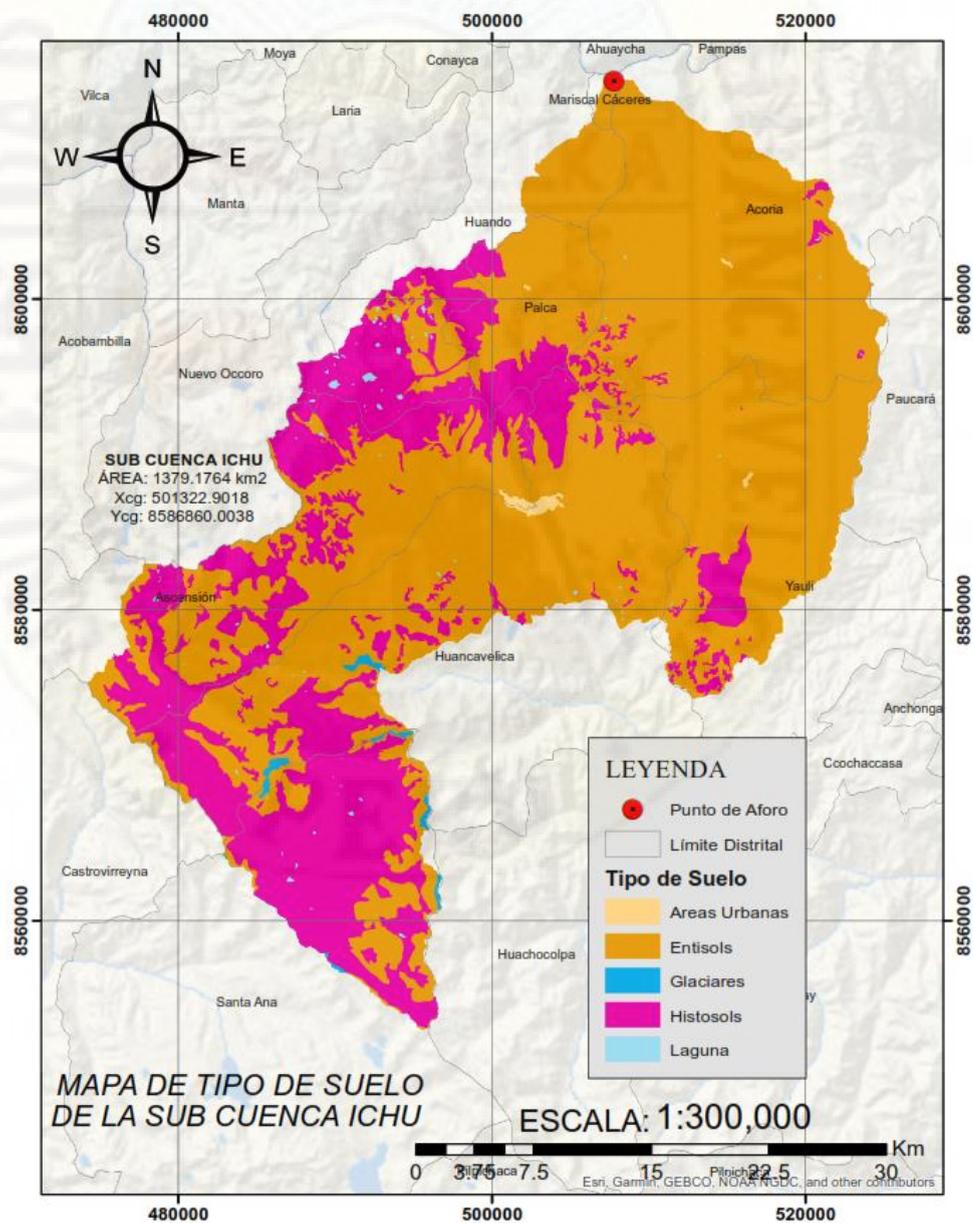


Fuente: ZEE gobierno regional Huancavelica

A través de las “Layer Properties > Symbology > Categories > Unique values” de la sub cuenca Ichu, insertamos la clasificación del uso de suelo con un total de 5 tipos de suelo registrados, categorizadas de acuerdo a su Orden; como se muestra en la siguiente figura.

Figura 56

Mapa de tipo de suelos de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

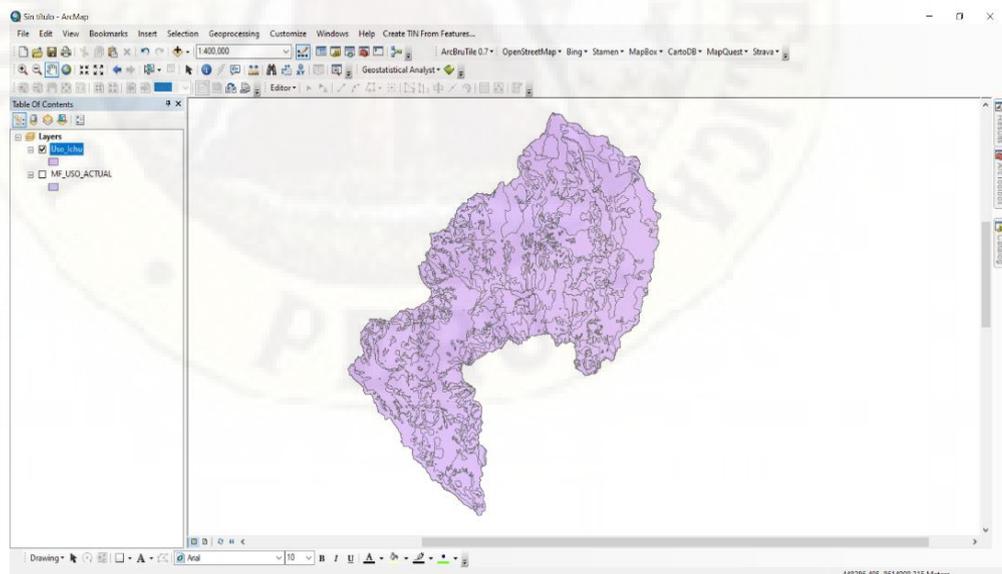
e) Uso de suelo

En la elaboración del mapa de uso de suelo, se tomó como dato base la ZEE Huancavelica en su última versión, obtenida del Gobierno Regional de Huancavelica, esta nos brinda información del uso de suelo a nivel departamental, pero, para el trabajo de investigación es necesario obtener la información de uso de suelo de la sub cuenca Ichu, el procedimiento de obtención del mapa fue el siguiente:

Teniendo la base de datos del ZEE Huancavelica enlazado al Folder Connections, se procede a buscar dentro de la ZEE la carpeta “M_FÍSICO > MF_USO_ACTUAL”, seguido del uso de la herramienta “Geoprocessing > Clip” para realizar el corte a la forma de la sub cuenca Ichu.

Figura 57

Base uso actual de la sub cuenca Ichu



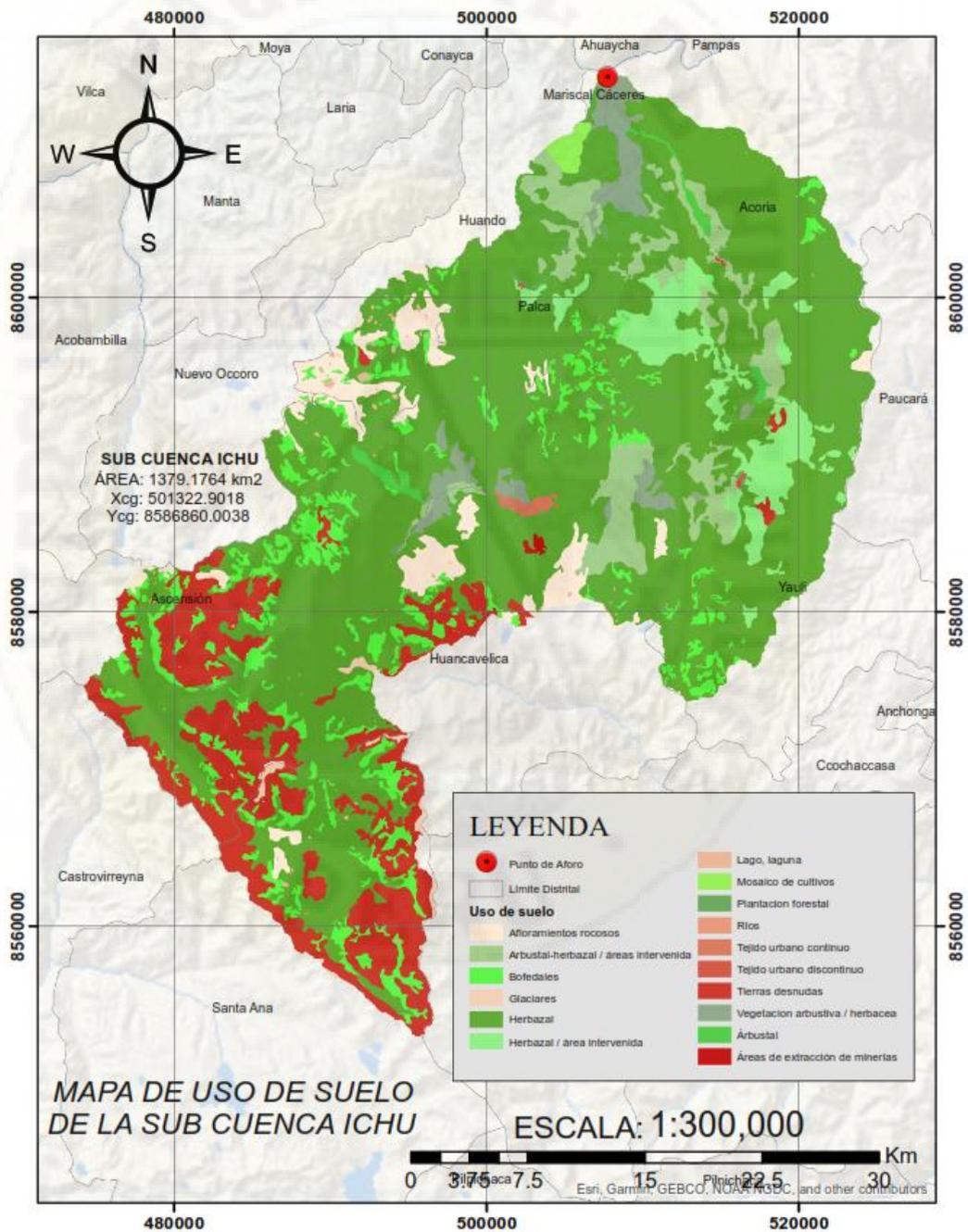
Fuente: ZEE, Gobierno regional de Huancavelica

A través de las “Layer Properties > Symbology > Categories > Unique values” de la sub cuenca Ichu, insertamos la clasificación del uso de suelo con

un total de 16 tipos de uso de suelo registrados, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 58

Mapa de uso de suelos de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

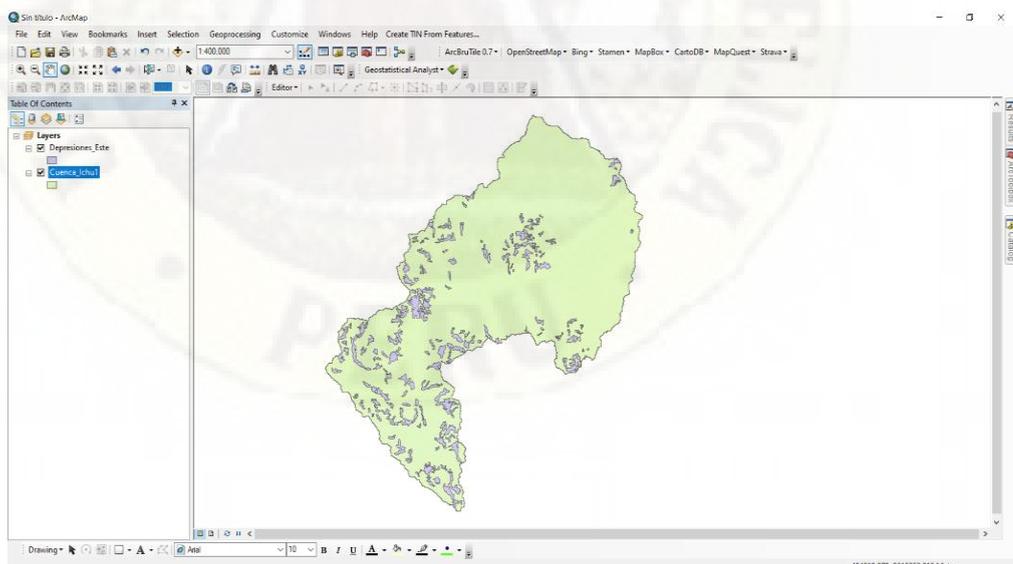
f) Depresiones kársticas

Con respecto a la elaboración del mapa de depresiones, se tomó como dato base la ZEE Huancavelica en su última versión, obtenida del Gobierno Regional de Huancavelica, esta nos brinda información de las depresiones existentes a nivel departamental, pero, para el trabajo de investigación es necesario obtener la información de depresiones de la sub cuenca Ichu, el procedimiento de obtención del mapa fue el siguiente:

Teniendo la base de datos del ZEE Huancavelica enlazado al Folder Connections, se procede a buscar dentro de la ZEE la carpeta “BASE > DEPRESIONES”, seguido del uso de la herramienta “Geoprocessing > Clip” para realizar el corte a la forma de la sub cuenca Ichu.

Figura 59

Base depresiones de la sub cuenca Ichu

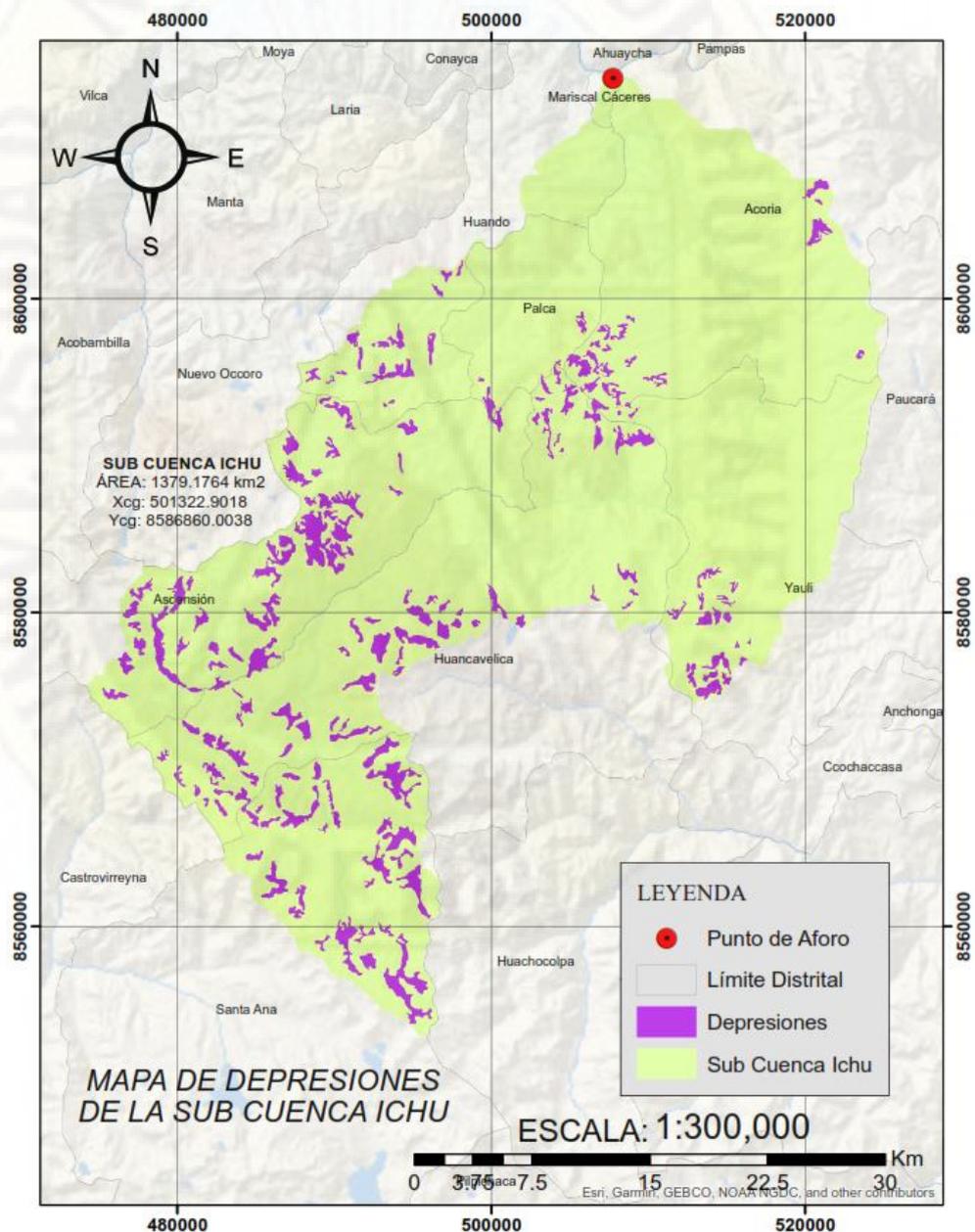


Fuente: ZEE, Gobierno regional de Huancavelica

A través del “Attribute Table” identificamos la cantidad de depresiones existentes en la sub cuenca Ichu, con un total de 170 depresiones registradas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 60

Mapa de depresiones de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

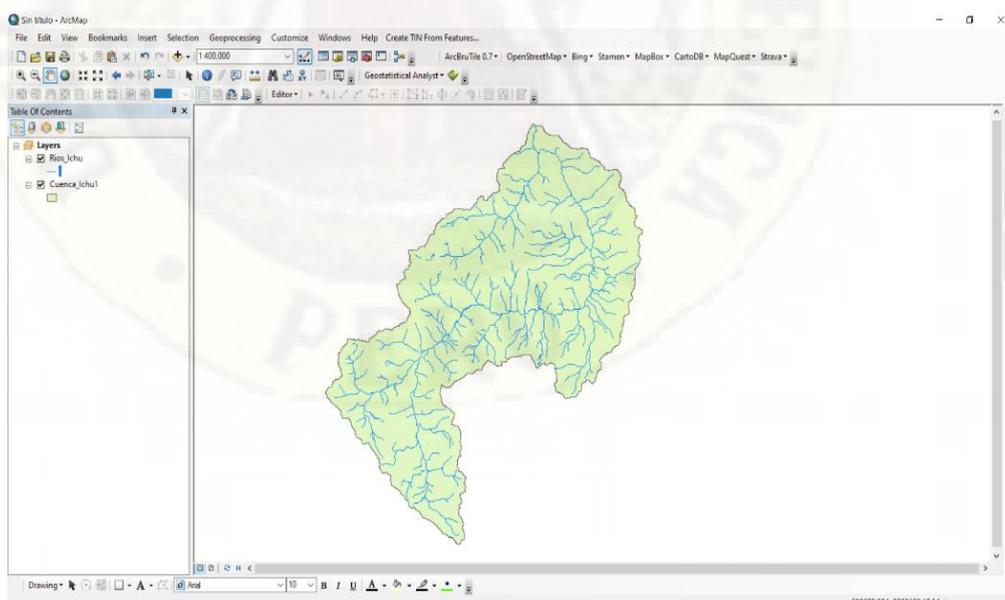
g) Corrientes superficiales

A fin de elaborar el mapa de corrientes superficiales, se tomó como dato base la ZEE Huancavelica en su última versión, obtenida del Gobierno Regional de Huancavelica, esta nos brinda información de las corrientes superficiales a nivel departamental, pero, para el trabajo de investigación es necesario obtener la información de corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu, el procedimiento de obtención del mapa fue el siguiente:

Teniendo la base de datos del ZEE Huancavelica enlazado al Folder Connections, se procede a buscar dentro de la ZEE la carpeta “BASE > BASE_RÍOS_LINEA”, seguido del uso de la herramienta “Geoprocessing > Clip” para realizar el corte a la forma de la sub cuenca Ichu.

Figura 61

Base ríos línea de la sub cuenca Ichu

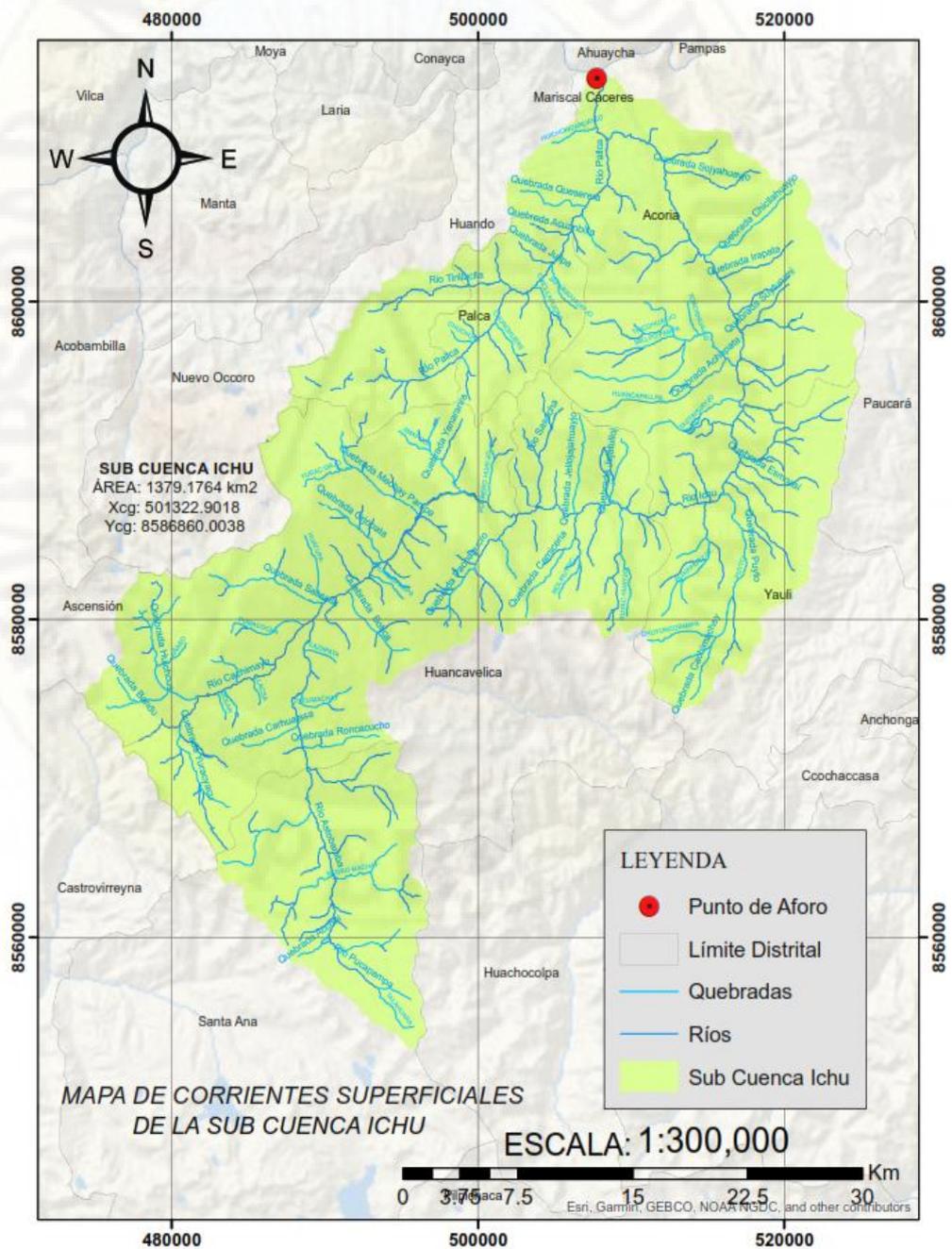


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Contando con la información, procedimos a su clasificación entre ríos y quebradas correspondientes a la sub cuenca Ichu, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 62

Mapa de corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

- **Modelo aplicado para la identificación de zonas de recarga hídrica superficial**

El Proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process o AHP por sus siglas en inglés), es una técnica que se ajusta en gran medida a los requerimientos del problema que se plantea, y que se puede implementar en cinco pasos sistemáticos:

1. Desarrollo de la estructura jerárquica.
2. Representación de los juicios de valor.
3. Construcción de las matrices de juicio de valor y matrices normalizadas.
4. Cálculo de los vectores de prioridad y consistencia.
5. Análisis de resultados.

La importancia del AHP está en la determinación de pesos relativos para calificar las alternativas. Al suponer que tenemos n criterios en cierta jerarquía específica, el AHP establece una matriz de comparación por pares A de $n \times n$, que mide el juicio del tomador de decisiones de la importancia concerniente a cada criterio (Mendoza, Solano, Palencia, & Garcia, 2019).

Teniendo en cuenta el objetivo del trabajo de investigación, que es identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu, primero se realizó el llenado cualitativo de la matriz pareada; teniendo en cuenta los criterios de evaluación se realiza un versus entre cada uno de ellos para así determinar qué criterio es más importante frente al otro, que teniendo en cuenta los criterios de evaluación, la matriz generada es de orden de 7×7 .

Entonces, como primer caso, realizamos la comparación pareada que consiste en comparar el C1 (Pendiente) VS C2 (Cobertura vegetal); de esto,

podemos decir que, de acuerdo al análisis jerárquico, en la precipitación versus la cobertura vegetal para la identificación de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu, la cobertura vegetal es más importante que la precipitación para la identificación de zonas recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu. Este análisis se desarrolló para cada uno de los criterios completando así la matriz con un análisis cualitativo como se observa.

Tabla 11

Matriz pareada con tipo de llenado cualitativo

Matriz pareada (Tipo de llenado: Cualitativo)								
Criterios y/o variables		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Pendiente	C1	1	C2	C3	C1	C1	C1	C1
Cobertura Vegetal	C2		1	C3	C2	C2	C2	C2
Precipitación local	C3			1	C3	C3	C3	C3
Tipo de Suelo	C4				1	C5	C6	C4
Uso de Suelo	C5					1	C5	C5
Depresiones Kársticas	C6						1	C6
Corrientes Superficiales	C7							1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Habiendo identificado que criterio es más importante frente a otro de manera cualitativa, se procedió con el llenado cuantitativo de la matriz pareada

de acuerdo a la escala fundamental de comparación por pares propuesto por Thomas Saaty en el año 1980.

Tabla 12

Escala de comparación

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuyen con propiedad en igual forma
3	Moderadamente más importante un elemento sobre otro	El juicio y la experiencia favorece a un elemento por sobre el otro
5	Fuertemente más importante un elemento sobre otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más importante un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados como valores de consenso entre dos juicios

Fuente: The Analytic Hierarchy Process (Thomas, 1980).

Tabla 13*Matriz pareada con tipo de llenado cuantitativo*

Matriz pareada (Tipo de llenado: Cuantitativo)								
Crterios y/o variables		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Pendiente	C1	1	1/2	1/2	3	2	3	3
Cobertura Vegetal	C2	2	1	1/2	2	2	3	2
Precipitación local	C3	2	2	1	3	3	5	3
Tipo de Suelo	C4	1/3	1/2	1/3	1	1	1	2
Uso de Suelo	C5	1/2	1/2	1/3	1	1	2	1
Depresiones Kársticas	C6	1/3	1/3	1/5	1	1/2	1	1
Corrientes Superficiales	C7	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Al tener la matriz pareada de llenado cuantitativo completo, se siguió con el llenado de la matriz normalizada, para obtener la ponderación que cada criterio considerado para el desarrollo del trabajo de investigación debe poseer.

Tabla 14*Matriz normalizada y ponderación*

	Matriz normalizada							Ponderación
C1	0.1538	0.0938	0.1563	0.2609	0.1905	0.1875	0.2308	0.1819
C2	0.3077	0.1875	0.1563	0.1739	0.1905	0.1875	0.1538	0.1939
C3	0.3077	0.3750	0.3125	0.2609	0.2857	0.3125	0.2308	0.2979
C4	0.0513	0.0938	0.1042	0.0870	0.0952	0.0625	0.1538	0.0925
C5	0.0769	0.0938	0.1042	0.0870	0.0952	0.1250	0.0769	0.0941
C6	0.0513	0.0625	0.0625	0.0870	0.0476	0.0625	0.0769	0.0643
C7	0.0513	0.0938	0.1042	0.0435	0.0952	0.0625	0.0769	0.0753

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Después de obtener la ponderación para cada criterio, se realizó la multiplicación de la matriz pareada de llenado cuantitativo con la matriz de la ponderación para así obtener el índice de consistencia (CI), el índice aleatorio (RI) y la proporción de consistencia o ratio de consistencia (CR).

Tabla 15*Obtención del nmax*

C1	1	1/2	1/2	3	2	3	3	0.1819	1.3127
C2	2	1	1/2	2	2	3	2	0.1939	1.4236
C3	2	2	1	3	3	5	3	0.2979	2.1571
C4	1/3	1/2	1/3	1	1	1	2	* 0.0925 =	0.6585
C5	1/2	1/2	1/3	1	1	2	1	0.0941	0.6778
C6	1/3	1/3	1/5	1	1/2	1	1	0.0643	0.4641
C7	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1	0.0753	0.5369

Fuente: Elaboración propia, 2022.

$$CI = \frac{(n_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Donde:

n_{max} : 1.3127 + 1.4236 + 2.1571 + 0.6585 + 0.6778 + 0.4641 + 0.5369

n : orden de la matriz

$$RI = \frac{1.98 * (n - 2)}{n}$$

Donde:

n : orden de la matriz

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tabla 16

Valores del índice de consistencia (CI), el índice aleatorio (RI) y la proporción de consistencia o ratio de consistencia (CR).

CI	0.0385
RI	1.4143
CR	0.0272

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La proporción de consistencia o ratio de consistencia (CR) debe tener un valor menor a 0.1 o 10 % de acuerdo a los porcentajes máximos de la ratio de consistencia CR establecidos por Thomas Saaty, que son los valores que permiten asegurar la correcta ponderación de criterios.

Tabla 17*Valor de consistencia del modelo propuesto*

Parámetro		AHP	Valor de consistencia
Pendiente	C1	0.1819	18.19 %
Cobertura Vegetal	C2	0.1939	19.39 %
Precipitación local	C3	0.2979	29.79 %
Tipo de Suelo	C4	0.0925	9.25 %
Uso de Suelo	C5	0.0941	9.41 %
Depresiones Kársticas	C6	0.0643	6.43 %
Corrientes Superficiales	C7	0.0753	7.53 %

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Esta investigación cuenta con un valor de la proporción de consistencia o ratio de consistencia para la identificación de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu de 2.72 %, por lo tanto, se afirma que los valores ponderados para los criterios C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 son los más idóneos.

El modelo propuesto se resume en la ecuación de ZRHS, en ella se describen las variables analizadas y el porcentaje que corresponde a cada una de ellas, la importancia de cada parámetro evaluado denota un porcentaje parcial del total que es el 100%.

$$ZRHS = [0.1819(PEN) + 0.1939(COB) + 0.2979(PRE) + 0.0925(T - SUE) + 0.0941(USO) + 0.0643(DEP) + 0.0753(COR)]$$

Donde:

ZRHS : Zonas de recarga hídrica superficial

PEN : Pendiente

COB : Cobertura vegetal

PRE : Precipitación local

T – SUE : Tipo de suelo

USO : Uso de suelo

DEP : Depresiones kársticas

COR : Corrientes superficiales

De esta forma utilizando el modelo propuesto, se relacionaron los parámetros considerados para esta investigación, obteniendo el mapa con la identificación de zonas de recarga hídrica superficial.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos

4.1.1. Delimitación de la sub Cuenca del Río Ichu – Huancavelica

La sub cuenca del Río Ichu, que representa el área de intervención del trabajo de investigación, está ubicada en el departamento de Huancavelica, en la zona suroccidental del Perú.

La sub cuenca presenta una superficie terrestre de 1379.1764 km², un perímetro de 304.75 km y una longitud de cuenca de 62.8251 km, donde las coordenadas UTM – 18S al centro de gravedad de la cuenca son, Xcg: 501322.9018 m y Ycg: 8586860.0038 m.

Tabla 18

Parámetros básicos de la sub cuenca Ichu

Parámetro	Medida	Unidad
Área	1379.1764	km ²
Perímetro	304.75	km
Longitud de cuenca	62.8251	km
Xcg	501322.9018	m
Ycg	8586860.0038	m

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nota:

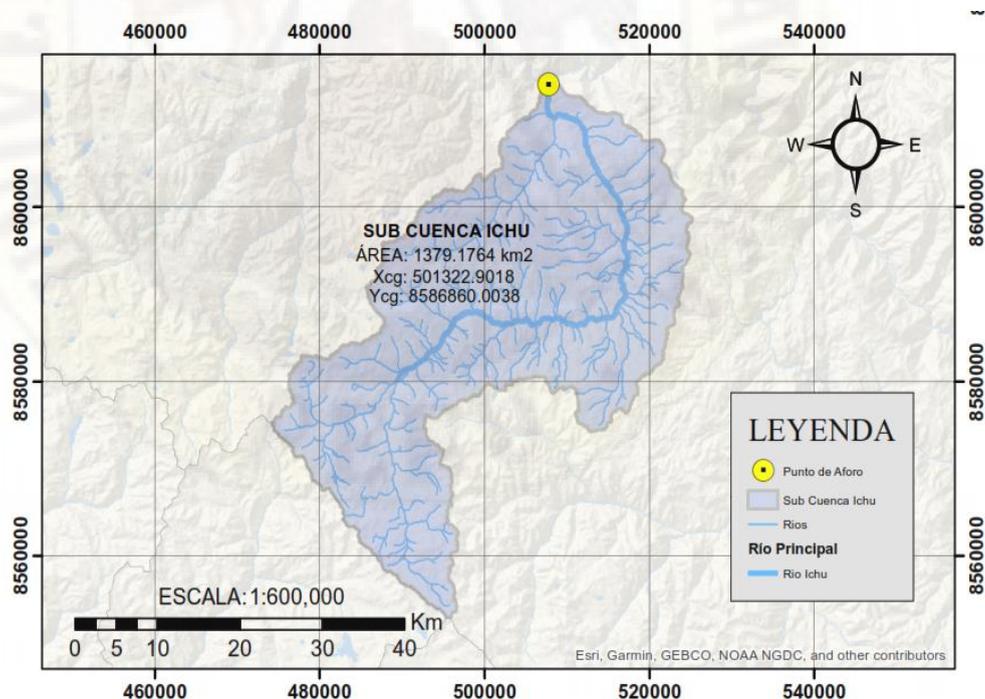
Xcg: Coordenadas UTM (x), al centro de gravedad.

Ycg: Coordenadas UTM (y), al centro de gravedad.

La sub cuenca en su parte alta es formado por los ríos Cachimayo y Pucapampa, los mismos que se forman por la escorrentía en las laderas producidas por los deshielos de los Nevados Antarazo, Huamanrazo y Carhuarazo (pertenecientes al relieve de la Cordillera de Chonta) de la provincia de Castrovirreyna, y en su recorrido cruza varios distritos, el mismo que pasa por la ciudad de Huancavelica, Yauli y Acoria; para después adentrarse al distrito de Mariscal Cáceres y luego desembocar en el caudaloso río Mantaro. Su recorrido es de suroeste a norte (Gómez & Paytan, 2018).

Figura 63

Mapa de la sub cuenca del Río Ichu



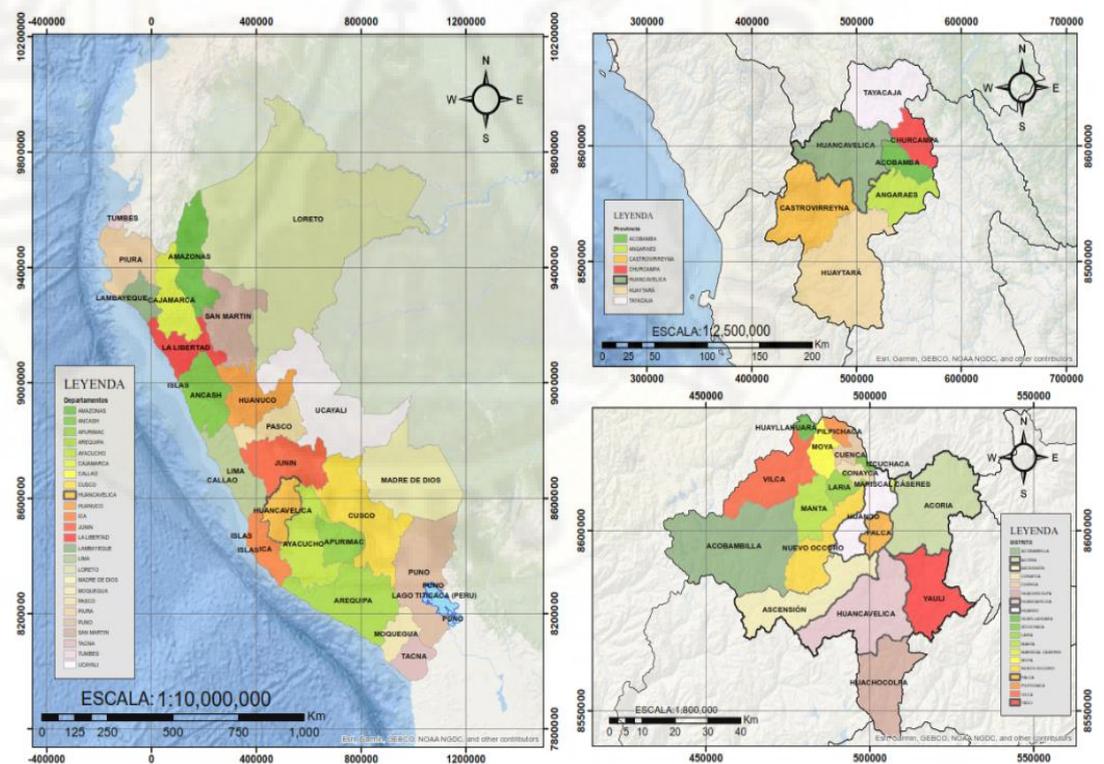
Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la sub cuenca del Río Ichu se encuentra entre los puntos Norte: 8615000 – 8553000 y Este: 526000 – 474000 de acuerdo a las coordenadas UTM. El trabajo de investigación se realizó en el departamento de Huancavelica, provincia de Huancavelica y los distritos comprendidos por la sub cuenca del Río Ichu que son: Acoria, Ascensión, Huancavelica, Huando, Palca y Yauli.

Figura 64

Ubicación geográfica de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.1. Demarcación hidrográfica

La Autoridad Nacional de Agua, conocida por sus siglas ANA, es la entidad encargada de ejercer la rectoría técnica – normativa y establecer procedimientos para la gestión integrada, sostenible y multisectorial de los recursos hídricos. Dentro de sus funciones el ANA ha elaborado un mapa de las principales cuencas hidrográficas del Perú, este mapa incluye la Cuenca del Mantaro como una cuenca principal, esta cuenca contiene 18 sub cuencas y dentro de estas se encuentra la Sub Cuenca del Río a la cual le corresponde el código hidrográfico de 79964.

Tabla 19

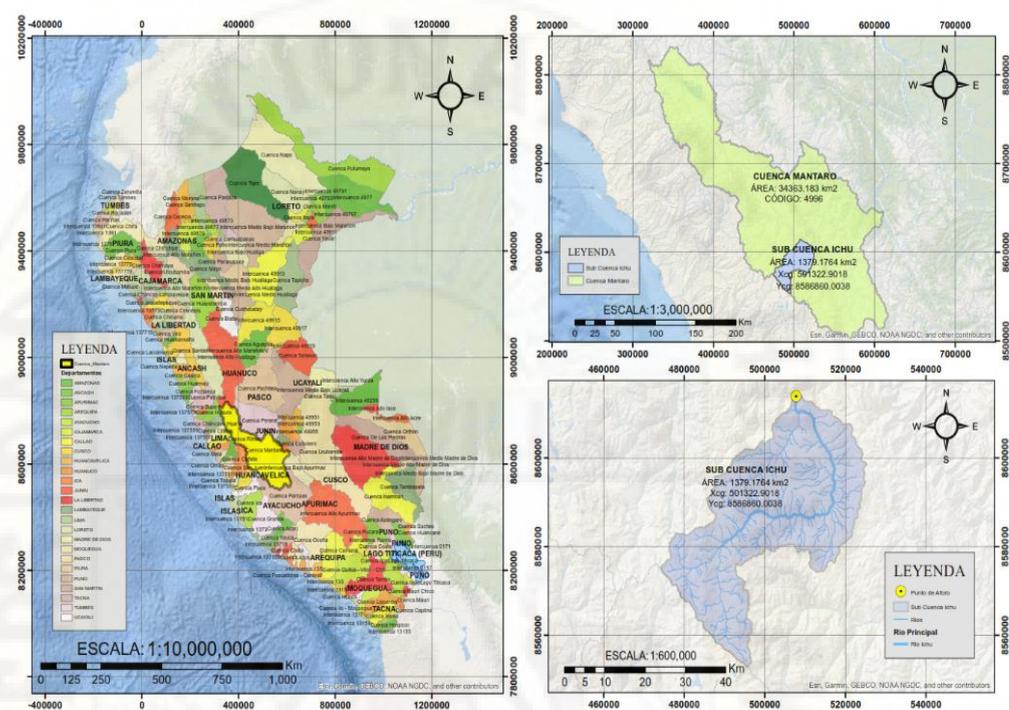
Sub cuencas que conforman la cuenca del Mantaro

N ^a	Cuenca	Sub cuenca
1		Bajo Mantaro
2		Conocancha
3		Cunas
4		Huarpa
5		Ichu
6		Junín
7		Lag. Huarmicocha
8		Medio Alto Mantaro
9	Cuenca Mantaro	Medio Bajo Mantaro
10		Medio Mantaro
11		Pachacayo
12		San Juan
13		Unidad Hidrológica
14		Unidad Hidrológica
15		Unidad Hidrológica
16		Unidad Hidrológica
17		Vilca
18	Yauli	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 65

Demarcación hidrográfica de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.2. Demarcación política

Una gran parte de la Sub Cuenca del Río Ichu ocupa la superficie de la Provincia de Huancavelica, ocupando íntegramente los Distritos de Acoria, Ascensión, Huancavelica, Huando, Mariscal Cáceres, Palca y Yauli, entre tanto, la Provincia de Castrovirreyna solo abarca una pequeña parte de la Sub Cuenca la cual está comprendida en el Distrito de Santa Ana.

Tabla 20

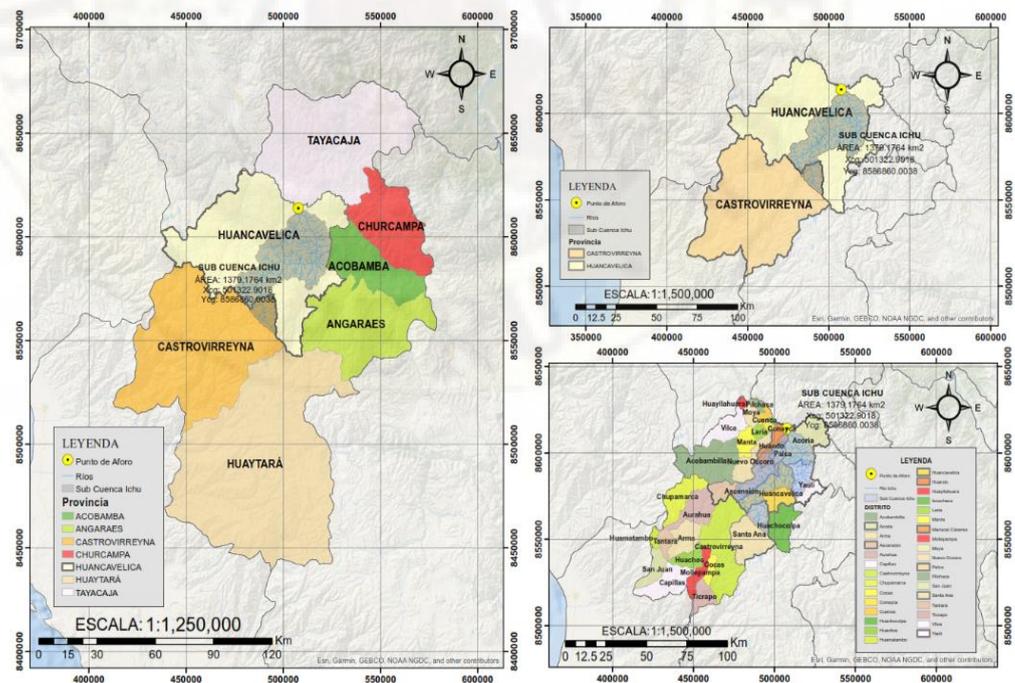
Distritos que conforman la sub cuenca Ichu

Departamento	Provincia	Distrito
Huancavelica	Huancavelica	Acoria
	Huancavelica	Ascensión
	Huancavelica	Huancavelica
	Huancavelica	Huando
	Huancavelica	Mariscal Cáceres
	Huancavelica	Palca
	Castrovirreyna	Yauli
	Castrovirreyna	Santa Ana

Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 66

Demarcación política de la sub cuenca Ichu



Fuente: Elaboración propia, 2022

4.2.3. Elaboración de mapas de acuerdo al modelo propuesto

a) Pendiente

Las pendientes con un bajo porcentaje de 0% al 15%; como son las superficies planas, cóncavas y convexas; favorecen la infiltración y recarga hídrica al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo; mientras que sucede lo contrario con pendientes de alto porcentaje, donde la escorrentía es más rápida, el proceso de infiltración y recarga disminuyen y se aceleran los procesos de erosión y compactación de los suelos.

Para la determinación de la pendiente se utilizó la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de pendiente y microrrelieve, elaborado por Oscar Matus en la Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica, que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrrelieve

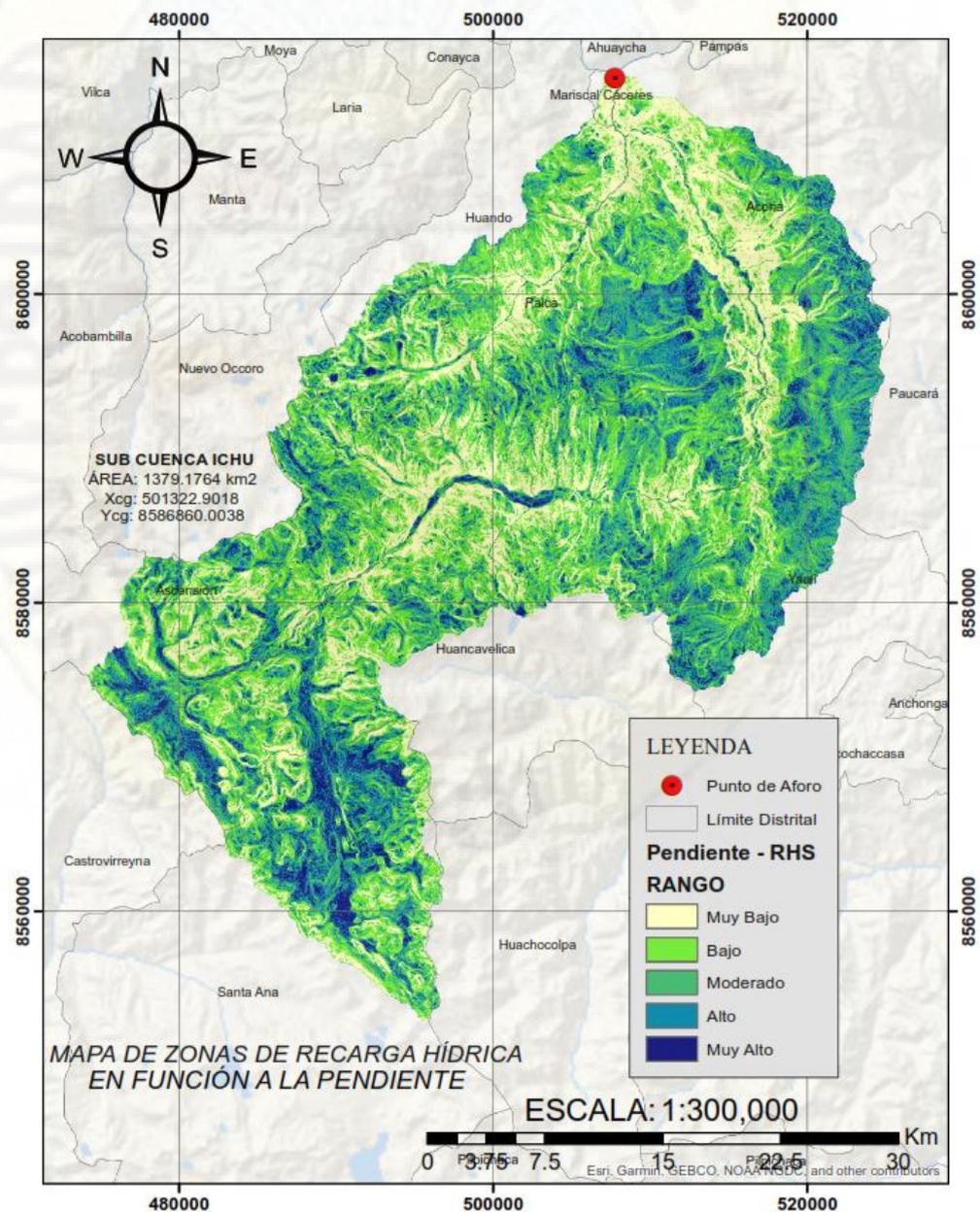
Microrrelieve	Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 – 6	Muy Alto	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 – 15	Alto	4
Ondulado/cóncavo	15 – 45	Moderado	3
Escarpado	45 – 65	Bajo	2
Fuertemente escarpado	> 65	Muy Bajo	1

Fuente: (Matus, Faustino, & Juménez, 2009)

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 21 correspondiente a la pendiente, en la figura N° 68 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función a la pendiente.

Figura 67

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las pendientes



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de pendientes obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende la pendiente de 0 – 6%, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga con pendientes entre el 6 – 15%, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con pendientes entre el 15 – 45%, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con pendientes entre el 45 – 65% y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga con pendientes mayores al 65%.

En la tabla N° 22 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar las pendientes en el área de investigación.

Tabla 22

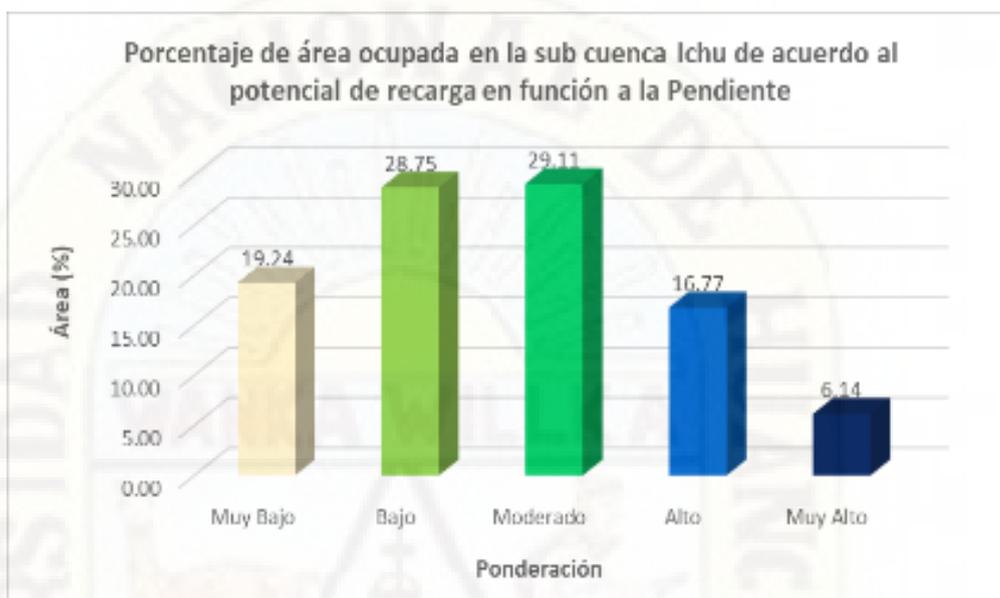
Distribución de la pendiente y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	265.3335	19.24
Bajo	396.5103	28.75
Moderado	401.4549	29.11
Alto	231.2370	16.77
Muy Alto	84.6407	6.14
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 68

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la pendiente



Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo a la Figura N° 69, la sub cuenca Ichu presenta en su mayoría zonas con una pendiente entre 15 – 45 %, con un potencial de recarga moderada, representada por un 29.11 % de ocupación del área total de la zona de estudio, es decir, se encuentran mayormente áreas con microrrelieve ondulado o cóncavo; seguida del potencial de recarga bajo con un porcentaje de 28.75 % de ocupación del área total de la zona de estudio representada por una pendiente de 45 – 65 %; por otro lado, el área de investigación presenta una minoría de zonas que favorecen el potencial de recarga hídrica, representada por una pendiente entre 0 – 6 % con un potencial de recarga muy alta, esta presenta un porcentaje 6.14 % de ocupación del área total de la zona de estudio.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada a la pendiente se identifica como una sub cuenca con un moderado potencial de recarga, ya que las pendientes predominantes en la sub cuenca se encuentran entre 15 – 45 % que representan un tipo de relieve ondulado o cóncavo.

b) Cobertura vegetal

La cobertura vegetal tiene una relación directa con el potencial de recarga, ya que es un factor que influye en la infiltración del agua, puesto que permite un mayor contacto del agua con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, el impacto de las gotas de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. La cobertura vegetal está representada por básicamente tres estratos que son: bosques, arbustos y hierbas.

Con respecto a la determinación de la cobertura vegetal se utilizó la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de cobertura vegetal permanente, elaborado por Oscar Matus en la Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica, que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

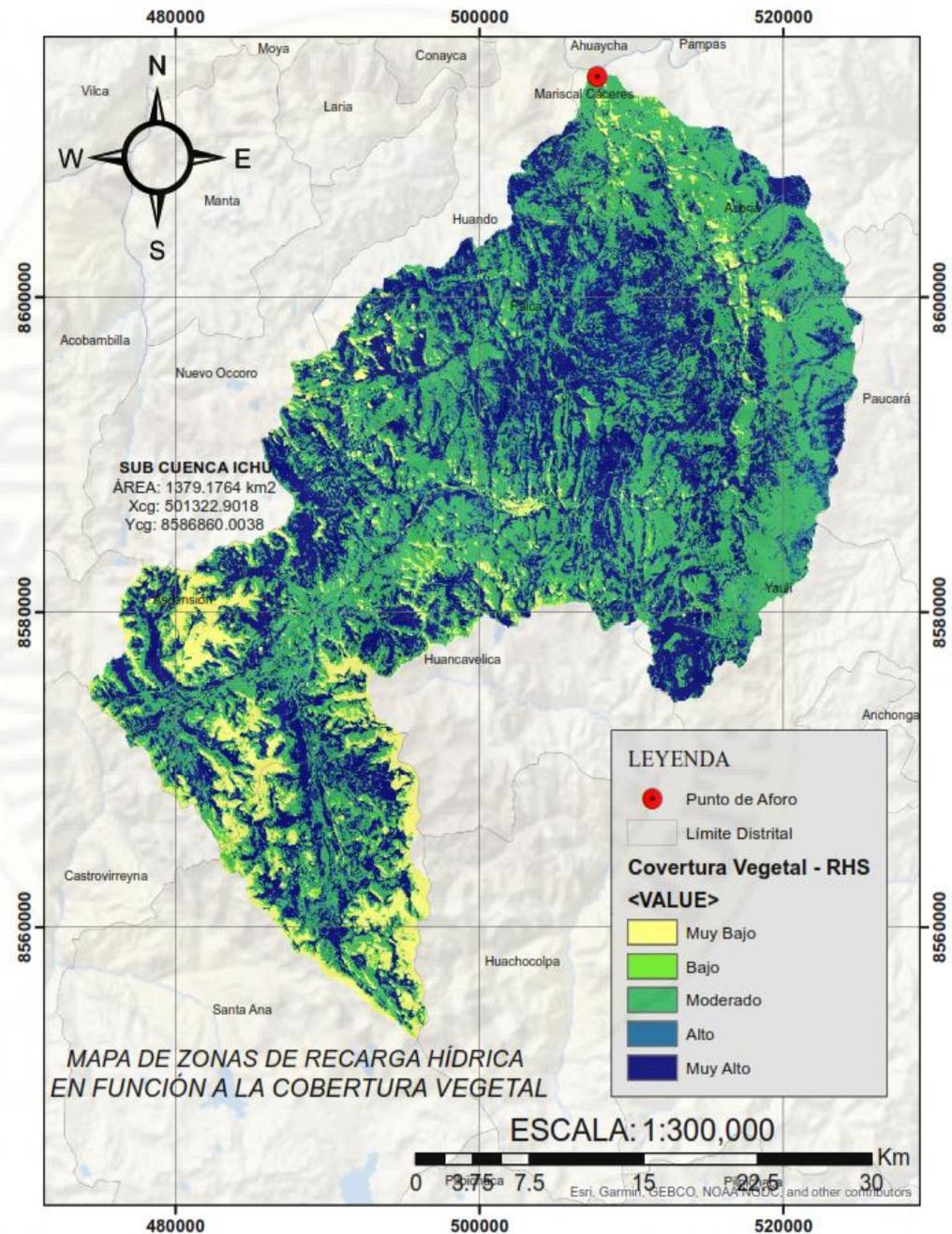
Cobertura vegetal permanente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 80	Muy Alto	5
70 - 80	Alto	4
50 - 70	Moderado	3
30 - 50	Bajo	2
< 30	Muy Bajo	1

Fuente: (Matus, Faustino, & Juménez, 2009)

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 23, correspondiente a la cobertura vegetal, en la figura N° 70 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función a la cobertura vegetal.

Figura 69

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en la cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de cobertura vegetal obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende un porcentaje mayor a 80 % de cobertura vegetal, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga con un porcentaje entre 70 – 80 % de cobertura vegetal, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con un porcentaje entre 50 – 70 % de cobertura vegetal, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con un porcentaje entre 30 – 50 % de cobertura vegetal y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga con una cobertura vegetal menor al 30 %.

En la tabla N° 24 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar la cobertura vegetal en el área de investigación.

Tabla 24

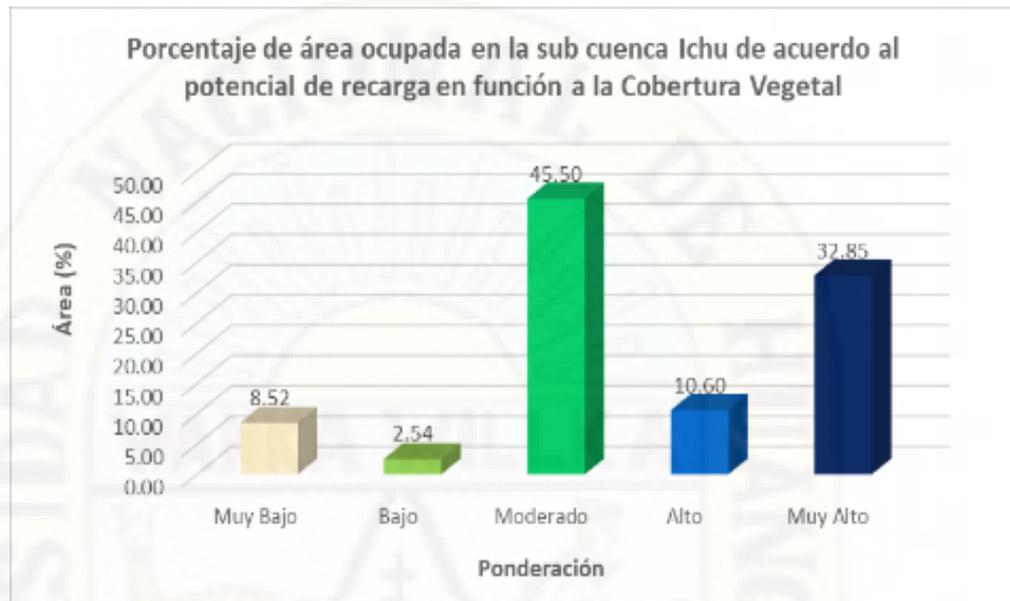
Distribución de la cobertura vegetal y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	117.4896	8.52
Bajo	34.9785	2.54
Moderado	627.4602	45.50
Alto	146.1744	10.60
Muy Alto	453.0737	32.85
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 70

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia, 2022.

La Figura N° 70 nos muestra que el área de estudio presenta en una gran mayoría un potencial de recarga moderado, esto es, un 50 – 70 % de cobertura con plantas medianamente sanas, con un porcentaje de ocupación de 45.50 % del área total de la sub cuenca Ichu representada por un área de 627.4602 km²; como segundo valor máximo de porcentaje de ocupación, se encuentra el potencial de recarga muy alto con una cobertura vegetal mayor al 80 %, representada por un porcentaje de 32.85 % y 453.0737 km² del área total del área de estudio, este tipo de cobertura identificada como vegetación saludable, permite un mayor contacto del agua con el suelo y por consiguiente una mayor infiltración; el potencial de recarga muy bajo presenta un porcentaje de 8.52 % y 117.4896 km² del área total de la sub cuenca ichu, este valor está

representado por vegetación muerta, agua superficial y objetos inanimados como las rocas que impiden la infiltración de agua meteórica puesto que no son objetos permeables.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada a la cobertura vegetal se identifica como una sub cuenca con un moderado potencial de recarga, presentando una cobertura vegetal de vegetación medianamente sana.

c) Precipitación local

La precipitación forma parte de los procesos de transferencia del ciclo hidrológico, al igual que la infiltración, definiendo de mejor forma las zonas potenciales de recarga del acuífero. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente, superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea; también, la lluvia alimenta las corrientes superficiales que drenan el área y crean susceptibilidades de infiltración según sea el tipo de suelo y el estrato rocoso subyacente, que define la velocidad de infiltración.

En relación a la determinación de la precipitación local, se realizó a través del estudio de campo de la sub cuenca Ichu, llegando a la ponderación del potencial de recarga en función a la precipitación media anual teniendo en cuenta la ubicación de la sub cuenca en la sierra del Perú; la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica asociada a la precipitación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica asociada a la precipitación

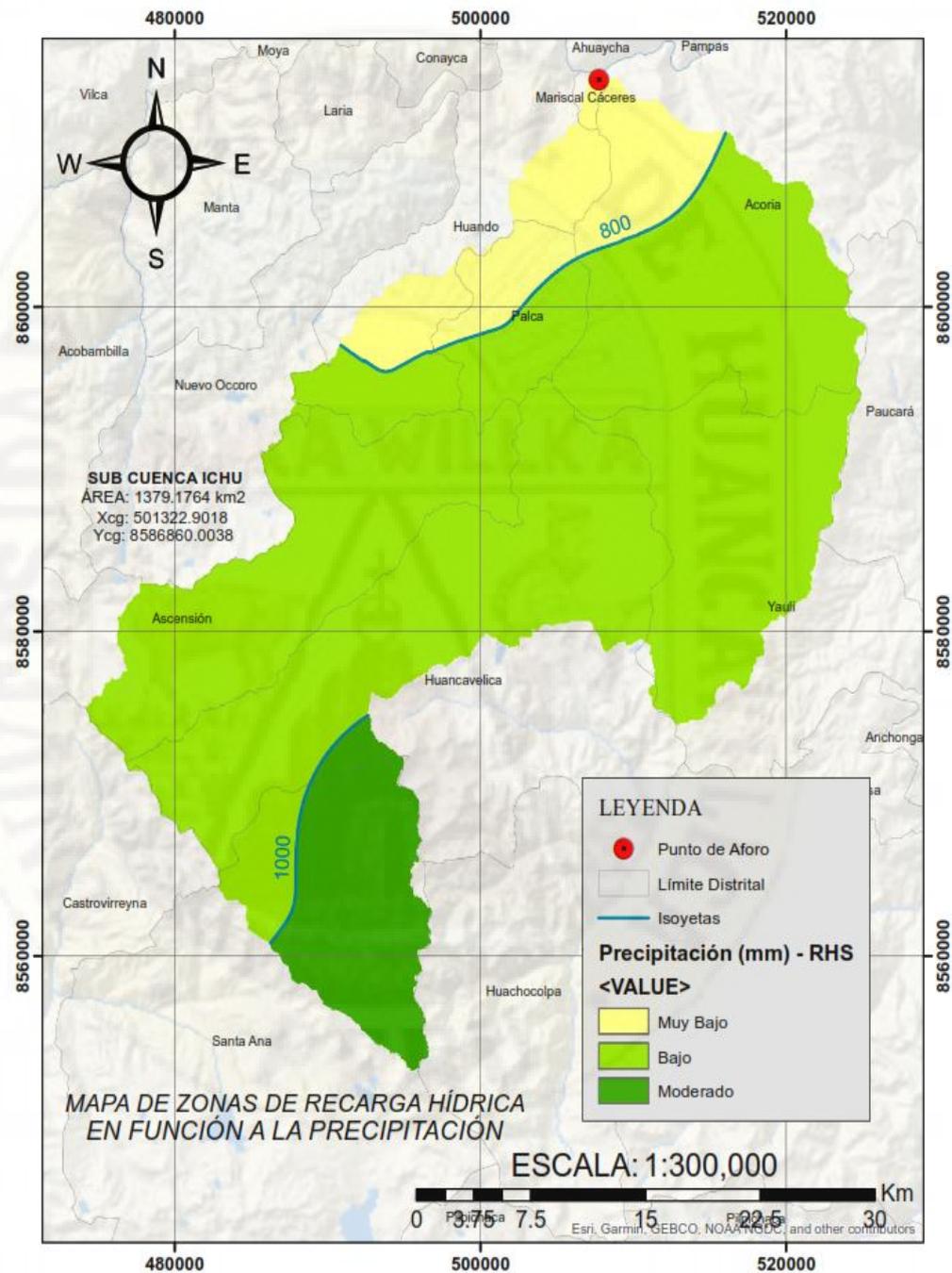
Precipitación (mm)	Posibilidad de recarga	Ponderación
> 1500	Muy Alto	5
1200 - 1500	Alto	4
1000 - 1200	Moderado	3
800 - 1000	Bajo	2
< 800	Muy Bajo	1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Referente a la clasificación presentada en la tabla N° 25 correspondiente a la precipitación, en la figura N° 71 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función a la precipitación local.

Figura 71

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en la precipitación local



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de precipitación obtenido muestra un color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga representada por una precipitación media anual de 1000 – 1200 mm de lluvia, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con una precipitación media anual de 800 – 1000 mm de lluvia y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga atribuido a una precipitación media anual menor a 800 mm de lluvia.

En la tabla N° 26 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar la precipitación local en el área de investigación.

Tabla 26

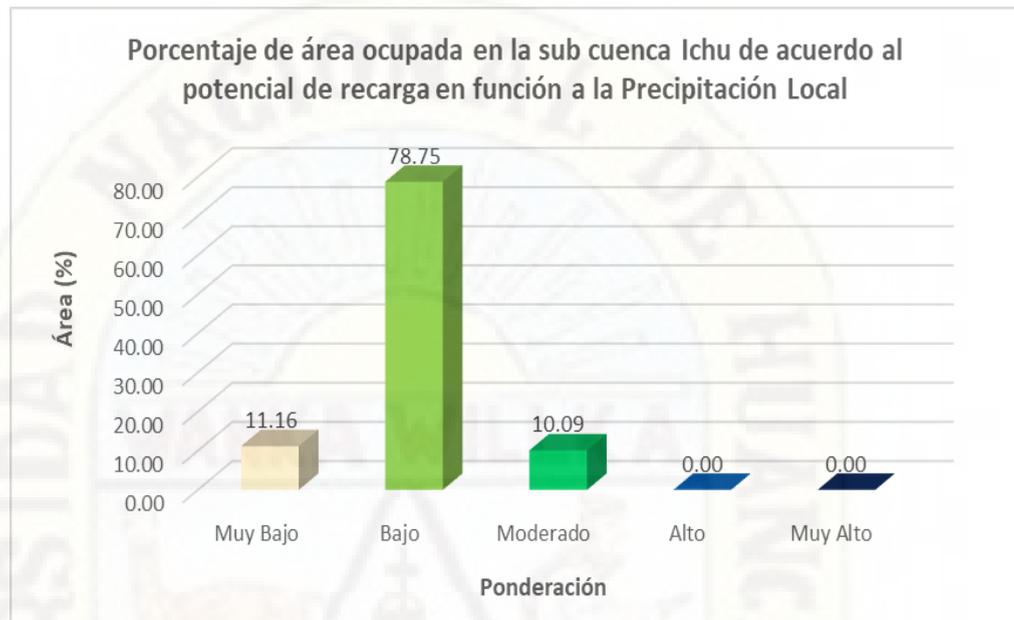
Distribución de la precipitación y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	153.9198	11.16
Bajo	1086.0631	78.75
Moderado	139.1931	10.09
Alto	0.0000	0.00
Muy Alto	0.0000	0.00
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 72

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a la precipitación local



Fuente: Elaboración propia, 2022.

En relación a la Figura N° 72 el mapa de precipitación local de la sub cuenca Ichu no cuenta con un potencial de recarga alto y muy alto, debido a que la precipitación media anual máxima es de 1094.25 mm de lluvia y de acuerdo a la Tabla N° 26 el potencial de recarga alto y muy alto se encuentran desde 1200 mm a mayores de 1500 mm de precipitación media anual; la sub cuenca Ichu presenta un mayor potencial de recarga bajo comprendido desde los 800 – 1000 mm de lluvia representadas en un área de 78.75 % y 1086.0631 km² del área total de la zona de estudio; el potencial de recarga muy bajo se encuentra en la clasificación con valores menores a 800 mm, siendo el valor más bajo de precipitación media anual de la sub cuenca Ichu el de 750.31 mm de lluvia, el área del potencial de recarga muy bajo está representada con un

porcentaje de ocupación de 11.16 % y 153.9198 km² del área total de estudio; el 10.09 % o 139.1931 km² de ocupación del área total de estudio restantes, están representados por el potencial de recarga moderado que abarca la precipitación media anual entre 1000 – 1200 mm de lluvia.

El mapa de precipitación local no toma en cuenta si el evento es de corta o larga duración para determinar la infiltración y transmisibilidad del fluido, ya que estas características dependen de la erodabilidad del suelo y algunos otros factores más específicos.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada a la precipitación local se identifica como una sub cuenca con bajo potencial de recarga, con una precipitación promedio de 922.28 mm de lluvia en toda la sub cuenca Ichu.

d) Tipo de suelo

Las zonas de recarga hídrica deben ser muy permeables para asegurar una alta capacidad de infiltración, es decir que los suelos deben presentar textura gruesa y ser porosos, por el contrario, los suelos de textura fina, arcillosa y compactada dificultan la recarga hídrica, es por esta razón que el tipo de suelo es importante porque refleja su textura, porosidad, permeabilidad y compactación. Así, entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración del agua.

En cuanto a la determinación del tipo de suelo, se utilizó la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según su textura, elaborado por Oscar Matus en la Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica, que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según su textura

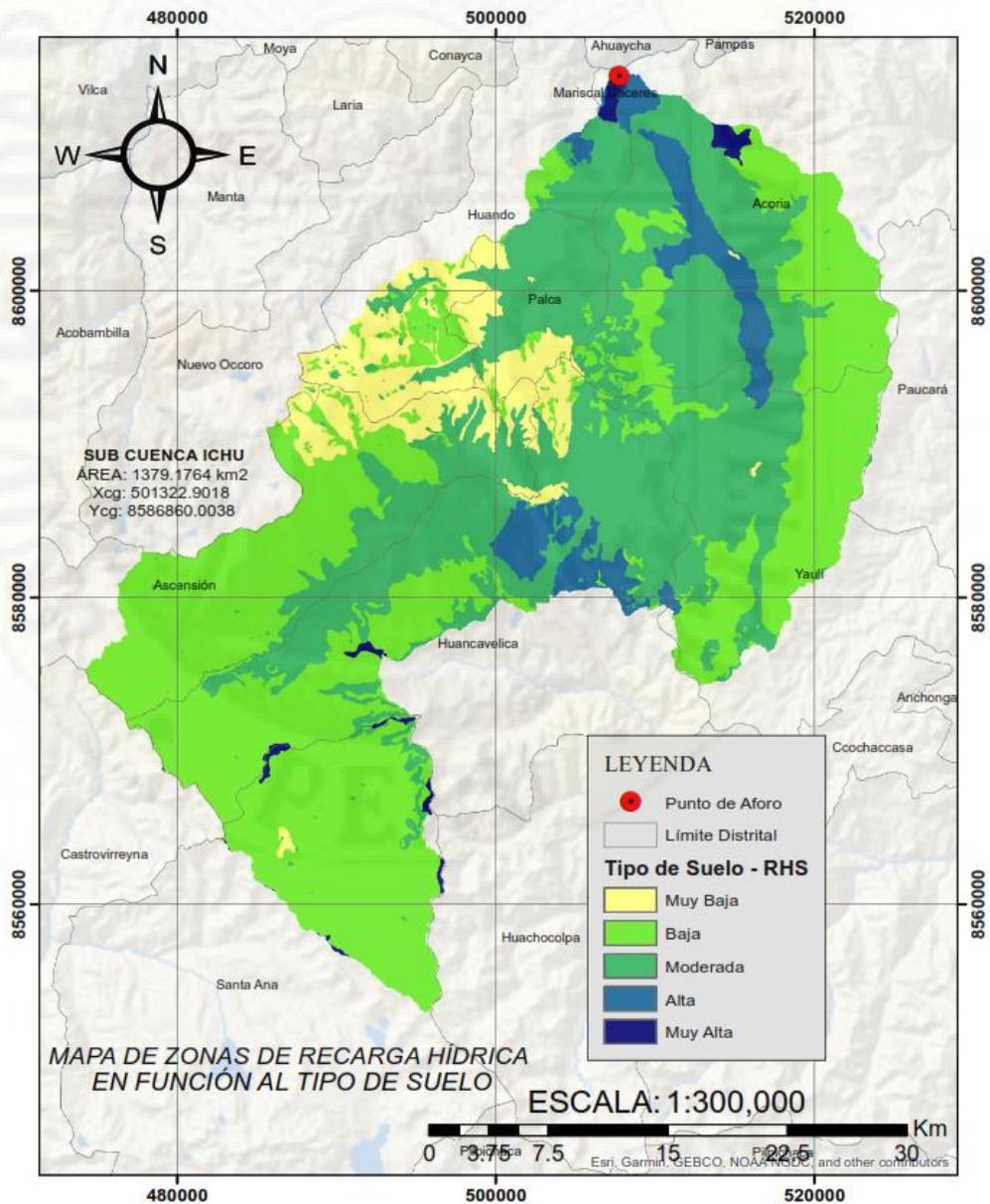
Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos o arenosos con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h)	Muy Alto	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo, y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12.7 – 25 cm/h)	Alto	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12.7 cm/h)	Moderado	3
Suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0.13 – 2 cm/h)	Bajo	2
Suelos arcilloso, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0.13 cm/h)	Muy Bajo	1

Fuente: (Matus, Faustino, & Juménez, 2009)

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 27 correspondiente al tipo de suelo, en la figura N° 72 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función al tipo de suelo.

Figura 73

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en el tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de tipo de suelos obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende a los tipos de suelo arenosos o franco arenosos, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga con tipo de suelo franco, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con tipos de suelos franco limosos, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con tipos de suelos franco arcillosos y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga con tipos de suelo arcillosos.

En la tabla N° 28 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar los tipos de suelo en el área de investigación.

Tabla 28

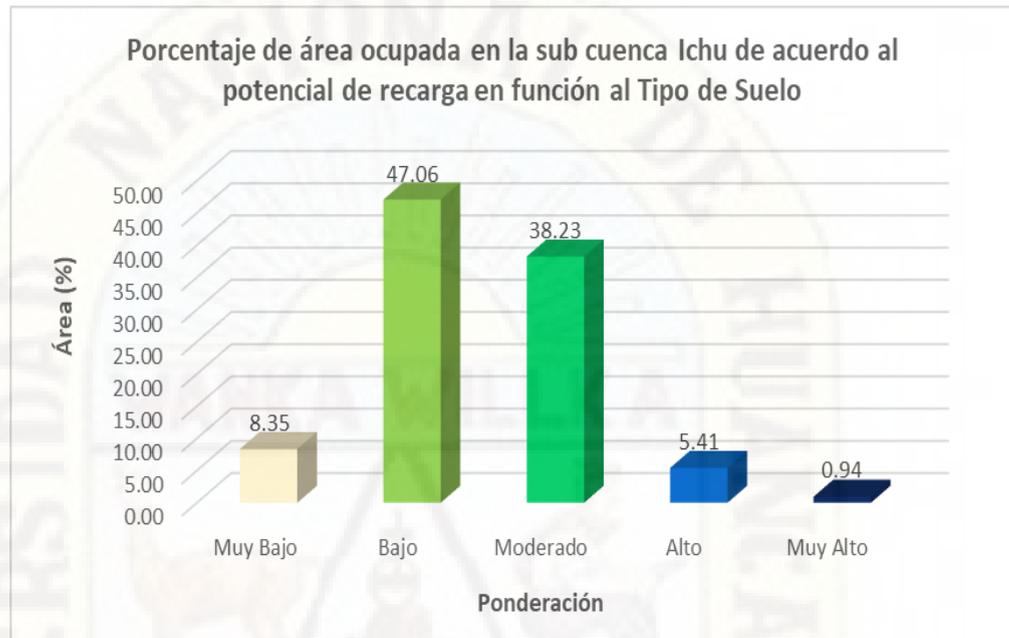
Distribución del tipo de suelo y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	115.1379	8.35
Bajo	649.0915	47.06
Moderado	527.3127	38.23
Alto	74.6658	5.41
Muy Alto	12.9687	0.94
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 74

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función al tipo de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

De la interpretación de la Figura N° 74 podemos afirmar que el tipo de suelos predominante en la sub cuenca Ichu son los suelos franco arcillosos que representan una lenta o moderadamente lenta infiltración del agua, este tipo de suelo está representado por un porcentaje de ocupación de 47.06 % y 649.0915 km² del área total del área de estudio clasificada con un potencial de recarga bajo; el segundo suelo predominante son los franco limosos que simbolizan moderadamente una rápida infiltración del agua, categorizada como un potencial moderado de recarga con un porcentaje de 38.23 % y 527.3127 km² del área de estudio; el menor porcentaje de ocupación de área con 0.94 % corresponde a la clasificación de un potencial de recarga muy alto que

comprende al tipo de suelos franco arenosos y arenosos que simbolizan una rápida capacidad de infiltración del agua.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada al tipo de suelo se identifica como una sub cuenca con bajo potencial de recarga, la sub cuenca presenta suelos franco arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración, este tipo de suelos se presenta principalmente en la zona alta de la cuenca y en la zona este de la misma.

e) Uso de suelo

El uso del suelo es el elemento más cambiante y con mayor influencia de la actividad humana, el uso inadecuado del suelo puede disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50 %, es por esta razón, que es necesario encontrar los usos que, de acuerdo a sus características, favorecen la infiltración del agua; además, hay que reconocer aquellos cultivos que afectan las características del suelo dificultando la infiltración de agua y favoreciendo la evaporación, compactación y escurrimiento del agua.

Para la determinación del uso de suelo se utilizó la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso de suelo, elaborado por Oscar Matus en la Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica, que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso de suelo

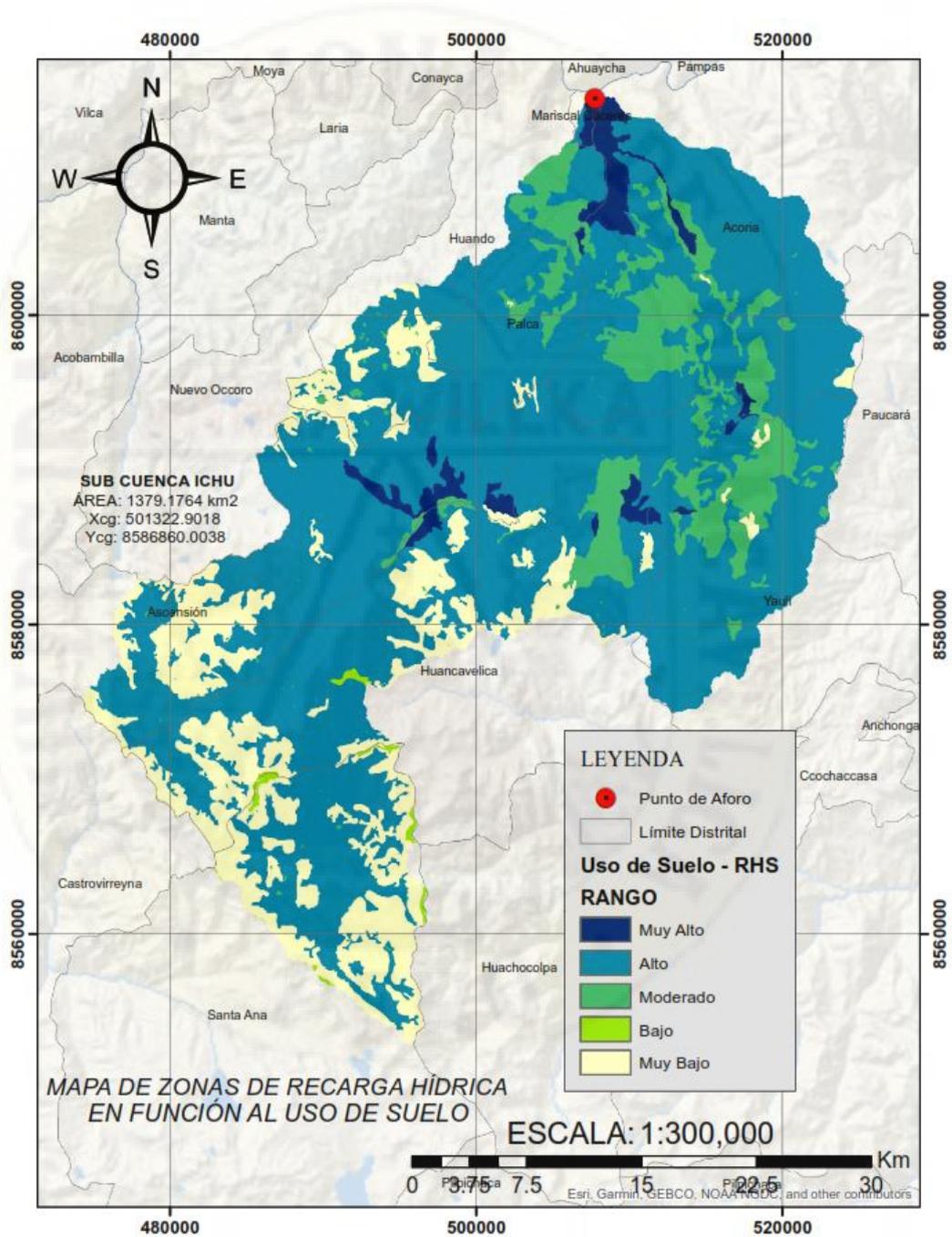
Uso de suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosques donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy Alto	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alto	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderado	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Bajo	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy Bajo	1

Fuente: (Matus, Faustino, & Juménez, 2009)

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 29 correspondiente al uso de suelo, en la figura N° 74 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función al uso de suelo.

Figura 75

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en el uso de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de uso de suelo obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende terrenos con vegetación como bosques con presencia de árboles, arbustos y hierbas, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga para terrenos que cuentan con sistemas agroforestales o silvopastoriles, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con presencia de terrenos cultivados y con obras de conservación, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con incidencia de terrenos cultivados sin obras de conservación y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga que es representada por terrenos agropecuarios con manejo intensivo.

En la tabla N° 30 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar el uso de suelo en el área de investigación.

Tabla 30

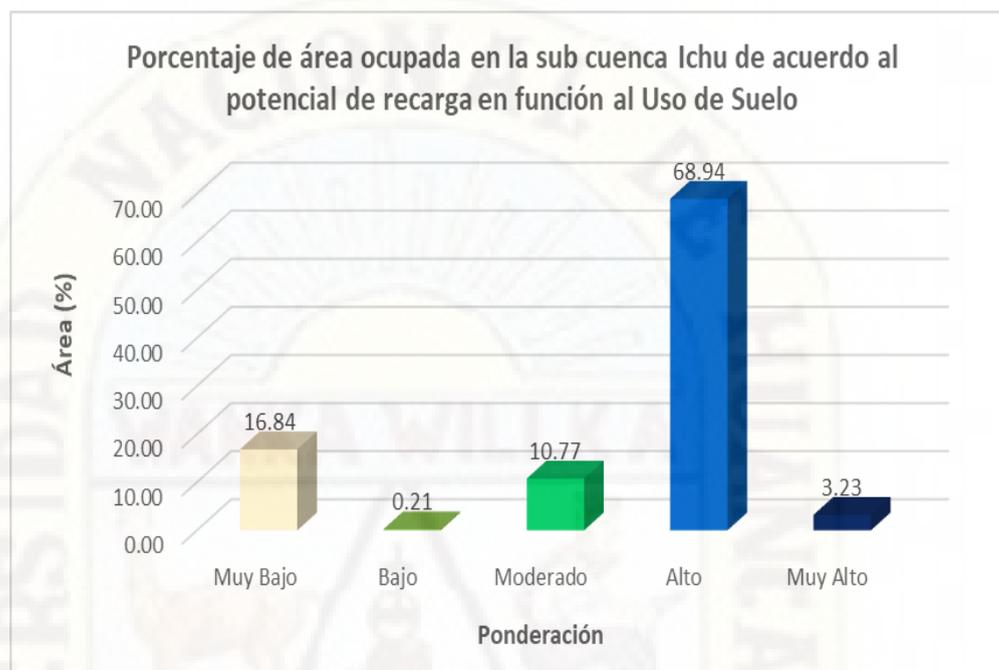
Distribución del uso de suelo y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	232.3035	16.84
Bajo	2.9581	0.21
Moderado	148.5243	10.77
Alto	950.8230	68.94
Muy Alto	44.5674	3.23
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 76

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función al uso de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa en la Figura N° 76 las áreas con un potencial de recarga alto cubren la mayor parte del área total de estudio con un 68.94% o 950.8230 km² correspondientemente, estas áreas representan el uso de suelo mediante sistemas agroforestales o silvopastoriles, que de acuerdo a la clasificación de uso de suelos de la sub cuenca Ichu, son los herbazales y bofedales; el potencial de recarga muy bajo abarca un 16.84 % y 232.3035 km² del área total de la zona de influencia del trabajo de investigación, representadas por las áreas de extracción de minería, los afloramientos rocosos, las tierras desnudas y el tejido urbano continuo y discontinuo, siendo el segundo con mayor área representativa, seguidas del área de potencial de

recarga moderado, muy alto y bajo, con un porcentaje de ocupación de 10.77 %, 3.23 % y 0.21 % respectivamente.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada al uso de suelo se identifica como una sub cuenca con un alto potencial de recarga, esto se debe a la presencia en mayoría de herbazales y bofedales tanto en la sub cuenca media como la sub cuenca baja.

f) Depresiones kársticas

Las depresiones kársticas son en esencia porciones de la superficie de la tierra que se encuentran hundidas respecto a sus alrededores, se caracterizan porque llegan a inundarse principalmente en temporadas de lluvias fuertes o eventos hidrometeorológicos extremos, de acuerdo a esta definición se puede afirmar que las depresiones favorecen a la recarga hídrica, pero está ligada muy estrechamente al tipo de suelo, que permitirá una rápida o una muy lenta infiltración del agua.

Para la determinación de la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica asociada a las depresiones, se realizó el cálculo de la densidad de las DK (depresiones kársticas) por kilómetro cuadrado, separadas a través de un grid de 1000 m x 1000 m en el programa ArcGIS 10.8.1, desarrollándose a través de un conteo manual comprendidos en el rango de 0 – 10 depresiones kársticas por kilómetro cuadrado de acuerdo al rango elaborado en la investigación de José Luis Simón Gómez denominada Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: Un análisis empírico de los factores de riesgo.

Tabla 31

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la densidad de depresiones kársticas por kilómetro cuadrado

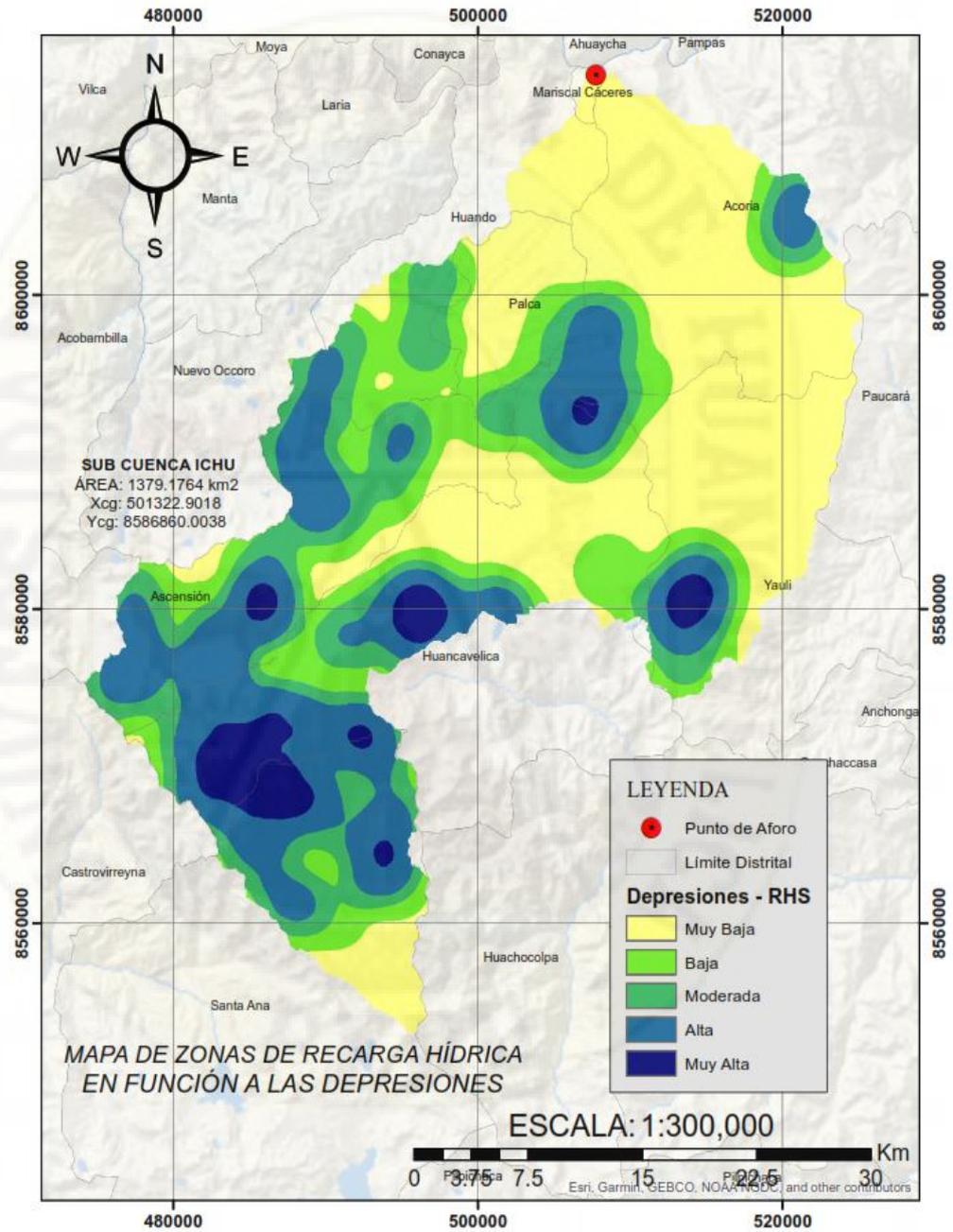
Densidad (DK/Km²)	Posibilidad de recarga	Ponderación
9 - 10	Muy Alto	5
7 - 8	Alto	4
5 - 6	Moderado	3
3 - 4	Bajo	2
0 - 2	Muy Bajo	1

Fuente: (Simón, Soriano, Arlegui, & Caballero, 1991)

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 31 correspondiente a la densidad de depresiones kársticas, en la figura N° 76 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función a las depresiones kársticas.

Figura 77

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las depresiones kársticas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de depresiones kársticas obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende de 9 – 10 DK/km², el color azul para las zonas con alto potencial de recarga para terrenos que cuentan con 7 – 8 DK/km², el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con presencia de 5 – 6 DK/km², el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con incidencia de 3 – 4 DK/km² y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga que es comprende de 0 – 2 DK/km².

En la tabla N° 32 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar las depresiones kársticas en el área de investigación.

Tabla 32

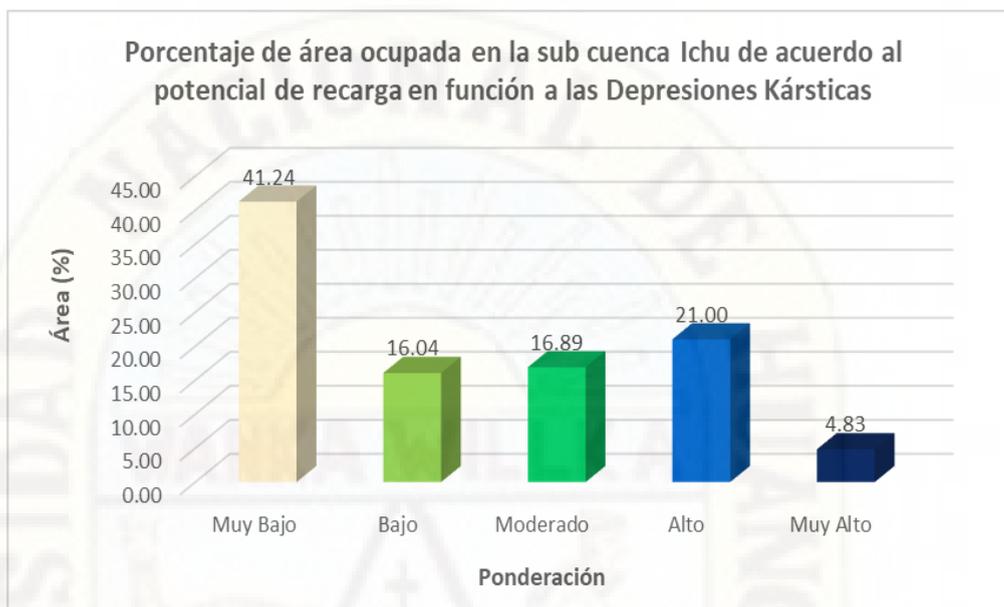
Distribución de las depresiones kársticas y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	568.8198	41.24
Bajo	221.2675	16.04
Moderado	232.9065	16.89
Alto	289.5849	21.00
Muy Alto	66.5978	4.83
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 78

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a las depresiones kársticas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Zonas con potencial de recarga muy bajo ocupan el mayor porcentaje del área total de la sub cuenca Ichu, siendo representadas por un 41.24% o 568.8198 km² de ocupación de área, seguida de un potencial de recarga alto con un porcentaje de ocupación del área total de estudio igual a 21 % y 289.5849 km², por otro lado, el menor porcentaje de ocupación del área total está representado por el potencial de recarga muy alto con un valor de 4.83 % y 66.5978 km², que representa la presencia de 9 – 10 depresiones kársticas por kilómetro cuadrado lo que supone un poco porcentaje de infiltración rápida debido al tipo de suelo que presentan esas áreas.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada a las depresiones kársticas se identifica como una sub cuenca con muy bajo

potencial de recarga, especialmente en la zona nor – este de la sub cuenca, debido a que es un área donde no se encuentran depresiones y este a su vez no genera ningún tipo de recarga hídrica.

g) Corrientes superficiales

Los patrones de drenaje y densidad de las corrientes superficiales, son algunos de los mayores indicadores de las características de una cuenca, estos indicadores nos permitieron conocer el impacto del drenaje, la forma en que se desarrolla en la subcuenca y el potencial de recarga que genera, puesto que se hayan intrínsecos los factores del tipo de suelo, vegetación y pendientes.

El mapa que se obtendrá se clasificó de acuerdo a la densidad del río por su longitud en kilómetros, a través de la herramienta Line Density del programa ArcGIS 10.8.1, tomándose en cuenta los ríos y quebradas, y dejando fuera las quebradas intermitentes que generan un patrón de drenaje fantasma que corresponden a las depresiones kársticas; la clasificación de la ponderación de recarga se elaboró a través del estudio de campo realizado, teniendo como base principal al río Ichu que es el río principal de la sub cuenca estudiada..

Tabla 33

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el drenaje de las corrientes superficiales

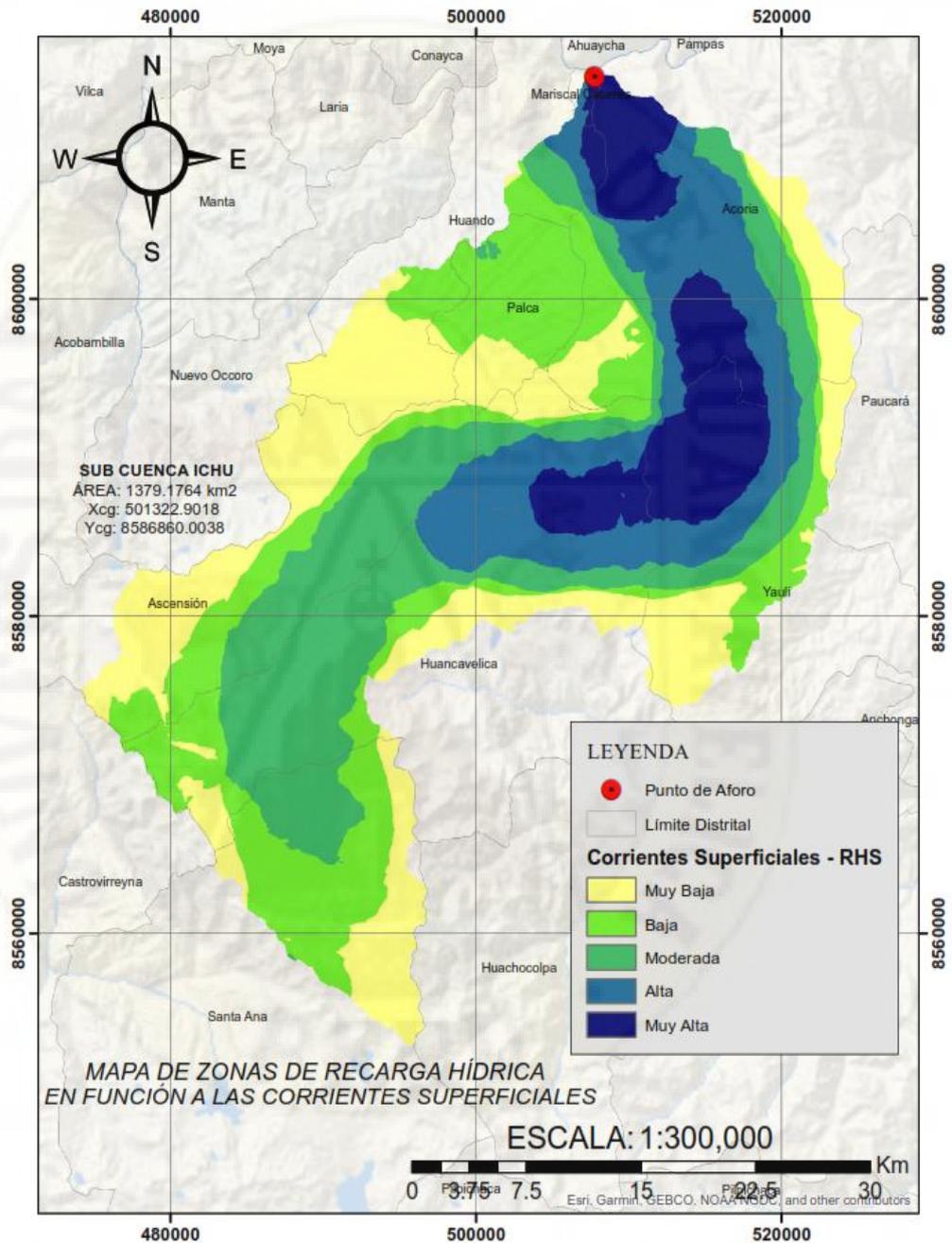
Densidad de drenaje	Posibilidad de recarga	Ponderación
9.5 – 15	Muy Alto	5
7.5 – 9.5	Alto	4
4.5 – 7.5	Moderado	3
3 – 4.5	Bajo	2
0 – 3	Muy Bajo	1

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo a la clasificación presentada en la tabla N° 33 correspondiente a la densidad de drenaje de las corrientes superficiales, en la figura N° 78 se muestra el área de investigación con la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función a las corrientes superficiales.

Figura 79

Mapa de potencial de recarga hídrica basada en las corrientes superficiales



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa de corrientes superficiales obtenido muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga que comprende de 9.5 – 15 de densidad de drenaje superficial, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga para terrenos que cuentan con 7.5 – 9.5 de densidad de drenaje superficial, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga con 4.5 – 7.5 de densidad de drenaje superficial, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga con 3 – 4.5 de densidad de drenaje superficial y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga que es comprende de 0 – 3 de densidad de drenaje superficial.

En la tabla N° 34 se muestran las áreas representativas de cada potencial de recarga establecido para delimitar las corrientes superficiales en el área de investigación.

Tabla 34

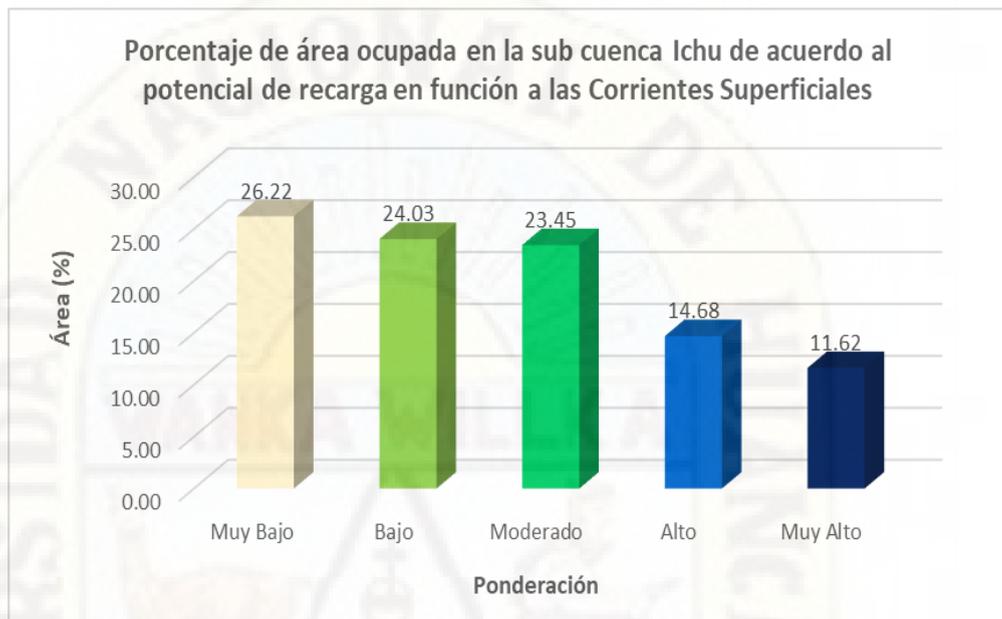
Distribución de las corrientes superficiales y el área ocupada en la subcuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	361.5804	26.22
Bajo	331.4770	24.03
Moderado	323.4240	23.45
Alto	202.4667	14.68
Muy Alto	160.2283	11.62
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 80

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga en función a las depresiones kársticas



Fuente: Elaboración propia, 2022.

De la interpretación de la Figura N° 79 el potencial de recarga muy bajo ocupa mayoritariamente el área de la sub cuenca Ichu, con un porcentaje de valor igual a 26.22 % y 361.5804 km², mientras tanto el potencial de recarga muy alto, presenta la menor ocupación del área total de estudio, con un porcentaje de 11.62 % y 160.2283 km², de estos datos podemos decir que dentro del área del potencial de recarga muy alto se encuentra el río Ichu, que es el que presenta mayor caudal en todas las épocas del año por ser el cauce principal de la sub cuenca Ichu.

La sub cuenca Ichu de acuerdo al potencial de recarga hídrica asociada a las corrientes superficiales se identifica como una sub cuenca con muy bajo

potencial de recarga, esto debido a la presencia de quebradas intermitentes, y también al mínimo caudal de los ríos y quebradas que alimentan el río Ichu.

4.2.4. Mapa de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu

La evaluación de los parámetros en el modelo propuesto para la identificación de las zonas de recarga hídrica mediante la utilización del análisis multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) fueron determinantes para la identificación de las distintas zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del río Ichu.

El análisis jerárquico determinó una importancia del 29.79 % para la precipitación local, el 19.39 % para la cobertura vegetal y 18.19 % para la pendiente; estos tres parámetros obtuvieron un mayor porcentaje de importancia respecto al parámetro de tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales, puesto que fueron considerados como base fundamental para la investigación.

Para la elaboración del mapa de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del río Ichu, fueron necesarios mapas de los parámetros superficiales antes mencionados; los mapas se encuentran en formato raster con un tamaño de pixel de 30 m x 30 m, clasificados con los valores de la ponderación de potencial de recarga hídrica comprendidos entre 1, 2, 3, 4 y 5 representando un valor muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto respectivamente; estas son las condiciones básicas para la ejecución de la herramienta Map Algebra del programa ArcGIS 10.8.1. que cumple la función

de superponer los valores asignados a cada pixel de acuerdo al análisis jerárquico obtenido por medio del método AHP y que se muestra en la fórmula del modelo propuesto para la identificación de zonas de recarga hídrica superficial. Finalmente, se obtuvo el mapa de zonas de recarga hídrica superficial que se muestra en la Figura N° 81.

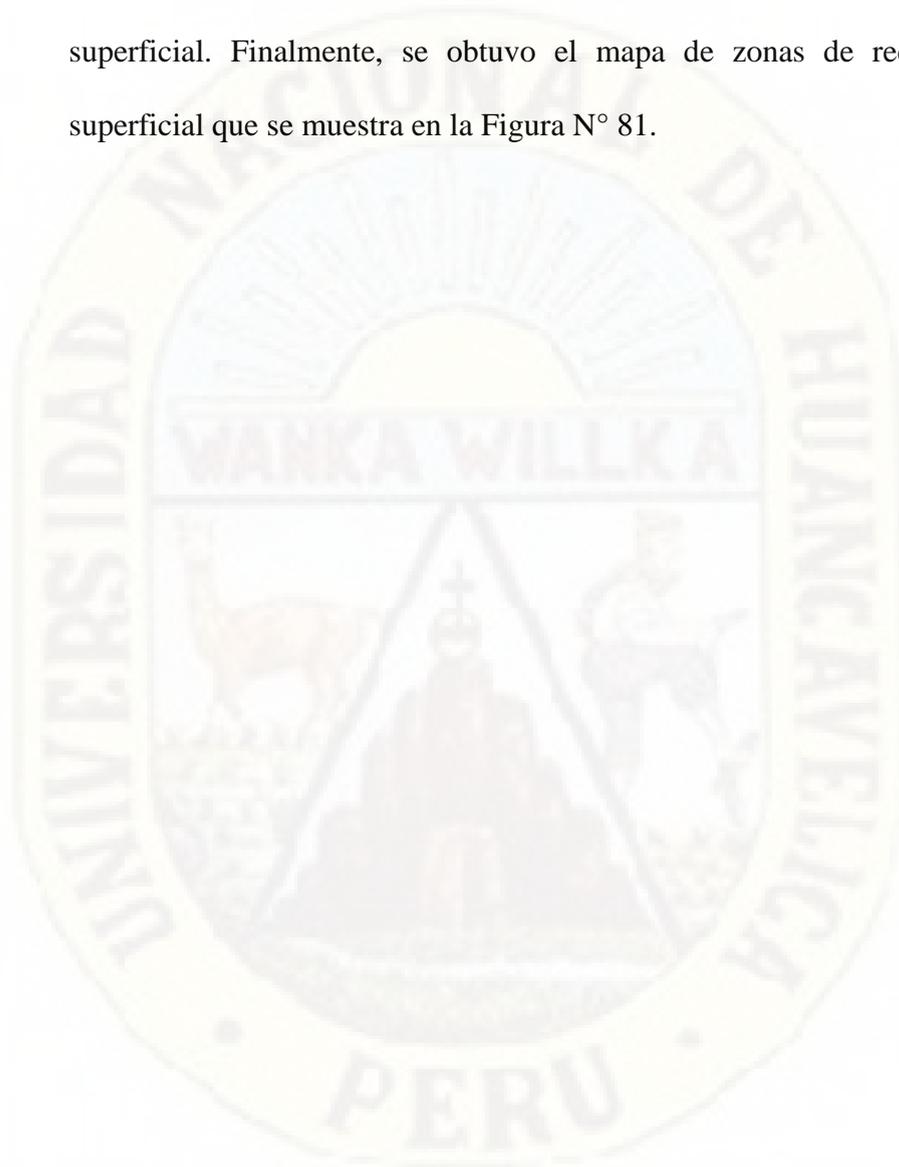
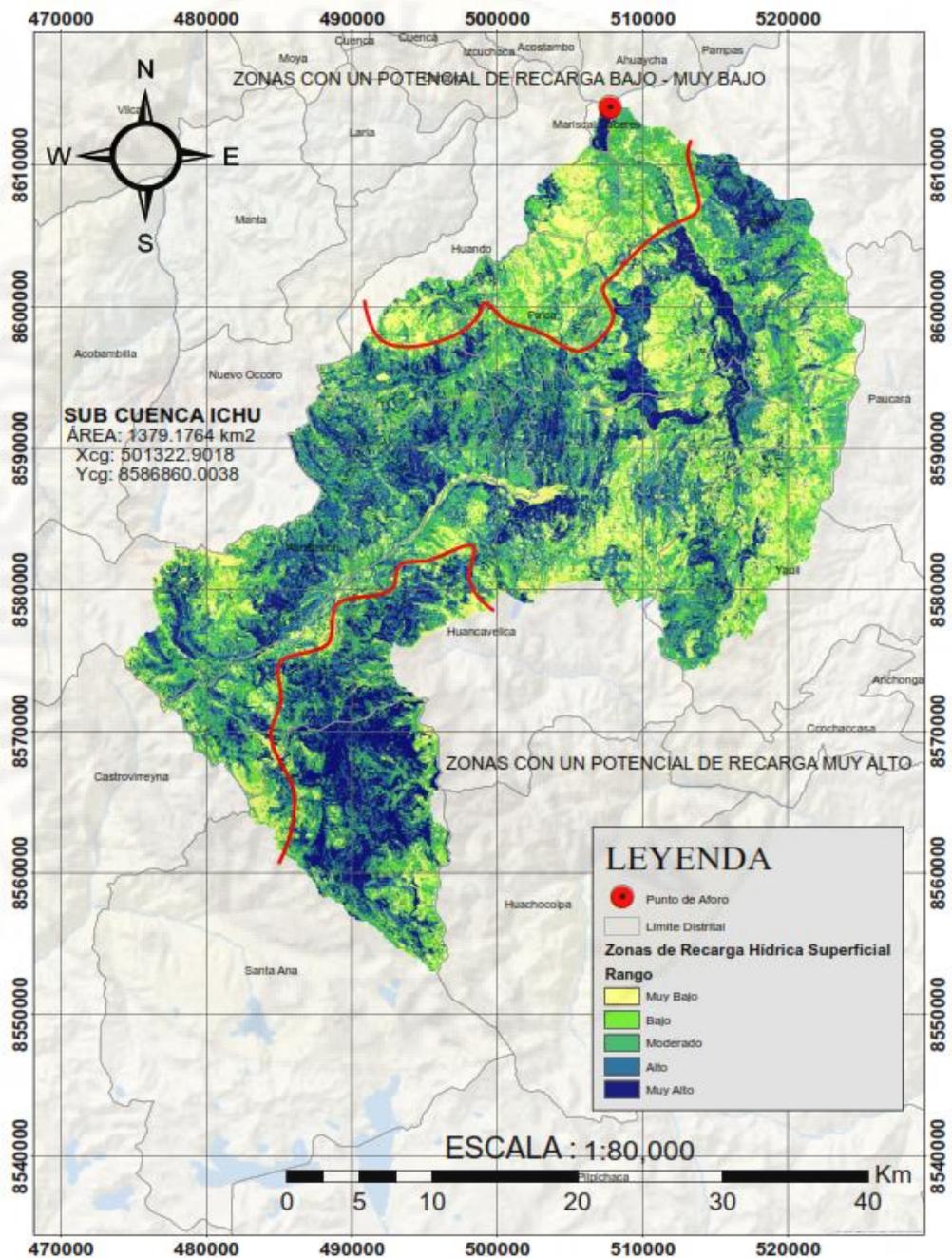


Figura 81

Mapa de las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca Ichu - Huancavelica



Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa que se presenta en la Figura N° 81, presenta una resolución de 30 m x 30 m pixel y con valores entre 1 y 5 para cada pixel; se muestra un color azul marino oscuro para las zonas con mayor potencial de recarga, el color azul para las zonas con alto potencial de recarga, el color verde menta para las zonas con moderado potencial de recarga, el color verde limón para las zonas con bajo potencial de recarga y el color amarillo pastel para las zonas con muy bajo potencial de recarga.

La sub cuenca Ichu cuenta con una superficie de 1378.1764 km² de la cual, un 28.89% o 398.3895 km² presenta un potencial de recarga hídrica moderado, un 18.83 % o 259.7300 km² para un potencial de recarga hídrica alto, un 18.31 % para un potencial de recarga hídrica muy alto, un 17.91 % o 247.0351 km² para un potencial de recarga hídrica muy bajo y un 16.06 % o 221.5368 km² para un potencial de recarga hídrica baja, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35

Distribución de las zonas de recarga hídrica superficial y el área ocupada en la sub cuenca Ichu

Potencial de recarga	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo	247.0351	17.91
Bajo	221.5368	16.06
Moderado	398.3895	28.89
Alto	259.7300	18.83
Muy Alto	252.4850	18.31
Total	1379.1764	100

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se puede observar en la Figura N° 81. las áreas con potencial de recarga hídrica muy alto se encuentran en la zona sur y parte alta de la sub cuenca Ichu, esta se puede contrastar con el mapa de precipitación, depresiones, cobertura vegetal y pendientes que muestran que esta parte de la sub cuenca es favorecida en la infiltración del agua meteórica, a través de la presencia de corrientes efímeras que drenan de forma radial y cobertura vegetal que retiene agua como son los bofedales.

Asimismo, se puede ver que las zonas con potencial de recarga muy bajo ocupan una parte importante de la sub cuenca Ichu, esta hace contraste con los mapas de depresiones y precipitación local, que muestra que principalmente, esas áreas están categorizadas como zonas de bajo y muy bajo potencial de recarga hídrica.

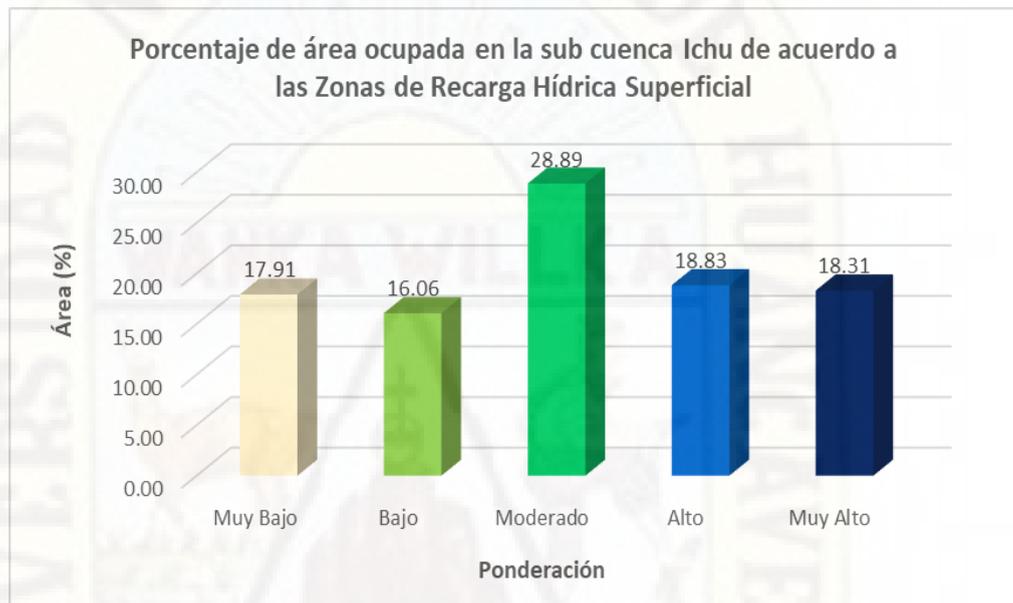
De acuerdo al mapa de corrientes superficiales, tipo de suelo y uso de suelo, la parte baja de la sub cuenca es un área factible para la infiltración del agua puesto que presenta suelos francos que representan una capacidad de rápida infiltración, es por esta razón que el mapa de zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca Ichu cuenta con un área considerable de potencial de recarga hídrica muy alto pese a que en esa zona se presenta una pendiente mayor al 65 %.

La parte media de la sub cuenca presenta en casi toda su extensión un potencial de recarga hídrica moderada a alta, esto se debe a que la parte media de la sub cuenca presenta una cantidad considerable de depresiones y cobertura vegetal, también, el uso y tipo de suelo poseen una alta y moderada capacidad

de infiltración de agua meteórica respectivamente, las cuales atribuyen un alto potencial de recarga hídrica.

Figura 82

Porcentaje de área ocupada en la sub cuenca Ichu de acuerdo a las zonas de recarga hídrica superficial



Fuente: Elaboración propia, 2022.

La sub cuenca del río Ichu, puede ser categorizada como una sub cuenca con un moderado a muy alto potencial de recarga hídrica superficial, debido a que se muestra que una gran área de su superficie presenta una capacidad moderada, alta y muy alta posibilidad de infiltración de agua.

Conclusiones

De acuerdo al objetivo general planteado en esta investigación, se identificaron las zonas de recarga hídrica superficial mediante la evaluación de los parámetros de pendientes, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales.

De las zonas potenciales de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del Río Ichu identificadas a partir de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales, son representadas por un tipo de ponderación a partir de la cual se determina el potencial de recarga del parámetro elegido. Para el parámetro de pendiente; que abarca en su mayoría zonas con una ponderación de moderado, comprendidas en un 29.11% del total del área cubierta de la sub cuenca, representada por 401.4549 km² de superficie con una pendiente entre 15 – 45 % indicando que en la sub cuenca se encuentran mayormente áreas con microrrelieve ondulado o cóncavo; concluyendo, que de acuerdo a la pendiente, la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial moderado. La cobertura vegetal, presenta mayormente zonas de recarga hídrica con una ponderación de moderado, ocupando con un tipo de vegetación medianamente sana el 45.50 % o 627.4602 km² del área total de la sub cuenca; deduciéndose que de acuerdo a la cobertura vegetal, la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial moderado. De acuerdo a la precipitación local, se evidenció que la sub cuenca presentaba un promedio anual de 800 – 1000 mm de lluvia, este fenómeno meteorológico ocurre en la zona media de la sub cuenca, abarcando un 78.75 % o 1086.0631 km² del área total; teniendo como

resultado, la determinación que en referencia a la precipitación local la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial bajo. Del tipo de suelo, podemos afirmar que predominan los suelos franco arcillosos que representan una lenta o moderadamente lenta infiltración del agua, este tipo de suelo está representado por un porcentaje de 47.06 % y 649.0915 km² del área total de la sub cuenca; determinándose, de acuerdo al tipo de suelo, la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial bajo. Por el uso de suelo, las áreas con un potencial de recarga alto cubren la mayor parte del área total de la sub cuenca con un 68.94% o 950.8230 km², representadas por el uso del suelo mediante sistemas agroforestales o silvopastoriles; entonces, de acuerdo al uso del suelo la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial alto. Las depresiones kársticas de acuerdo a su densidad por kilómetro cuadrado, ocupan un 41.24 % o 568.8198 km² con un potencial de recarga muy bajo puesto que esta área está representada por la inexistencia de depresiones; concluyéndose que de acuerdo a las depresiones kársticas la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial muy bajo. Para las corrientes superficiales, el potencial de recarga muy bajo ocupa mayoritariamente el área de la sub cuenca con un porcentaje de valor igual a 26.22 % y 361.5804 km², esto debido a que los ríos o quebradas que alimentan al cauce principal que en este caso sería el río Ichu, no cuentan con un caudal alto que genere una buena infiltración de agua a sus alrededores; por lo tanto, de acuerdo a las corrientes superficiales la sub cuenca del río Ichu tiene un potencial de recarga hídrica superficial muy bajo.

Se generó como resultado final el mapa de zonas de las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca Ichu - Huancavelica, obtenido mediante el uso de sistemas de información geográfica, de donde se hace la categorización de esta, como una subcuenca con un moderado a muy alto potencial de recarga hídrica superficial, debido a que presenta casi en su totalidad la ponderación de moderada, alta y muy alta posibilidad de infiltración de agua, representadas por un 28.89 %, 18.83 % y 18.31 % de área ocupada respectivamente; esta ponderación de la sub cuenca puede asegurar el recurso líquido vital en calidad y en cantidad para la población que hace uso del recurso, en conjunto con otras cuencas colindantes en la Provincia de Huancavelica. Las áreas con potencial de recarga hídrica muy alto se encuentran en la zona sur y parte alta de la sub cuenca Ichu; asimismo, se puede afirmar que las zonas con potencial de recarga muy bajo ocupan una parte importante de la sub cuenca Ichu, esta hace contraste con los mapas de depresiones y precipitación local, que muestra que principalmente, esas áreas están categorizadas como zonas de bajo y muy bajo potencial de recarga hídrica; la parte media de la sub cuenca presenta en casi toda su extensión un potencial de recarga hídrica moderada a alta, esto se debe a que la parte media de la sub cuenca presenta una cantidad considerable de depresiones y cobertura vegetal, también, el uso y tipo de suelo poseen una alta y moderada capacidad de infiltración de agua meteórica respectivamente, las cuales atribuyen un alto potencial de recarga hídrica.

Recomendaciones

Debido a la importancia que representa la sub cuencas del río Ichu por ser una de las principales áreas significativas del departamento de Huancavelica, se recomienda continuar con estudios sobre las zonas de recarga hídrica superficial a escala de sub cuencas, con la finalidad de focalizar proyectos de gestión, manejo y conservación de cuencas hidrográficas del departamento.

Las zonas con potencial de recarga hídrica alto deben de considerarse como áreas prioritarias en los planes de manejo de cuencas a través de la municipalidad bajo proyectos de protección y conservación de recursos naturales para el resguardo de los servicios ecosistémicos de la municipalidad de Huancavelica.

Para favorecer la infiltración en zonas impermeabilizadas se pueden generar estrategias como establecer un drenaje pluvial separado del drenaje residual tanto en vivienda como en zonas comerciales del área; con la finalidad de recolectar el agua de lluvia para que sea dirigida a pozos de absorción y puedan alimentar igualmente los acuíferos del área y posteriormente a cuerpos de agua superficiales.

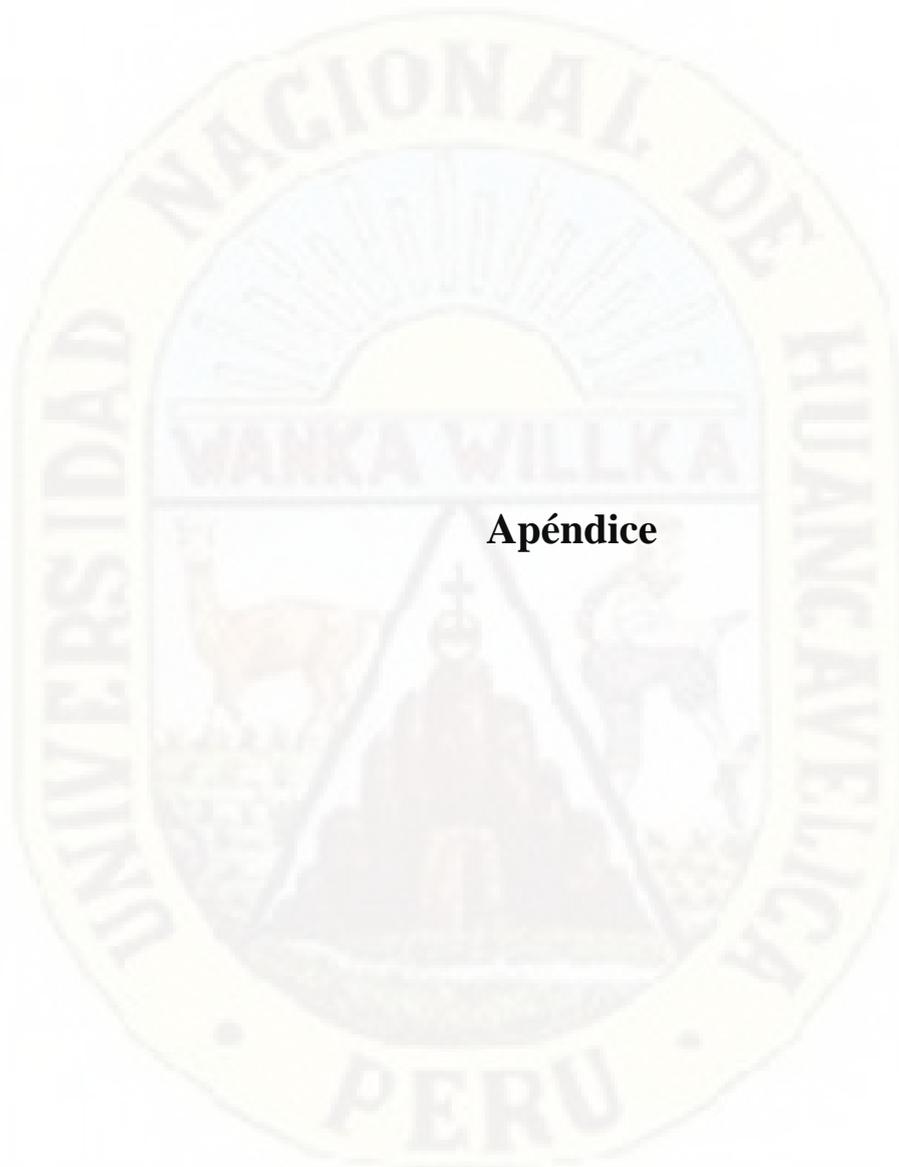
Referencias Bibliográficas

- Agricultura, O. d. (2013). *Afrontar la escasez del agua*. Roma.
- Alarcón, K. (2018). *Aplicación de las técnicas de teledetección pasiva para la determinación de aguas subterráneas en la Región Ica*. Lima.
- Ali, M., Atluri, V., Banerjee, S., Bedard, Y., Chawla, S., Chow, C., & Fonseca, F. (2017). *Cham, Switzerland: Springer International Publishing*.
- Ambiente, M. d. (2019). *Conociendo la zonificación ecológica y económica*. Lima.
- Arela, R. (2014). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumos humano en la microcuenca del río Huayllani , Lampa*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ariza, A. (2013). *Descripción y corrección de productos Landsat 8*. Bogotá.
- Avila, A. (2019). *Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático*. Puebla: INAOE.
- Barboza, Y. &. (2018). *Análisis multiespectral mediante parámetros superficiales con la plataforma landsat 8 para identificar agua subterránea en la cuenca del Río Mashcón . Cajamarca*.
- Chávez, J. F. (2017). *Caracterización de zonas potenciales de recarga acuífera en el Municipio de San Jorge, San Miguel, El Salvador*. San Vicente.
- Codazzi, I. g. (2013). *Descripción y corrección de productos Landsant 8*. Bogotá.
- Collazo, M. &. (2012). *Manual de agua subterránea. . Montevideo*.
- Coy, M. (2015). *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz. . Cobán*.
- Cusquisiban, G. (2019). *Ubicación de zonas de recarga hídrica usando imágenes Landsat 8 mediante el metodo de árbol de desiciones en la cuenca del río Chamán, Cajamarca y la Libertad - Perú*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

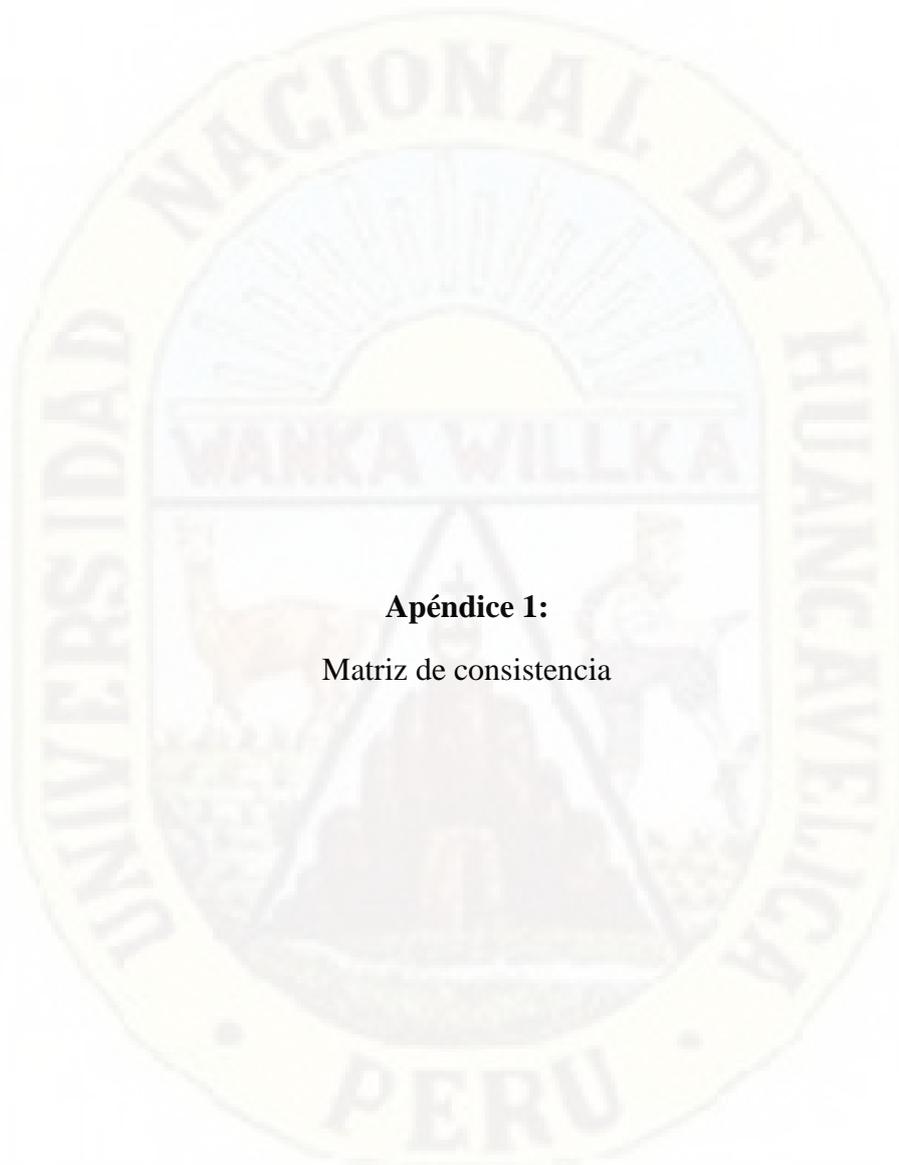
- Destruels, V. (s.f.). *Información digital*. .
- Díaz, S. (2018). *Análisis multiespectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca jequetepeque*. Cajamarca.
- Donis, L. (2015). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro, ciudad de Guatemala sistematización de práctica profesional*. Guatemala de la Asunción.
- Escudero, C. &. (2018). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Machala. UTMACH.
- Gómez, W., & Paytan, J. (2018). *Estimación de caudales medios naturalizados en la cuenca del río ichu mediante el método de regionalización estadística*. Huancavelica.
- Guatemala, C. d. (2017). *La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo*. . Guatemala.
- Hernández, J. E. (2013). *Manejo Integral de Cuencas*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. México D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Herrera, K. (2017). *Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la comuna La Esperanza*. Carchi. Ibarra.
- Huancavelica, G. R. (2020). *Estudio hidrológico de la sub cuenca del río Ichu*. Huancavelica.
- Llanuras, I. d. (2019). *Tratamiento digital de imágenes satelitales*. .
- Luque, J. (. (s.f.). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. .
- Matus, O., Faustino, J., & Juménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua*. Turrialba.

- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Scielo*.
- Ministerio de Agricultura. (2 de Setiembre de 2009). Decreto Supremo N° 017-2009-AG. *El Peruano*.
- Morea, M., & Huerta, J. (s.f.). *Sistemas de información geográfica*.
- Naturales, S. d. (2013). *Cuencas Hidrografías. Fundamentos y prespectivos para su manejo y gestion*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: ¿Qué es cuenca hidrológica?* Lima.
- Oscar Matus, J. F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hidrica*.
- Pérez, M., Navarro, M., & Saborio, M. d. (2018). *Protección, conservación y gestión de las zonas de recarga hídrica*. Bonn.
- Perú, S. N. (2018). *PISCO temperatura versión 1.1 (PISCOt v1.1)*. Lima.
- Pucha, F. (2017). *Fundamentos de SIG Aplicaciones con ArcGIS*.
- Quispe, M. (2019). *Relación entre la capacidad de infiltración y la capacidad de adaptación frente al efecto de disminución de la disponibilidad del recurso hidrico, Quebrada Quilcayhuanca, Parque Nacional Huascarán*. Pontificia Quilcayhuanca, Parque Nacional Huancarán.
- S.A.S., S. d. (2014). *SIGLA*. Obtenido de SIGLA: <http://www.sigla-sas.com/modelos-digitales-de-elevacion.html>
- Santamarta, J. (2013). *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Coyoacán.

- Simón, J., Soriano, A., Arlegui, L., & Caballero, J. (1991). *Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: un analisis empirico de los factores de riesgo*. España.
- Thomas, S. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York.
- Toribio, G. (25 de Octubre de 2019). *Cursos teledetección .com*. Obtenido de Cursos teledetección .com: <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Universidad Nacional Agraria la Molina. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Lima: Ad Printing S.A.C.
- Vélez, M. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas 2da edición*. Medellín.
- Villegas, H. (2008). *Introduccion a la percepcion remota y sus aplicaciones geologicas (Guías para los asistentes)*. . Bogotá.



Apéndice



Apéndice 1:

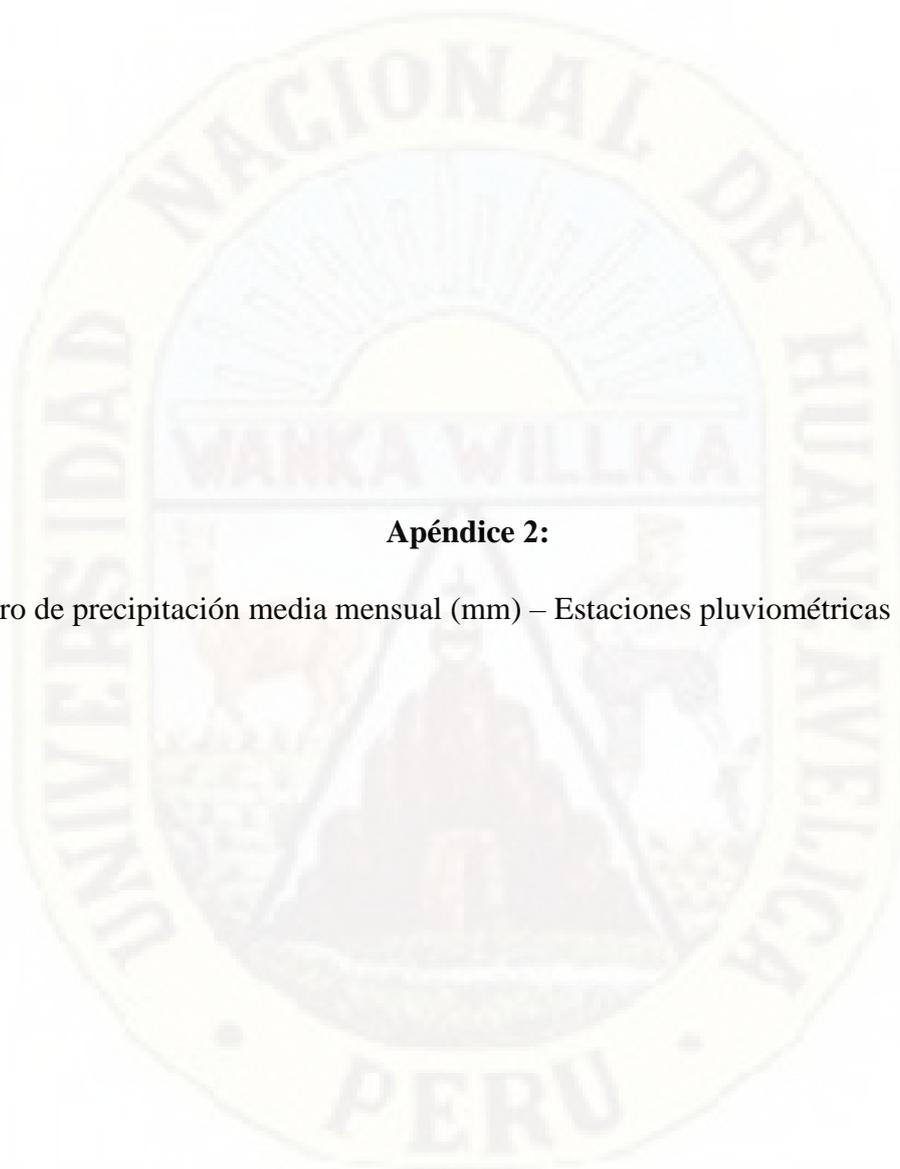
Matriz de consistencia

Tabla 1

Matriz de Consistencia

Identificación de zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del rio Ichu - Huancavelica					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metodología	Técnicas de Recolección y Procesamiento
<p>Problema General: ¿Es posible identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu – Huancavelica?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál será el potencial de recarga hídrica superficial asociada al parámetro de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales en la sub cuenca del Río Ichu - Huancavelica? • ¿Es posible generar un mapa que represente las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del Río Ichu, mediante la integración de los parámetros superficiales con el uso de Sistemas de Información Geográfica? cuenca del Río Ichu – Huancavelica? 	<p>Objetivo General: Identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del Río Ichu - Huancavelica.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el potencial de recarga hídrica asociada al parámetro de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales que presenta la sub cuenca Ichu – Huancavelica. • Generar un mapa que represente las zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del Río Ichu, mediante la integración de los parámetros superficiales con el uso de Sistemas de Información Geográfica. 	<p>Hipótesis General: Mediante el análisis de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu, esta investigación será capaz de identificar las zonas de recarga hídrica superficial en la sub cuenca del rio Ichu del departamento de Huancavelica.</p>	<p>Variable Única: Identificación de las zonas de recarga hídrica superficial mediante el análisis de los parámetros de pendiente, cobertura vegetal, precipitación local, tipo de suelo, uso de suelo, depresiones kársticas y corrientes superficiales de la sub cuenca Ichu.</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Descriptivo</p> <p>Método de Investigación: Método Científico - No Experimental</p> <p>Diseño de Investigación: No Experimental - Transversal</p> <p>Población: Área definida de 1379.1764 km2 correspondiente a la sub cuenca del Río Ichu</p> <p>Muestra: Pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso de suelo, depresiones kársticas, corrientes superficiales y precipitación local.</p> <p>Muestreo: No probabilística.</p>	<p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis documental • Check – list • Imágenes satelitales Landsat 8 • Modelos de elevación digital (DEM) • Zonificación ecológica y económica del departamento de Huancavelica (ZEE Huancavelica) • Datos de precipitación SENAMHI HSR PISCO <p>Técnicas de procesamiento y análisis de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación del programa HEC - HMS 4.8 • Aplicación del programa RStudio • Aplicación del programa ArcGIS 10.8.1

Fuente: Elaboración Propia.



Apéndice 2:

Registro de precipitación media mensual (mm) – Estaciones pluviométricas sintéticas

Tabla 2

Precipitación media mensual (mm) para el año 2002

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2002	2/01/2002	3/01/2002	4/01/2002	5/01/2002	6/01/2002	7/01/2002	8/01/2002	9/01/2002	10/01/2002	11/01/2002	12/01/2002
Est. 01	103.915	252.034	380.779	69.787	8.703	3.500	4.848	6.118	26.127	65.117	78.185	100.651
Est. 02	81.567	259.384	401.357	91.212	10.463	6.161	10.991	14.165	43.979	79.589	115.746	121.997
Est. 03	108.261	248.237	365.285	70.610	8.265	6.548	3.688	8.891	37.536	71.109	89.116	124.297
Est. 04	108.261	248.237	365.285	70.610	8.265	6.548	3.688	8.891	37.536	71.109	89.116	124.297
Est. 05	64.781	170.893	194.122	80.675	30.627	5.699	39.319	28.165	51.654	81.336	134.027	102.079
Est. 06	88.467	223.298	330.563	80.822	16.272	7.910	46.902	37.925	53.153	103.068	158.438	120.466
Est. 07	78.629	261.362	421.363	78.570	12.933	10.891	23.142	27.736	70.905	99.544	141.823	137.028
Est. 08	85.582	287.918	464.090	76.044	14.978	13.221	7.640	14.592	59.373	89.565	108.455	144.780
Est. 09	127.585	284.321	384.981	73.849	15.386	19.637	2.018	7.733	45.362	106.681	87.536	151.173
Est. 10	76.579	148.593	191.645	81.725	36.966	5.191	47.729	25.628	52.882	66.573	133.671	100.562
Est. 11	76.579	148.593	191.645	81.725	36.966	5.191	47.729	25.628	52.882	66.573	133.671	100.562
Est. 12	106.248	228.096	289.176	77.638	21.616	6.865	64.173	49.037	81.198	95.228	154.000	127.854
Est. 13	86.712	280.528	354.496	61.216	21.145	12.680	35.086	35.605	103.293	98.653	132.404	148.965
Est. 14	60.911	127.825	122.670	52.331	42.721	5.007	44.017	18.436	56.089	59.606	72.971	97.218
Est. 15	102.042	175.745	175.558	83.267	58.403	6.157	52.561	20.017	77.782	74.365	119.806	107.591
Est. 16	116.949	253.570	231.160	78.353	48.099	8.189	54.252	24.642	103.878	88.255	121.537	127.091
Est. 17	103.836	297.827	251.668	56.021	40.831	12.199	35.086	23.379	101.943	92.547	106.976	155.057
Est. 18	102.042	175.745	175.558	83.267	58.403	6.157	52.561	20.017	77.782	74.365	119.806	107.591
Est. 19	102.042	175.745	175.558	83.267	58.403	6.157	52.561	20.017	77.782	74.365	119.806	107.591
Est. 20	116.949	253.570	231.160	78.353	48.099	8.189	54.252	24.642	103.878	88.255	121.537	127.091
Est. 21	103.836	297.827	251.668	56.021	40.831	12.199	35.086	23.379	101.943	92.547	106.976	155.057

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 3

Precipitación media mensual (mm) para el año 2003

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2003	2/01/2003	3/01/2003	4/01/2003	5/01/2003	6/01/2003	7/01/2003	8/01/2003	9/01/2003	10/01/2003	11/01/2003	12/01/2003
Est. 01	148.008	255.420	303.118	58.739	6.400	0.495	0.799	6.616	14.158	24.488	25.721	153.239
Est. 02	121.172	283.387	318.466	104.019	8.446	0.595	1.990	15.110	23.385	24.887	37.247	166.978
Est. 03	171.184	266.978	358.914	81.532	8.344	0.255	0.831	9.439	21.470	23.116	32.383	164.984
Est. 04	171.184	266.978	358.914	81.532	8.344	0.255	0.831	9.439	21.470	23.116	32.383	164.984
Est. 05	84.836	172.702	170.886	105.187	20.751	0.877	2.848	37.457	24.457	23.229	43.274	118.168
Est. 06	126.032	272.789	242.890	104.833	11.639	1.046	5.194	42.806	24.397	28.307	40.018	156.221
Est. 07	117.969	318.774	312.122	103.951	10.696	1.037	3.711	28.886	33.312	27.568	37.413	184.301
Est. 08	135.878	328.306	411.394	101.679	16.639	0.636	1.787	15.582	28.707	26.324	33.916	185.076
Est. 09	235.527	320.344	434.807	104.014	24.251	0.290	0.721	9.087	19.941	32.771	30.442	184.492
Est. 10	106.503	162.771	188.928	101.392	22.619	0.222	3.082	39.013	25.858	18.963	40.511	112.191
Est. 11	106.503	162.771	188.928	101.392	22.619	0.222	3.082	39.013	25.858	18.963	40.511	112.191
Est. 12	153.822	320.298	215.995	105.831	12.907	0.409	5.673	56.882	35.264	25.801	30.306	167.723
Est. 13	126.611	373.107	255.435	84.219	15.607	1.164	4.579	37.484	46.170	25.630	29.107	196.059
Est. 14	93.338	120.573	148.866	58.916	28.261	0.138	1.943	32.909	31.481	18.779	27.022	95.574
Est. 15	142.391	184.358	184.551	100.343	36.512	0.178	3.460	36.176	42.665	21.689	36.229	110.914
Est. 16	160.988	297.394	201.998	97.949	30.882	0.535	4.785	37.448	53.614	23.636	30.980	140.067
Est. 17	143.116	353.668	208.935	70.144	29.838	1.218	4.069	29.646	50.836	23.247	28.011	172.886
Est. 18	142.391	184.358	184.551	100.343	36.512	0.178	3.460	36.176	42.665	21.689	36.229	110.914
Est. 19	142.391	184.358	184.551	100.343	36.512	0.178	3.460	36.176	42.665	21.689	36.229	110.914
Est. 20	160.988	297.394	201.998	97.949	30.882	0.535	4.785	37.448	53.614	23.636	30.980	140.067
Est. 21	143.116	353.668	208.935	70.144	29.838	1.218	4.069	29.646	50.836	23.247	28.011	172.886

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 4

Precipitación media mensual (mm) para el año 2004

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2004	2/01/2004	3/01/2004	4/01/2004	5/01/2004	6/01/2004	7/01/2004	8/01/2004	9/01/2004	10/01/2004	11/01/2004	12/01/2004
Est. 01	69.830	217.499	167.170	25.937	4.720	6.938	2.386	6.363	24.959	44.711	48.703	165.627
Est. 02	53.603	208.849	177.957	35.957	5.277	12.953	5.985	14.232	40.208	49.114	66.584	175.907
Est. 03	73.487	201.300	185.691	38.708	4.310	10.267	2.478	11.415	42.471	46.964	60.842	169.268
Est. 04	73.487	201.300	185.691	38.708	4.310	10.267	2.478	11.415	42.471	46.964	60.842	169.268
Est. 05	42.997	133.259	113.756	21.375	15.557	21.337	13.922	20.916	32.551	53.532	74.067	160.084
Est. 06	51.422	166.293	159.809	25.735	8.250	27.817	21.723	28.073	34.085	56.137	66.631	179.701
Est. 07	45.500	196.806	193.048	32.279	6.235	28.748	13.103	24.739	54.808	52.650	65.795	185.905
Est. 08	53.345	224.984	226.700	41.381	6.963	23.658	5.358	19.020	61.577	53.063	69.746	184.177
Est. 09	84.214	217.566	215.899	54.120	6.361	21.637	2.145	17.143	63.418	74.257	79.378	197.349
Est. 10	56.122	121.808	139.653	27.363	15.978	21.798	17.915	17.277	33.242	42.958	71.338	154.088
Est. 11	56.122	121.808	139.653	27.363	15.978	21.798	17.915	17.277	33.242	42.958	71.338	154.088
Est. 12	56.711	164.895	161.388	29.175	9.216	31.792	30.601	29.518	48.078	45.450	51.460	185.176
Est. 13	46.458	204.492	171.874	27.387	9.723	44.267	18.928	27.394	76.229	45.517	51.277	192.330
Est. 14	67.445	119.178	114.388	22.322	20.588	21.282	15.266	12.469	39.122	49.912	48.805	149.614
Est. 15	86.646	148.489	144.440	36.235	26.082	24.914	19.388	14.380	51.003	50.949	67.678	154.195
Est. 16	80.895	189.357	147.974	37.003	20.750	32.273	22.659	17.715	68.675	47.974	56.013	166.517
Est. 17	65.509	218.991	136.797	28.955	17.630	43.911	15.999	18.832	79.158	43.157	49.436	180.903
Est. 18	86.646	148.489	144.440	36.235	26.082	24.914	19.388	14.380	51.003	50.949	67.678	154.195
Est. 19	86.646	148.489	144.440	36.235	26.082	24.914	19.388	14.380	51.003	50.949	67.678	154.195
Est. 20	80.895	189.357	147.974	37.003	20.750	32.273	22.659	17.715	68.675	47.974	56.013	166.517
Est. 21	65.509	218.991	136.797	28.955	17.630	43.911	15.999	18.832	79.158	43.157	49.436	180.903

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 5

Precipitación media mensual (mm) para el año 2005

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2005	2/01/2005	3/01/2005	4/01/2005	5/01/2005	6/01/2005	7/01/2005	8/01/2005	9/01/2005	10/01/2005	11/01/2005	12/01/2005
Est. 01	124.496	131.845	183.405	37.273	5.289	0.731	0.350	2.053	16.862	46.233	22.444	121.850
Est. 02	99.491	133.956	200.264	58.420	6.420	1.220	1.156	3.527	29.634	51.707	36.093	123.137
Est. 03	137.417	137.881	211.073	50.473	5.367	0.630	0.427	2.738	26.139	46.519	32.967	134.218
Est. 04	137.417	137.881	211.073	50.473	5.367	0.630	0.427	2.738	26.139	46.519	32.967	134.218
Est. 05	75.325	84.367	120.579	48.376	15.481	1.571	2.686	5.289	30.255	72.540	42.804	91.900
Est. 06	104.028	113.171	168.650	55.647	9.317	2.783	3.185	5.152	31.808	71.179	43.227	102.816
Est. 07	91.394	132.745	207.006	57.378	7.816	2.740	2.159	4.243	45.680	61.727	41.206	118.688
Est. 08	97.446	152.711	255.812	55.871	9.385	1.438	1.232	3.339	40.130	55.809	38.331	144.192
Est. 09	147.186	147.898	250.400	54.693	9.362	0.550	0.537	2.500	28.360	66.051	38.570	190.368
Est. 10	89.294	74.766	138.332	54.374	14.985	0.945	3.809	3.750	30.183	60.753	44.324	90.086
Est. 11	89.294	74.766	138.332	54.374	14.985	0.945	3.809	3.750	30.183	60.753	44.324	90.086
Est. 12	120.668	116.049	156.962	63.453	10.973	2.598	3.341	3.717	45.001	63.524	38.759	98.114
Est. 13	91.977	141.211	175.101	49.046	11.884	3.833	2.988	3.669	64.499	61.462	35.160	117.606
Est. 14	74.120	59.375	108.934	34.906	12.639	0.394	6.567	3.754	29.590	69.690	29.836	104.025
Est. 15	109.503	86.854	138.445	61.743	21.084	0.791	6.313	3.235	43.978	71.170	43.560	98.492
Est. 16	116.540	124.738	146.689	62.597	20.702	1.843	5.888	2.961	61.509	68.868	39.335	104.330
Est. 17	94.247	144.249	144.840	43.160	19.999	3.065	4.945	3.034	67.484	64.594	32.281	123.976
Est. 18	109.503	86.854	138.445	61.743	21.084	0.791	6.313	3.235	43.978	71.170	43.560	98.492
Est. 19	109.503	86.854	138.445	61.743	21.084	0.791	6.313	3.235	43.978	71.170	43.560	98.492
Est. 20	116.540	124.738	146.689	62.597	20.702	1.843	5.888	2.961	61.509	68.868	39.335	104.330
Est. 21	94.247	144.249	144.840	43.160	19.999	3.065	4.945	3.034	67.484	64.594	32.281	123.976

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 6

Precipitación media mensual (mm) para el año 2006

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2006	2/01/2006	3/01/2006	4/01/2006	5/01/2006	6/01/2006	7/01/2006	8/01/2006	9/01/2006	10/01/2006	11/01/2006	12/01/2006
Est. 01	164.222	184.329	229.406	61.764	1.275	4.037	0.000	6.265	23.724	51.731	65.340	96.130
Est. 02	125.166	171.630	208.574	101.092	0.955	6.942	0.133	13.268	33.378	57.001	93.302	101.745
Est. 03	181.372	174.682	205.638	81.642	0.572	4.683	0.000	8.790	34.466	54.122	85.142	106.507
Est. 04	181.372	174.682	205.638	81.642	0.572	4.683	0.000	8.790	34.466	54.122	85.142	106.507
Est. 05	95.279	104.786	121.412	85.559	4.550	12.784	0.069	26.409	24.086	65.891	96.730	90.866
Est. 06	122.304	130.199	164.993	100.927	1.252	16.490	0.567	28.922	24.467	76.073	98.276	95.556
Est. 07	113.623	155.827	196.768	103.975	0.614	15.284	0.493	22.071	39.274	68.355	98.830	105.258
Est. 08	145.929	188.369	234.809	95.642	0.815	9.828	0.328	14.276	45.299	63.075	97.993	117.741
Est. 09	256.870	202.952	236.651	90.359	0.544	7.246	0.244	8.507	46.877	84.564	97.304	134.231
Est. 10	119.397	91.361	125.164	90.743	4.054	11.997	0.246	20.975	20.564	56.313	93.125	89.883
Est. 11	119.397	91.361	125.164	90.743	4.054	11.997	0.246	20.975	20.564	56.313	93.125	89.883
Est. 12	139.666	120.783	142.465	109.861	0.867	18.356	0.464	28.811	27.108	72.137	79.147	95.406
Est. 13	115.322	152.234	162.012	86.589	0.796	22.505	0.614	25.111	43.747	66.258	80.940	109.751
Est. 14	124.673	85.294	95.386	49.705	7.326	14.259	0.386	15.900	21.628	56.301	64.205	104.677
Est. 15	166.643	107.939	123.025	97.061	6.436	13.949	0.681	16.488	31.452	64.067	87.398	99.600
Est. 16	163.302	140.169	135.305	99.249	3.370	16.562	0.926	18.668	41.075	65.918	77.927	104.126
Est. 17	133.605	160.915	136.521	68.250	2.178	20.360	0.854	20.488	44.578	58.958	72.950	118.925
Est. 18	166.643	107.939	123.025	97.061	6.436	13.949	0.681	16.488	31.452	64.067	87.398	99.600
Est. 19	166.643	107.939	123.025	97.061	6.436	13.949	0.681	16.488	31.452	64.067	87.398	99.600
Est. 20	163.302	140.169	135.305	99.249	3.370	16.562	0.926	18.668	41.075	65.918	77.927	104.126
Est. 21	133.605	160.915	136.521	68.250	2.178	20.360	0.854	20.488	44.578	58.958	72.950	118.925

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 7

Precipitación media mensual (mm) para el año 2007

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2007	2/01/2007	3/01/2007	4/01/2007	5/01/2007	6/01/2007	7/01/2007	8/01/2007	9/01/2007	10/01/2007	11/01/2007	12/01/2007
Est. 01	134.126	89.617	288.221	50.965	6.295	0.391	0.799	1.392	19.081	45.851	46.568	91.630
Est. 02	90.834	89.493	276.945	63.808	7.298	0.590	2.188	3.046	32.440	51.148	69.338	102.549
Est. 03	128.291	98.850	278.936	58.245	6.143	0.833	1.327	2.708	27.651	45.743	63.143	108.256
Est. 04	128.291	98.850	278.936	58.245	6.143	0.833	1.327	2.708	27.651	45.743	63.143	108.256
Est. 05	64.247	57.374	175.337	50.963	22.719	0.164	3.301	3.352	28.797	56.505	69.724	82.613
Est. 06	83.011	69.791	239.610	47.925	14.032	0.578	5.066	4.467	32.575	68.179	72.871	91.710
Est. 07	76.060	84.445	284.067	51.762	10.382	1.137	4.221	4.222	48.159	62.843	75.443	104.396
Est. 08	90.894	108.217	316.713	60.378	10.307	1.614	2.931	3.595	40.860	54.846	74.593	114.538
Est. 09	141.810	122.333	256.900	67.621	8.624	2.597	2.145	3.238	29.340	66.587	73.267	131.471
Est. 10	82.996	54.492	182.444	54.545	25.249	0.000	5.143	2.450	26.381	48.785	67.018	81.442
Est. 11	82.996	54.492	182.444	54.545	25.249	0.000	5.143	2.450	26.381	48.785	67.018	81.442
Est. 12	99.859	70.054	209.140	45.810	19.533	0.151	5.969	3.749	42.990	66.568	58.342	88.573
Est. 13	82.218	88.955	233.463	40.998	18.171	1.226	5.752	3.726	64.678	62.343	59.497	105.865
Est. 14	86.960	57.009	134.210	42.246	27.437	0.000	7.248	1.769	22.674	51.030	40.160	88.244
Est. 15	125.102	68.467	171.113	64.164	34.801	0.000	7.662	1.855	36.515	56.664	61.125	86.454
Est. 16	128.685	85.066	181.637	57.962	30.503	0.252	8.476	2.217	56.713	59.019	55.665	94.020
Est. 17	106.775	100.271	181.255	43.440	27.404	1.052	7.964	2.364	66.622	54.555	50.583	113.623
Est. 18	125.102	68.467	171.113	64.164	34.801	0.000	7.662	1.855	36.515	56.664	61.125	86.454
Est. 19	125.102	68.467	171.113	64.164	34.801	0.000	7.662	1.855	36.515	56.664	61.125	86.454
Est. 20	128.685	85.066	181.637	57.962	30.503	0.252	8.476	2.217	56.713	59.019	55.665	94.020
Est. 21	106.775	100.271	181.255	43.440	27.404	1.052	7.964	2.364	66.622	54.555	50.583	113.623

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 8

Precipitación media mensual (mm) para el año 2008

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2008	2/01/2008	3/01/2008	4/01/2008	5/01/2008	6/01/2008	7/01/2008	8/01/2008	9/01/2008	10/01/2008	11/01/2008	12/01/2008
Est. 01	190.960	199.075	136.010	29.967	3.711	4.189	0.827	4.363	10.336	51.353	33.258	76.095
Est. 02	141.711	190.826	138.683	35.926	4.074	6.380	2.294	7.699	18.263	60.414	46.502	85.900
Est. 03	197.526	181.614	157.298	36.487	3.232	5.301	0.919	5.331	19.731	54.550	41.119	92.427
Est. 04	197.526	181.614	157.298	36.487	3.232	5.301	0.919	5.331	19.731	54.550	41.119	92.427
Est. 05	105.055	125.804	74.963	23.798	12.361	9.486	3.040	12.156	16.759	69.981	50.125	66.789
Est. 06	133.823	162.540	108.909	20.571	5.841	10.556	6.567	14.356	17.582	81.021	47.500	79.489
Est. 07	126.468	183.637	135.499	23.908	4.591	11.128	4.751	10.981	28.217	71.634	45.606	93.580
Est. 08	152.777	206.181	170.362	33.894	5.373	10.481	2.048	7.067	31.521	63.393	44.378	102.486
Est. 09	276.822	203.374	173.151	47.197	4.864	12.353	0.695	4.704	32.826	85.011	42.570	111.355
Est. 10	135.195	115.220	82.368	21.539	14.244	8.289	2.997	8.928	16.849	62.765	46.522	69.732
Est. 11	135.195	115.220	82.368	21.539	14.244	8.289	2.997	8.928	16.849	62.765	46.522	69.732
Est. 12	154.236	163.715	98.528	14.744	6.516	9.140	7.487	13.514	23.021	76.136	35.983	87.328
Est. 13	129.961	192.291	108.005	15.800	7.021	14.043	6.002	10.605	38.360	69.454	34.310	102.287
Est. 14	151.346	112.611	59.368	17.174	22.436	10.946	0.999	7.366	19.836	68.704	32.317	74.587
Est. 15	199.253	140.636	80.519	25.549	25.989	9.533	2.525	6.478	26.015	75.134	44.656	78.181
Est. 16	192.963	178.731	87.178	22.511	19.007	10.846	4.515	6.813	34.893	74.768	36.526	89.472
Est. 17	162.514	195.817	80.851	18.255	15.750	14.723	4.274	6.139	41.611	64.893	30.328	106.097
Est. 18	199.253	140.636	80.519	25.549	25.989	9.533	2.525	6.478	26.015	75.134	44.656	78.181
Est. 19	199.253	140.636	80.519	25.549	25.989	9.533	2.525	6.478	26.015	75.134	44.656	78.181
Est. 20	192.963	178.731	87.178	22.511	19.007	10.846	4.515	6.813	34.893	74.768	36.526	89.472
Est. 21	162.514	195.817	80.851	18.255	15.750	14.723	4.274	6.139	41.611	64.893	30.328	106.097

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 9

Precipitación media mensual (mm) para el año 2009

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2009	2/01/2009	3/01/2009	4/01/2009	5/01/2009	6/01/2009	7/01/2009	8/01/2009	9/01/2009	10/01/2009	11/01/2009	12/01/2009
Est. 01	161.807	222.364	110.313	39.411	5.518	1.729	2.657	2.557	17.933	58.383	90.873	150.341
Est. 02	119.341	226.271	112.741	68.734	7.251	2.753	5.931	5.132	34.045	59.501	118.352	175.637
Est. 03	171.654	218.898	110.058	56.831	7.188	2.485	2.634	3.688	33.801	58.348	94.308	174.401
Est. 04	171.654	218.898	110.058	56.831	7.188	2.485	2.634	3.688	33.801	58.348	94.308	174.401
Est. 05	77.342	143.597	93.520	79.182	18.434	3.428	13.289	10.035	29.288	54.369	142.534	135.788
Est. 06	110.727	210.903	126.637	75.490	12.175	4.325	18.947	10.221	34.382	68.101	145.705	171.684
Est. 07	105.129	245.465	130.512	71.996	10.866	5.127	12.127	7.839	55.631	65.977	129.179	199.445
Est. 08	121.790	253.103	126.268	70.060	14.851	5.081	5.507	5.188	56.187	61.263	101.628	204.926
Est. 09	190.302	218.333	94.456	72.856	26.248	5.701	2.496	3.155	44.962	71.804	76.002	212.801
Est. 10	106.177	139.968	118.610	85.196	20.118	3.153	15.786	9.637	31.265	48.621	148.189	131.762
Est. 11	106.177	139.968	118.610	85.196	20.118	3.153	15.786	9.637	31.265	48.621	148.189	131.762
Est. 12	133.435	242.127	139.568	81.140	18.982	3.796	23.586	10.447	51.331	65.180	138.105	178.976
Est. 13	108.432	281.992	124.652	61.921	18.963	7.045	17.242	8.656	79.718	62.856	117.405	209.883
Est. 14	110.891	115.775	95.514	56.860	21.836	3.846	14.316	12.974	33.801	47.090	86.378	123.804
Est. 15	156.534	164.272	121.631	93.133	28.859	4.368	17.134	10.246	46.785	57.491	134.872	135.256
Est. 16	160.997	243.349	115.821	84.835	27.243	5.846	20.078	9.021	68.787	60.381	126.478	163.815
Est. 17	132.508	282.328	96.837	58.747	25.963	9.112	16.968	7.821	77.982	57.479	107.717	200.296
Est. 18	156.534	164.272	121.631	93.133	28.859	4.368	17.134	10.246	46.785	57.491	134.872	135.256
Est. 19	156.534	164.272	121.631	93.133	28.859	4.368	17.134	10.246	46.785	57.491	134.872	135.256
Est. 20	160.997	243.349	115.821	84.835	27.243	5.846	20.078	9.021	68.787	60.381	126.478	163.815
Est. 21	132.508	282.328	96.837	58.747	25.963	9.112	16.968	7.821	77.982	57.479	107.717	200.296

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 10

Precipitación media mensual (mm) para el año 2010

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2010	2/01/2010	3/01/2010	4/01/2010	5/01/2010	6/01/2010	7/01/2010	8/01/2010	9/01/2010	10/01/2010	11/01/2010	12/01/2010
Est. 01	207.647	156.655	193.249	39.996	5.886	2.290	0.000	3.048	9.744	59.034	41.024	124.846
Est. 02	179.703	154.088	203.472	64.091	7.272	3.940	0.179	6.206	14.797	67.913	62.635	138.321
Est. 03	241.564	151.275	192.080	56.122	8.255	3.459	0.000	4.520	13.723	64.905	57.120	141.499
Est. 04	241.564	151.275	192.080	56.122	8.255	3.459	0.000	4.520	13.723	64.905	57.120	141.499
Est. 05	138.586	102.899	138.564	58.217	11.830	4.529	0.041	11.527	12.633	71.817	62.273	109.473
Est. 06	197.808	131.846	184.031	57.506	7.256	6.368	0.566	12.062	12.790	81.600	72.057	131.644
Est. 07	175.302	151.792	207.685	60.638	7.876	7.547	0.499	8.939	18.966	76.912	70.577	152.106
Est. 08	185.634	170.127	236.963	66.947	14.112	7.390	0.304	5.979	17.117	69.031	63.095	158.141
Est. 09	281.472	165.401	224.609	79.606	24.587	8.505	0.200	4.506	12.214	79.259	58.195	161.535
Est. 10	181.372	93.198	149.481	62.928	12.734	3.890	0.125	8.930	12.514	62.559	53.815	113.819
Est. 11	181.372	93.198	149.481	62.928	12.734	3.890	0.125	8.930	12.514	62.559	53.815	113.819
Est. 12	250.114	131.621	164.505	57.082	8.305	5.307	0.342	10.669	16.104	75.071	61.229	144.438
Est. 13	184.988	159.965	173.922	47.858	10.971	9.576	0.449	8.281	23.848	66.804	58.760	163.149
Est. 14	170.119	88.022	113.595	43.015	12.848	4.185	0.162	9.770	13.925	67.747	23.256	122.483
Est. 15	246.642	113.414	147.972	68.345	19.631	4.389	0.267	7.574	20.111	72.028	47.596	123.729
Est. 16	259.550	152.404	153.408	62.786	18.674	6.250	0.419	6.605	25.352	66.989	50.450	137.461
Est. 17	203.556	169.671	139.248	44.600	19.346	10.037	0.340	5.192	25.865	55.423	44.589	162.560
Est. 18	246.642	113.414	147.972	68.345	19.631	4.389	0.267	7.574	20.111	72.028	47.596	123.729
Est. 19	246.642	113.414	147.972	68.345	19.631	4.389	0.267	7.574	20.111	72.028	47.596	123.729
Est. 20	259.550	152.404	153.408	62.786	18.674	6.250	0.419	6.605	25.352	66.989	50.450	137.461
Est. 21	203.556	169.671	139.248	44.600	19.346	10.037	0.340	5.192	25.865	55.423	44.589	162.560

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 11

Precipitación media mensual (mm) para el año 2011

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2011	2/01/2011	3/01/2011	4/01/2011	5/01/2011	6/01/2011	7/01/2011	8/01/2011	9/01/2011	10/01/2011	11/01/2011	12/01/2011
Est. 01	223.461	310.108	207.463	71.131	8.298	0.220	1.302	2.966	17.059	36.730	60.517	129.669
Est. 02	172.281	294.726	233.449	95.233	10.515	0.522	3.138	6.106	30.388	43.157	90.047	149.849
Est. 03	234.127	284.678	232.516	80.453	8.993	0.246	1.278	5.230	27.519	41.673	80.594	153.034
Est. 04	234.127	284.678	232.516	80.453	8.993	0.246	1.278	5.230	27.519	41.673	80.594	153.034
Est. 05	146.931	189.008	160.532	96.922	25.582	1.239	6.541	6.621	33.518	49.111	98.179	117.155
Est. 06	185.302	243.463	209.365	85.840	14.230	1.569	9.154	9.102	33.151	52.086	103.059	143.207
Est. 07	160.756	280.360	247.267	80.827	11.979	1.502	5.998	9.425	46.899	48.394	99.716	164.666
Est. 08	175.941	302.113	287.353	86.512	14.923	0.901	2.816	8.498	44.569	47.645	93.010	170.748
Est. 09	264.617	274.904	271.169	98.643	16.130	0.344	1.052	7.947	39.479	67.582	96.331	182.566
Est. 10	188.406	169.068	177.465	101.223	25.378	1.523	8.042	5.013	32.033	41.178	103.780	109.252
Est. 11	188.406	169.068	177.465	101.223	25.378	1.523	8.042	5.013	32.033	41.178	103.780	109.252
Est. 12	225.051	238.222	191.095	83.642	14.947	1.709	10.586	8.150	44.701	43.915	92.742	146.552
Est. 13	170.108	286.873	214.086	64.765	16.672	2.531	8.119	9.730	67.170	42.717	84.268	168.366
Est. 14	197.940	157.402	153.160	75.002	28.576	3.024	8.171	3.179	36.876	53.089	64.978	94.339
Est. 15	263.690	203.299	181.078	109.642	37.540	2.516	9.983	3.758	50.305	49.569	100.131	107.381
Est. 16	253.758	271.092	186.697	93.404	31.827	2.684	11.088	5.385	67.264	43.777	89.463	130.309
Est. 17	199.226	300.041	183.724	61.272	28.708	3.296	8.988	7.400	73.904	39.384	74.724	155.267
Est. 18	263.690	203.299	181.078	109.642	37.540	2.516	9.983	3.758	50.305	49.569	100.131	107.381
Est. 19	263.690	203.299	181.078	109.642	37.540	2.516	9.983	3.758	50.305	49.569	100.131	107.381
Est. 20	253.758	271.092	186.697	93.404	31.827	2.684	11.088	5.385	67.264	43.777	89.463	130.309
Est. 21	199.226	300.041	183.724	61.272	28.708	3.296	8.988	7.400	73.904	39.384	74.724	155.267

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 12

Precipitación media mensual (mm) para el año 2012

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2012	2/01/2012	3/01/2012	4/01/2012	5/01/2012	6/01/2012	7/01/2012	8/01/2012	9/01/2012	10/01/2012	11/01/2012	12/01/2012
Est. 01	103.010	287.966	210.654	79.852	6.048	4.637	1.258	1.709	31.835	56.058	59.876	117.229
Est. 02	85.052	278.345	199.019	130.958	7.927	7.705	3.221	3.698	55.755	55.054	89.831	128.430
Est. 03	115.987	273.664	231.518	102.872	8.176	5.443	1.108	3.405	56.736	56.381	81.884	124.131
Est. 04	115.987	273.664	231.518	102.872	8.176	5.443	1.108	3.405	56.736	56.381	81.884	124.131
Est. 05	67.146	165.971	90.754	166.722	17.582	15.528	5.932	3.437	44.878	52.231	85.842	119.017
Est. 06	89.913	219.337	138.585	156.166	9.599	15.857	10.635	5.398	52.424	63.741	97.271	130.613
Est. 07	78.676	262.427	189.037	145.991	8.965	14.675	6.645	5.459	85.000	62.445	100.483	137.905
Est. 08	88.725	297.750	240.464	144.724	14.582	11.288	2.426	4.758	87.962	62.712	96.869	130.846
Est. 09	136.683	297.264	224.325	152.782	22.755	10.156	0.636	4.638	81.620	91.269	106.415	122.303
Est. 10	85.919	150.143	96.872	190.239	16.644	13.995	6.458	2.301	39.627	47.437	87.512	123.046
Est. 11	85.919	150.143	96.872	190.239	16.644	13.995	6.458	2.301	39.627	47.437	87.512	123.046
Est. 12	107.370	216.555	122.353	186.517	9.098	14.871	12.354	4.680	66.722	58.995	81.348	146.957
Est. 13	82.677	265.808	151.460	144.766	11.435	20.338	8.655	5.019	111.150	58.938	80.160	155.345
Est. 14	83.051	141.501	69.344	120.758	22.830	20.525	3.586	1.182	29.888	50.429	57.455	137.206
Est. 15	122.979	182.028	94.331	209.641	27.832	17.564	6.249	1.689	50.974	54.209	82.485	135.085
Est. 16	126.885	248.031	108.364	198.331	22.831	19.164	8.775	2.462	81.178	55.362	74.623	149.083
Est. 17	102.497	281.307	117.074	140.145	21.071	23.549	6.859	2.913	100.387	53.594	65.981	169.420
Est. 18	122.979	182.028	94.331	209.641	27.832	17.564	6.249	1.689	50.974	54.209	82.485	135.085
Est. 19	122.979	182.028	94.331	209.641	27.832	17.564	6.249	1.689	50.974	54.209	82.485	135.085
Est. 20	126.885	248.031	108.364	198.331	22.831	19.164	8.775	2.462	81.178	55.362	74.623	149.083
Est. 21	102.497	281.307	117.074	140.145	21.071	23.549	6.859	2.913	100.387	53.594	65.981	169.420

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 13

Precipitación media mensual (mm) para el año 2013

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2013	2/01/2013	3/01/2013	4/01/2013	5/01/2013	6/01/2013	7/01/2013	8/01/2013	9/01/2013	10/01/2013	11/01/2013	12/01/2013
Est. 01	142.533	193.545	193.130	27.971	26.367	5.369	2.132	7.326	14.613	79.803	43.828	112.133
Est. 02	111.345	181.382	188.070	45.270	27.716	9.374	4.903	16.013	24.715	81.136	64.262	128.470
Est. 03	155.527	184.822	220.774	39.005	29.938	6.022	1.912	9.374	29.398	75.943	60.088	137.282
Est. 04	155.527	184.822	220.774	39.005	29.938	6.022	1.912	9.374	29.398	75.943	60.088	137.282
Est. 05	91.593	114.666	91.990	38.608	50.547	16.492	10.778	37.570	14.792	75.007	61.464	107.115
Est. 06	115.907	140.956	133.830	40.140	29.258	18.023	16.078	41.350	17.457	88.165	66.482	118.167
Est. 07	101.206	166.986	182.861	40.932	28.482	17.452	9.771	28.616	34.576	86.468	69.696	137.998
Est. 08	117.747	196.960	248.063	41.370	44.744	13.254	4.073	15.825	45.870	82.899	69.933	153.336
Est. 09	205.630	197.654	272.697	47.038	65.506	10.372	1.431	8.414	54.616	111.551	74.091	180.391
Est. 10	115.577	107.734	101.562	37.566	46.072	17.123	12.040	32.225	13.511	58.494	64.371	104.044
Est. 11	115.577	107.734	101.562	37.566	46.072	17.123	12.040	32.225	13.511	58.494	64.371	104.044
Est. 12	136.799	139.199	119.445	39.559	26.082	19.162	18.790	46.165	20.811	71.838	57.673	119.442
Est. 13	109.684	171.425	149.624	32.000	33.613	21.613	13.151	34.668	42.530	75.575	58.741	143.883
Est. 14	119.478	107.893	82.727	22.517	50.652	19.084	10.421	28.386	15.234	56.826	42.910	116.657
Est. 15	166.380	129.183	107.599	41.000	65.790	19.588	13.853	29.965	20.075	64.369	62.639	112.437
Est. 16	171.086	160.101	120.768	42.652	53.628	21.726	16.402	33.100	30.768	68.712	57.064	123.765
Est. 17	141.998	181.676	126.283	30.471	51.968	21.924	12.850	29.420	43.159	70.220	53.149	151.680
Est. 18	166.380	129.183	107.599	41.000	65.790	19.588	13.853	29.965	20.075	64.369	62.639	112.437
Est. 19	166.380	129.183	107.599	41.000	65.790	19.588	13.853	29.965	20.075	64.369	62.639	112.437
Est. 20	171.086	160.101	120.768	42.652	53.628	21.726	16.402	33.100	30.768	68.712	57.064	123.765
Est. 21	141.998	181.676	126.283	30.471	51.968	21.924	12.850	29.420	43.159	70.220	53.149	151.680

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 14

Precipitación media mensual (mm) para el año 2014

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2014	2/01/2014	3/01/2014	4/01/2014	5/01/2014	6/01/2014	7/01/2014	8/01/2014	9/01/2014	10/01/2014	11/01/2014	12/01/2014
Est. 01	174.459	166.779	257.196	52.031	11.909	0.680	1.822	5.403	31.598	50.244	30.078	117.147
Est. 02	132.961	160.531	245.910	74.726	15.296	0.900	4.416	11.525	54.611	54.266	45.729	137.557
Est. 03	206.235	171.772	254.878	60.020	14.358	0.409	1.658	11.712	45.707	53.726	42.678	139.635
Est. 04	206.235	171.772	254.878	60.020	14.358	0.409	1.658	11.712	45.707	53.726	42.678	139.635
Est. 05	88.049	91.809	152.278	78.040	36.688	1.262	12.287	15.196	53.048	50.082	53.985	114.112
Est. 06	119.200	115.597	197.971	68.866	21.523	1.434	15.658	16.027	54.468	58.427	53.796	133.507
Est. 07	116.542	145.142	233.212	65.589	19.228	1.513	9.022	16.017	79.805	58.159	52.519	149.325
Est. 08	152.313	184.892	280.340	63.626	23.279	0.971	3.721	18.751	70.619	59.186	50.161	154.545
Est. 09	293.555	205.504	280.199	64.210	25.358	0.397	1.323	28.215	55.569	86.457	56.230	170.514
Est. 10	110.049	82.415	159.536	80.219	35.122	1.225	15.977	10.503	49.395	40.554	61.453	110.192
Est. 11	110.049	82.415	159.536	80.219	35.122	1.225	15.977	10.503	49.395	40.554	61.453	110.192
Est. 12	133.530	110.715	165.312	67.417	23.659	1.186	19.245	11.860	72.295	46.871	48.668	136.084
Est. 13	116.861	145.468	185.044	53.362	27.930	1.678	12.462	14.504	110.515	51.115	45.326	152.553
Est. 14	116.508	83.578	135.355	55.713	39.520	2.017	19.874	10.023	49.937	42.703	48.491	106.703
Est. 15	159.173	100.103	158.063	86.830	52.481	1.697	20.371	8.913	68.203	46.425	63.796	115.417
Est. 16	163.345	130.588	163.937	78.902	48.176	1.754	19.046	9.776	96.130	48.345	51.705	132.619
Est. 17	142.890	155.080	163.481	54.985	47.066	1.868	13.454	12.507	113.429	49.507	43.026	151.930
Est. 18	159.173	100.103	158.063	86.830	52.481	1.697	20.371	8.913	68.203	46.425	63.796	115.417
Est. 19	159.173	100.103	158.063	86.830	52.481	1.697	20.371	8.913	68.203	46.425	63.796	115.417
Est. 20	163.345	130.588	163.937	78.902	48.176	1.754	19.046	9.776	96.130	48.345	51.705	132.619
Est. 21	142.890	155.080	163.481	54.985	47.066	1.868	13.454	12.507	113.429	49.507	43.026	151.930

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 15

Precipitación media mensual (mm) para el año 2015

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2015	2/01/2015	3/01/2015	4/01/2015	5/01/2015	6/01/2015	7/01/2015	8/01/2015	9/01/2015	10/01/2015	11/01/2015	12/01/2015
Est. 01	179.049	168.809	239.173	70.400	14.729	3.478	0.947	6.189	21.869	35.209	44.156	105.619
Est. 02	150.533	165.992	217.150	112.394	18.219	4.997	2.345	13.785	37.353	39.759	75.024	122.468
Est. 03	199.290	164.338	178.371	84.463	17.172	3.968	1.052	8.586	35.532	34.837	58.546	123.091
Est. 04	199.290	164.338	178.371	84.463	17.172	3.968	1.052	8.586	35.532	34.837	58.546	123.091
Est. 05	125.476	121.274	147.579	98.583	40.240	6.704	5.398	30.041	32.903	43.554	98.237	112.274
Est. 06	166.911	145.478	186.606	104.605	24.648	8.318	6.548	34.599	37.473	51.608	102.596	121.152
Est. 07	143.166	166.554	196.931	107.773	20.946	8.829	4.224	24.958	56.496	47.282	94.656	133.070
Est. 08	152.523	189.143	206.950	99.459	26.710	7.329	2.326	14.226	56.023	41.490	73.315	141.997
Est. 09	241.017	189.731	196.036	96.029	31.023	6.200	1.359	8.026	55.416	50.419	60.243	162.574
Est. 10	162.271	116.351	139.003	98.411	37.366	8.233	6.083	25.809	29.648	35.082	98.478	106.286
Est. 11	162.271	116.351	139.003	98.411	37.366	8.233	6.083	25.809	29.648	35.082	98.478	106.286
Est. 12	208.614	154.922	153.650	105.356	25.863	9.895	6.373	39.068	49.289	46.447	97.530	119.580
Est. 13	153.253	183.320	166.089	86.249	29.083	11.300	5.027	30.517	76.016	46.079	84.085	137.233
Est. 14	161.291	120.585	91.597	57.301	38.362	10.133	7.011	23.096	27.796	33.626	56.891	108.152
Est. 15	224.591	140.506	126.036	98.867	55.647	10.123	7.458	23.066	41.736	37.988	88.645	110.627
Est. 16	226.342	178.948	136.925	98.246	52.599	11.720	7.500	26.066	64.555	41.973	83.652	120.446
Est. 17	178.472	198.601	135.977	71.606	50.318	11.879	5.940	24.831	76.027	42.811	68.122	142.179
Est. 18	224.591	140.506	126.036	98.867	55.647	10.123	7.458	23.066	41.736	37.988	88.645	110.627
Est. 19	224.591	140.506	126.036	98.867	55.647	10.123	7.458	23.066	41.736	37.988	88.645	110.627
Est. 20	226.342	178.948	136.925	98.246	52.599	11.720	7.500	26.066	64.555	41.973	83.652	120.446
Est. 21	178.472	198.601	135.977	71.606	50.318	11.879	5.940	24.831	76.027	42.811	68.122	142.179

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 16

Precipitación media mensual (mm) para el año 2016

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2016	2/01/2016	3/01/2016	4/01/2016	5/01/2016	6/01/2016	7/01/2016	8/01/2016	9/01/2016	10/01/2016	11/01/2016	12/01/2016
Est. 01	72.939	234.503	212.799	79.147	6.096	1.949	1.510	3.373	11.023	39.365	20.603	86.788
Est. 02	62.893	220.433	184.373	109.220	7.025	3.308	3.761	6.584	18.100	49.679	34.735	89.536
Est. 03	87.341	185.884	171.185	84.577	6.156	2.765	1.531	5.635	19.327	43.285	35.285	93.551
Est. 04	87.341	185.884	171.185	84.577	6.156	2.765	1.531	5.635	19.327	43.285	35.285	93.551
Est. 05	52.950	177.988	105.839	93.522	17.826	2.806	8.005	12.386	13.883	69.113	36.632	71.865
Est. 06	69.555	215.373	134.929	87.521	9.186	5.196	12.478	11.455	14.582	72.991	39.996	78.119
Est. 07	59.761	217.480	150.677	91.599	7.562	6.918	7.978	9.083	24.781	62.414	42.630	91.149
Est. 08	64.471	205.569	160.586	90.822	9.456	5.973	3.484	8.029	28.182	54.479	44.173	100.018
Est. 09	99.145	170.285	137.866	92.204	11.183	4.947	1.370	9.333	30.770	74.445	50.649	109.893
Est. 10	69.455	159.004	93.514	89.952	16.776	3.035	9.687	8.421	12.860	58.067	40.463	71.183
Est. 11	69.455	159.004	93.514	89.952	16.776	3.035	9.687	8.421	12.860	58.067	40.463	71.183
Est. 12	85.250	224.252	102.109	82.529	8.872	6.162	15.606	8.798	18.032	66.160	36.937	79.434
Est. 13	61.777	241.443	107.190	70.825	9.549	9.062	11.061	8.577	30.717	60.813	36.270	94.419
Est. 14	66.121	141.455	63.314	54.814	20.790	2.346	8.382	8.069	15.278	66.828	28.161	82.450
Est. 15	92.883	180.827	84.182	95.154	25.238	3.231	11.110	7.543	20.608	68.747	39.881	76.056
Est. 16	92.037	234.593	87.122	93.124	19.163	4.961	13.463	7.288	27.785	67.762	35.358	81.893
Est. 17	68.703	246.270	77.762	68.806	15.590	7.260	10.710	7.464	31.418	61.990	30.875	98.390
Est. 18	92.883	180.827	84.182	95.154	25.238	3.231	11.110	7.543	20.608	68.747	39.881	76.056
Est. 19	92.883	180.827	84.182	95.154	25.238	3.231	11.110	7.543	20.608	68.747	39.881	76.056
Est. 20	92.037	234.593	87.122	93.124	19.163	4.961	13.463	7.288	27.785	67.762	35.358	81.893
Est. 21	68.703	246.270	77.762	68.806	15.590	7.260	10.710	7.464	31.418	61.990	30.875	98.390

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 17

Precipitación media mensual (mm) para el año 2017

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2017	2/01/2017	3/01/2017	4/01/2017	5/01/2017	6/01/2017	7/01/2017	8/01/2017	9/01/2017	10/01/2017	11/01/2017	12/01/2017
Est. 01	249.690	246.946	256.554	43.213	19.027	1.431	0.494	3.391	26.527	94.359	50.952	84.985
Est. 02	189.826	236.923	247.742	70.901	24.161	2.406	1.495	6.658	46.373	94.713	77.359	97.466
Est. 03	255.108	246.359	235.717	45.457	16.651	1.160	0.639	4.719	44.900	90.993	70.838	105.057
Est. 04	255.108	246.359	235.717	45.457	16.651	1.160	0.639	4.719	44.900	90.993	70.838	105.057
Est. 05	139.313	145.232	156.015	93.904	71.411	4.319	2.661	12.704	40.077	79.936	79.499	84.457
Est. 06	196.154	196.228	199.732	85.673	43.122	6.043	4.045	13.161	43.396	101.119	84.042	94.251
Est. 07	178.985	233.564	234.357	72.359	31.903	5.227	2.883	10.074	70.659	100.112	84.933	108.779
Est. 08	197.115	282.171	281.333	53.359	28.706	2.641	1.605	6.854	70.888	93.859	81.472	119.509
Est. 09	304.467	291.913	285.837	35.875	22.298	0.873	0.902	4.758	60.664	120.084	82.460	139.371
Est. 10	173.916	137.177	167.238	98.800	69.633	5.330	3.169	10.631	38.228	65.379	80.449	85.121
Est. 11	173.916	137.177	167.238	98.800	69.633	5.330	3.169	10.631	38.228	65.379	80.449	85.121
Est. 12	238.863	204.776	162.958	92.163	50.612	7.845	4.090	12.713	58.541	85.935	72.023	99.656
Est. 13	191.902	250.498	176.467	63.629	48.196	7.341	3.486	10.386	96.661	88.634	69.345	115.421
Est. 14	165.935	123.787	150.280	67.867	70.056	6.851	3.366	10.469	36.087	68.363	53.764	98.207
Est. 15	235.012	163.618	165.499	105.970	99.319	7.010	4.120	9.648	51.686	71.404	76.512	90.718
Est. 16	256.970	225.553	154.569	96.406	88.629	8.253	4.642	9.699	81.256	77.327	67.214	97.347
Est. 17	222.372	262.812	147.485	64.030	74.325	7.201	3.850	8.600	102.812	79.228	58.340	115.127
Est. 18	235.012	163.618	165.499	105.970	99.319	7.010	4.120	9.648	51.686	71.404	76.512	90.718
Est. 19	235.012	163.618	165.499	105.970	99.319	7.010	4.120	9.648	51.686	71.404	76.512	90.718
Est. 20	256.970	225.553	154.569	96.406	88.629	8.253	4.642	9.699	81.256	77.327	67.214	97.347
Est. 21	222.372	262.812	147.485	64.030	74.325	7.201	3.850	8.600	102.812	79.228	58.340	115.127

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 18

Precipitación media mensual (mm) para el año 2018

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2018	2/01/2018	3/01/2018	4/01/2018	5/01/2018	6/01/2018	7/01/2018	8/01/2018	9/01/2018	10/01/2018	11/01/2018	12/01/2018
Est. 01	174.944	178.509	251.396	61.932	18.405	7.283	4.119	4.969	10.520	101.555	38.439	78.895
Est. 02	137.275	172.001	255.004	78.298	19.669	11.628	10.398	12.177	15.939	98.096	55.695	86.432
Est. 03	185.380	172.633	255.198	68.528	19.460	7.715	6.392	4.768	14.868	86.135	51.463	82.124
Est. 04	185.380	172.633	255.198	68.528	19.460	7.715	6.392	4.768	14.868	86.135	51.463	82.124
Est. 05	114.370	120.300	173.224	64.248	33.597	16.322	20.426	61.123	17.585	101.302	57.618	84.125
Est. 06	147.874	147.079	223.805	54.790	19.847	22.295	27.289	52.075	15.279	117.859	60.128	90.615
Est. 07	124.280	165.787	261.177	56.441	18.578	22.360	20.408	24.888	20.731	108.060	60.572	94.911
Est. 08	134.849	188.905	308.635	63.378	25.877	15.677	14.534	8.011	19.773	91.373	59.707	88.816
Est. 09	217.705	189.376	309.478	77.358	29.259	11.689	13.889	1.863	16.755	99.739	67.937	79.971
Est. 10	151.750	111.289	197.472	63.633	31.278	18.838	23.078	59.179	16.700	82.570	52.504	79.618
Est. 11	151.750	111.289	197.472	63.633	31.278	18.838	23.078	59.179	16.700	82.570	52.504	79.618
Est. 12	179.761	148.401	209.284	43.551	18.105	26.476	28.437	66.858	18.784	105.027	48.116	96.201
Est. 13	130.227	176.287	225.796	35.928	22.020	29.210	25.064	35.784	25.687	101.929	48.971	104.008
Est. 14	163.604	110.266	166.718	62.477	37.591	20.856	24.127	53.919	22.019	88.912	34.559	87.569
Est. 15	212.713	135.701	194.079	73.595	48.545	21.804	26.814	52.796	25.146	96.376	50.178	83.532
Est. 16	198.673	171.920	196.475	52.357	41.309	23.776	28.785	49.765	28.568	100.060	46.896	91.745
Est. 17	150.643	192.623	188.927	32.955	37.762	25.655	24.613	35.826	28.053	94.501	43.066	106.198
Est. 18	212.713	135.701	194.079	73.595	48.545	21.804	26.814	52.796	25.146	96.376	50.178	83.532
Est. 19	212.713	135.701	194.079	73.595	48.545	21.804	26.814	52.796	25.146	96.376	50.178	83.532
Est. 20	198.673	171.920	196.475	52.357	41.309	23.776	28.785	49.765	28.568	100.060	46.896	91.745
Est. 21	150.643	192.623	188.927	32.955	37.762	25.655	24.613	35.826	28.053	94.501	43.066	106.198

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 19

Precipitación media mensual (mm) para el año 2019

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2019	2/01/2019	3/01/2019	4/01/2019	5/01/2019	6/01/2019	7/01/2019	8/01/2019	9/01/2019	10/01/2019	11/01/2019	12/01/2019
Est. 01	161.460	227.823	274.217	38.140	13.322	1.594	1.675	0.246	19.708	47.530	56.270	159.994
Est. 02	122.333	225.043	266.148	59.057	16.633	2.147	3.747	0.829	29.055	51.908	93.437	177.415
Est. 03	165.583	226.087	272.891	58.322	16.559	2.033	1.391	0.930	31.317	46.069	75.553	176.753
Est. 04	165.583	226.087	272.891	58.322	16.559	2.033	1.391	0.930	31.317	46.069	75.553	176.753
Est. 05	107.458	144.316	173.536	43.917	32.391	1.506	10.523	0.944	18.496	55.397	122.943	157.947
Est. 06	131.289	175.224	224.295	45.809	20.539	2.631	12.977	1.240	21.497	66.601	126.447	166.559
Est. 07	111.605	215.269	262.099	54.009	20.199	3.761	7.417	1.199	37.656	60.184	113.349	186.166
Est. 08	124.355	264.437	297.807	65.257	28.711	3.647	3.016	1.107	39.398	48.954	92.153	196.212
Est. 09	201.909	289.296	257.630	83.152	32.196	2.870	0.912	0.876	35.427	52.706	78.532	218.422
Est. 10	143.145	130.714	186.395	43.221	31.946	1.984	13.021	0.458	17.785	50.016	127.708	147.438
Est. 11	143.145	130.714	186.395	43.221	31.946	1.984	13.021	0.458	17.785	50.016	127.708	147.438
Est. 12	158.870	173.781	206.264	44.151	22.013	3.069	15.349	0.733	26.498	65.506	117.205	166.125
Est. 13	118.115	228.786	219.643	41.268	28.546	4.456	10.229	0.833	43.710	59.795	100.054	193.781
Est. 14	167.645	126.221	132.911	21.405	33.365	2.753	13.636	0.442	19.760	53.426	83.064	155.115
Est. 15	202.068	157.184	180.278	41.992	48.754	2.687	14.253	0.272	26.774	55.706	122.830	148.405
Est. 16	186.899	210.332	199.102	45.141	44.852	3.498	14.974	0.329	36.365	57.365	107.556	165.191
Est. 17	143.019	254.350	189.695	37.012	42.426	4.193	11.562	0.396	41.704	54.254	89.327	205.307
Est. 18	202.068	157.184	180.278	41.992	48.754	2.687	14.253	0.272	26.774	55.706	122.830	148.405
Est. 19	202.068	157.184	180.278	41.992	48.754	2.687	14.253	0.272	26.774	55.706	122.830	148.405
Est. 20	186.899	210.332	199.102	45.141	44.852	3.498	14.974	0.329	36.365	57.365	107.556	165.191
Est. 21	143.019	254.350	189.695	37.012	42.426	4.193	11.562	0.396	41.704	54.254	89.327	205.307

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 20

Precipitación media mensual (mm) para el año 2020

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2020	2/01/2020	3/01/2020	4/01/2020	5/01/2020	6/01/2020	7/01/2020	8/01/2020	9/01/2020	10/01/2020	11/01/2020	12/01/2020
Est. 01	141.446	193.393	211.029	38.540	23.154	1.417	0.709	0.373	29.276	36.959	13.813	76.252
Est. 02	111.101	190.031	203.140	59.623	27.741	2.080	1.543	1.419	44.767	33.812	13.114	82.986
Est. 03	162.148	184.611	216.618	51.648	26.278	1.963	0.570	1.308	44.863	31.226	13.011	58.826
Est. 04	162.148	184.611	216.618	51.648	26.278	1.963	0.570	1.308	44.863	31.226	13.011	58.826
Est. 05	78.411	140.084	142.566	58.752	53.647	2.532	3.202	1.397	29.784	29.061	10.674	111.975
Est. 06	113.263	163.056	167.974	47.476	38.995	3.488	4.061	2.851	36.322	33.887	8.781	118.613
Est. 07	110.013	189.947	204.171	52.204	34.584	4.047	2.557	2.856	61.732	32.141	8.931	100.462
Est. 08	134.024	223.421	267.215	60.557	41.674	3.831	1.227	1.962	60.083	28.735	9.357	68.173
Est. 09	239.961	223.529	273.269	69.389	37.859	3.120	0.515	0.902	50.520	35.818	9.792	43.313
Est. 10	108.530	134.832	172.737	58.005	57.349	3.623	3.545	0.900	28.077	22.277	8.857	117.529
Est. 11	108.530	134.832	172.737	58.005	57.349	3.623	3.545	0.900	28.077	22.277	8.857	117.529
Est. 12	143.970	176.521	163.143	41.093	49.043	4.611	3.643	2.944	46.952	25.603	5.082	144.132
Est. 13	118.521	218.470	188.985	40.097	52.332	5.844	2.750	3.128	75.317	25.648	5.063	124.130
Est. 14	102.914	140.028	163.172	45.122	53.812	5.167	4.305	0.109	26.514	24.753	6.944	131.631
Est. 15	149.295	164.761	188.031	66.494	81.871	5.442	4.083	0.498	40.139	24.319	8.383	124.518
Est. 16	157.676	211.302	184.484	57.449	79.839	6.382	4.026	1.366	59.367	23.161	5.793	131.237
Est. 17	128.022	240.865	188.562	47.173	69.940	6.875	3.008	1.996	70.190	22.841	4.523	132.387
Est. 18	149.295	164.761	188.031	66.494	81.871	5.442	4.083	0.498	40.139	24.319	8.383	124.518
Est. 19	149.295	164.761	188.031	66.494	81.871	5.442	4.083	0.498	40.139	24.319	8.383	124.518
Est. 20	157.676	211.302	184.484	57.449	79.839	6.382	4.026	1.366	59.367	23.161	5.793	131.237
Est. 21	128.022	240.865	188.562	47.173	69.940	6.875	3.008	1.996	70.190	22.841	4.523	132.387

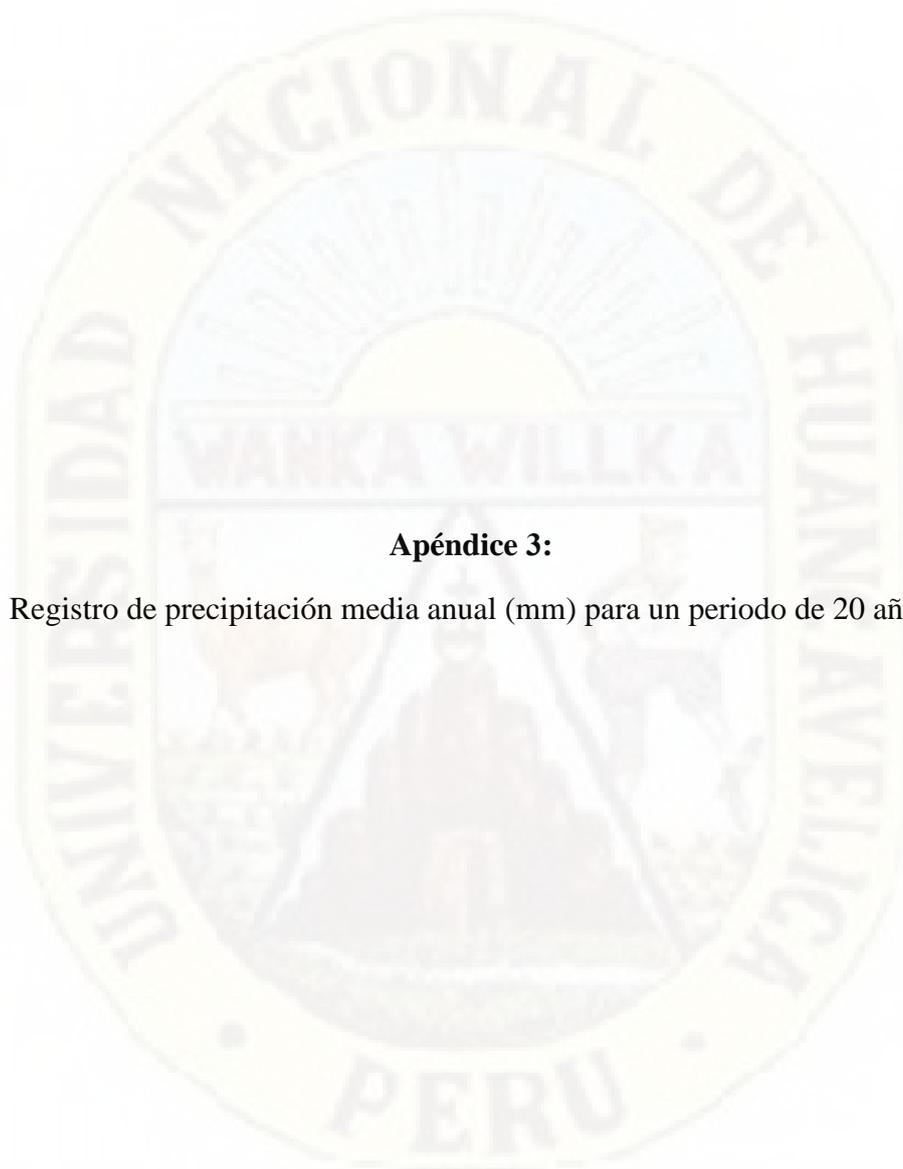
Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)

Tabla 21

Precipitación media mensual (mm) para el año 2021

Estaciones pluviométricas sintéticas	Fecha											
	1/01/2021	2/01/2021	3/01/2021	4/01/2021	5/01/2021	6/01/2021	7/01/2021	8/01/2021	9/01/2021	10/01/2021	11/01/2021	12/01/2021
Est. 01	90.455	68.028	249.400	100.892	36.744	13.363	7.262	12.952	36.323	100.191	122.962	95.967
Est. 02	69.876	70.633	249.962	140.181	36.368	15.572	11.957	20.243	46.862	85.079	165.878	97.039
Est. 03	66.845	53.572	243.072	129.310	44.012	21.864	11.457	26.044	56.513	99.172	168.552	115.022
Est. 04	66.845	53.572	243.072	129.310	44.012	21.864	11.457	26.044	56.513	99.172	168.552	115.022
Est. 05	94.342	63.577	210.711	114.223	47.281	9.793	8.258	17.810	26.975	56.132	151.802	70.946
Est. 06	106.405	77.139	242.272	108.300	32.379	16.138	16.713	23.710	30.523	72.742	145.729	79.412
Est. 07	72.119	75.548	255.827	115.743	33.752	21.784	16.869	24.831	54.167	77.482	156.322	96.774
Est. 08	53.557	62.621	251.744	124.930	54.630	23.333	14.349	24.805	59.605	80.866	164.721	112.522
Est. 09	50.314	43.106	245.678	129.019	58.458	18.678	11.865	21.630	57.131	110.852	170.123	128.629
Est. 10	135.148	62.374	213.451	114.150	42.451	10.905	8.900	15.027	24.296	44.119	148.773	69.663
Est. 11	135.148	62.374	213.451	114.150	42.451	10.905	8.900	15.027	24.296	44.119	148.773	69.663
Est. 12	152.218	91.300	245.745	100.316	30.992	16.687	15.447	20.260	35.577	55.464	107.731	80.055
Est. 13	89.558	91.740	251.196	86.057	41.230	23.990	16.676	21.954	61.263	61.692	111.380	98.050
Est. 14	158.633	62.042	186.124	74.258	39.715	10.192	6.009	13.760	25.964	48.300	106.290	81.076
Est. 15	197.409	77.059	210.675	122.652	59.132	12.581	9.036	13.336	35.104	50.434	140.045	77.221
Est. 16	176.508	100.680	225.657	114.851	57.974	17.381	13.382	15.179	48.464	52.097	112.508	83.055
Est. 17	118.127	103.063	224.243	84.377	58.743	22.613	14.500	16.908	58.929	54.819	98.353	102.082
Est. 18	197.409	77.059	210.675	122.652	59.132	12.581	9.036	13.336	35.104	50.434	140.045	77.221
Est. 19	197.409	77.059	210.675	122.652	59.132	12.581	9.036	13.336	35.104	50.434	140.045	77.221
Est. 20	176.508	100.680	225.657	114.851	57.974	17.381	13.382	15.179	48.464	52.097	112.508	83.055
Est. 21	118.127	103.063	224.243	84.377	58.743	22.613	14.500	16.908	58.929	54.819	98.353	102.082

Fuente: Pisco SENAMHI (01/01/1981 - 01/01/2022)



Apéndice 3:

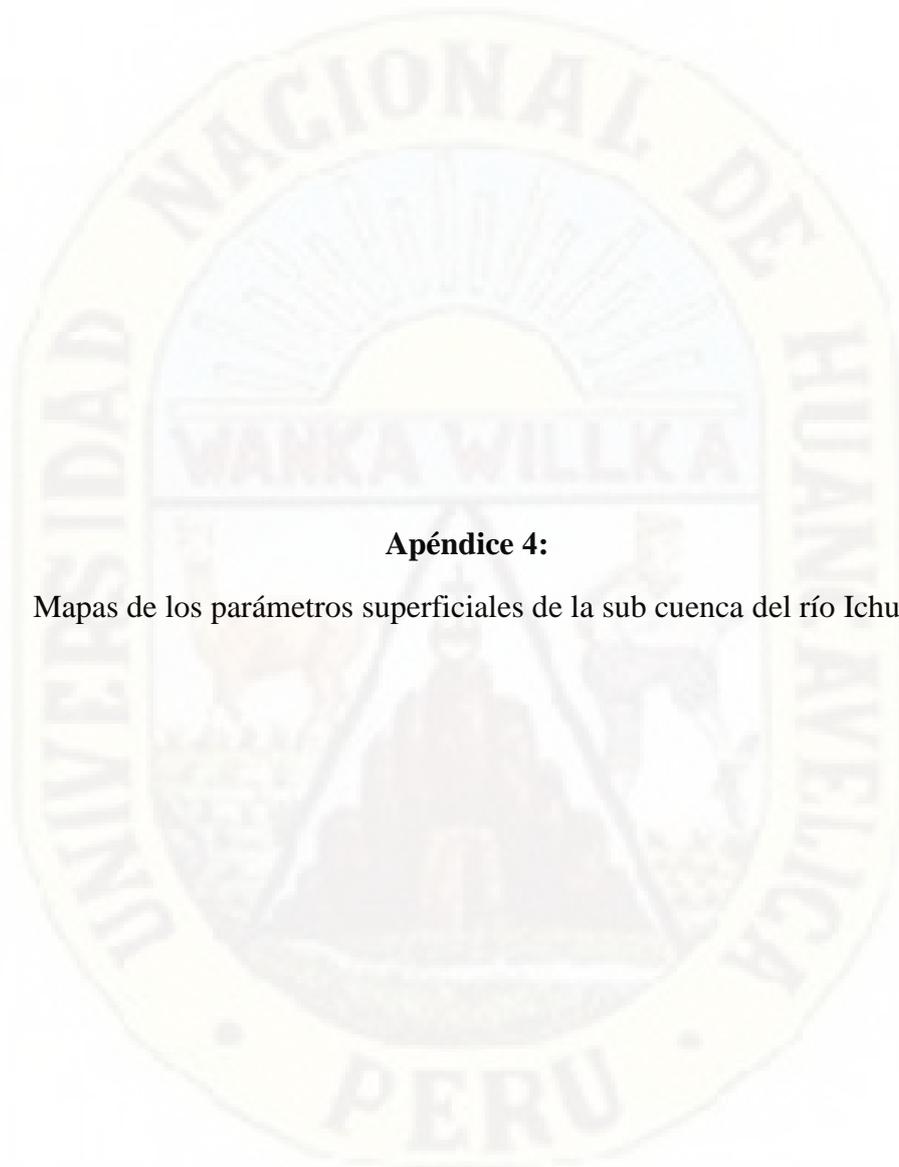
Registro de precipitación media anual (mm) para un periodo de 20 años

Tabla 22

Precipitación media anual (mm) para un periodo de 20 años

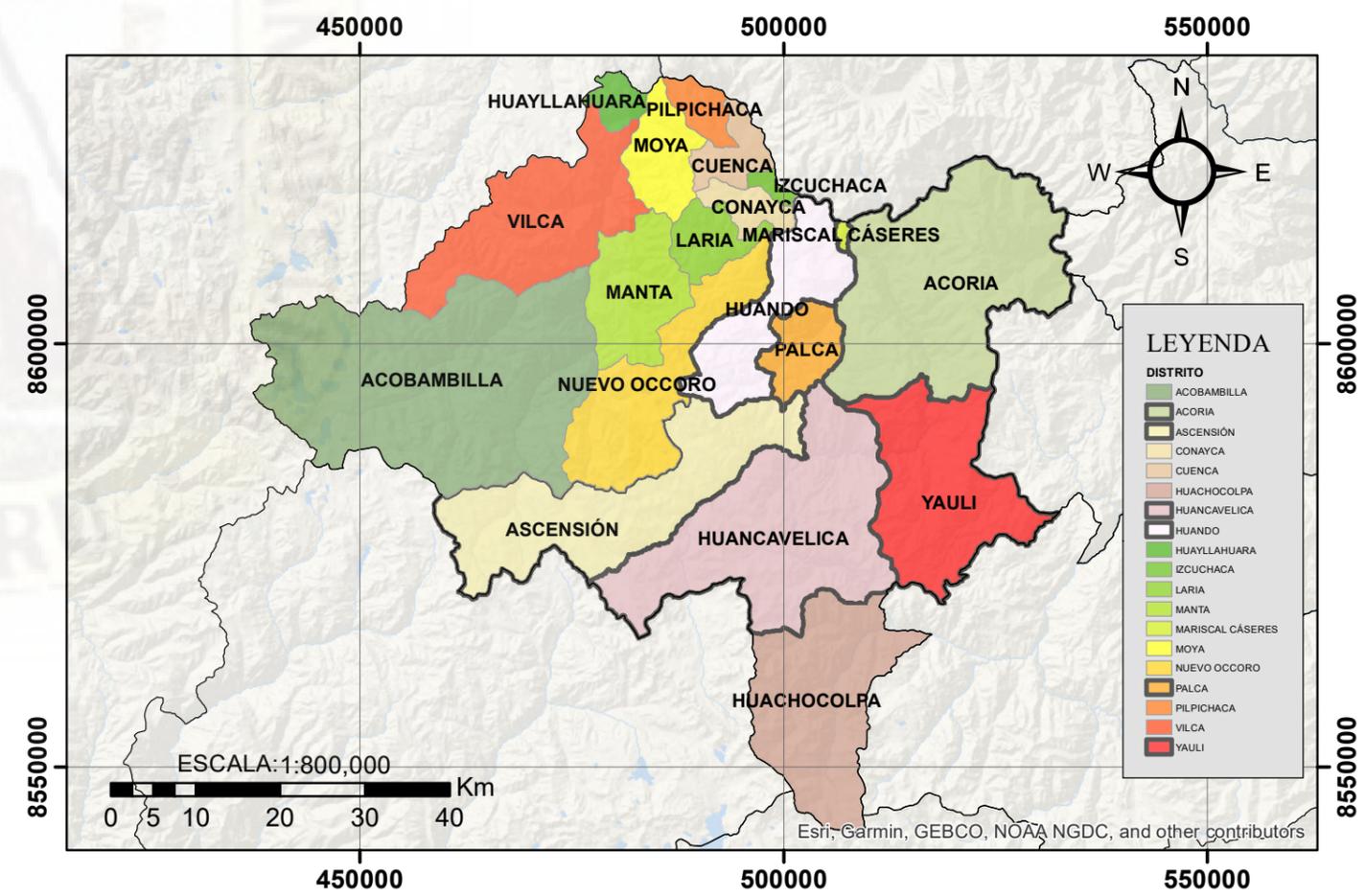
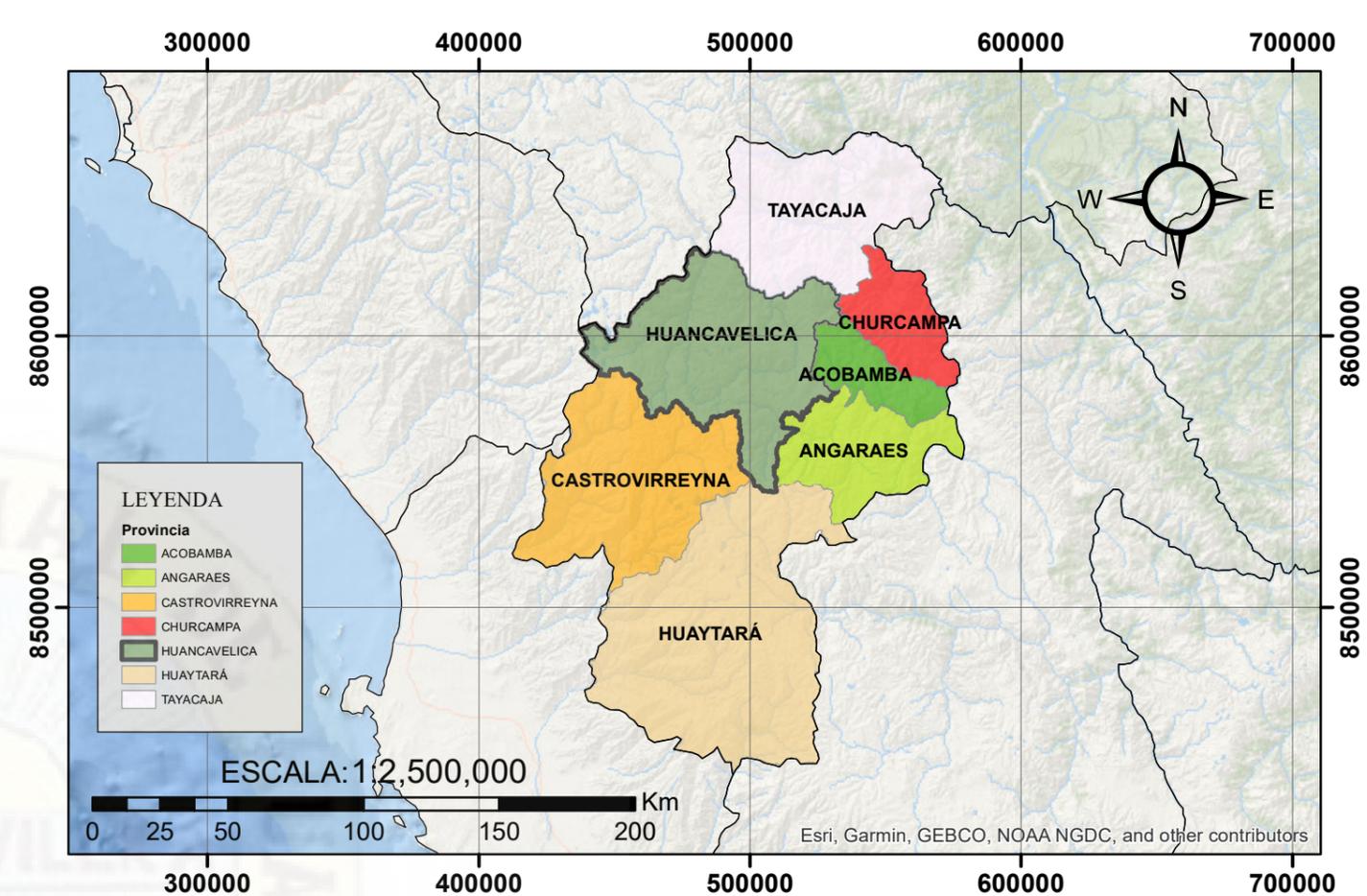
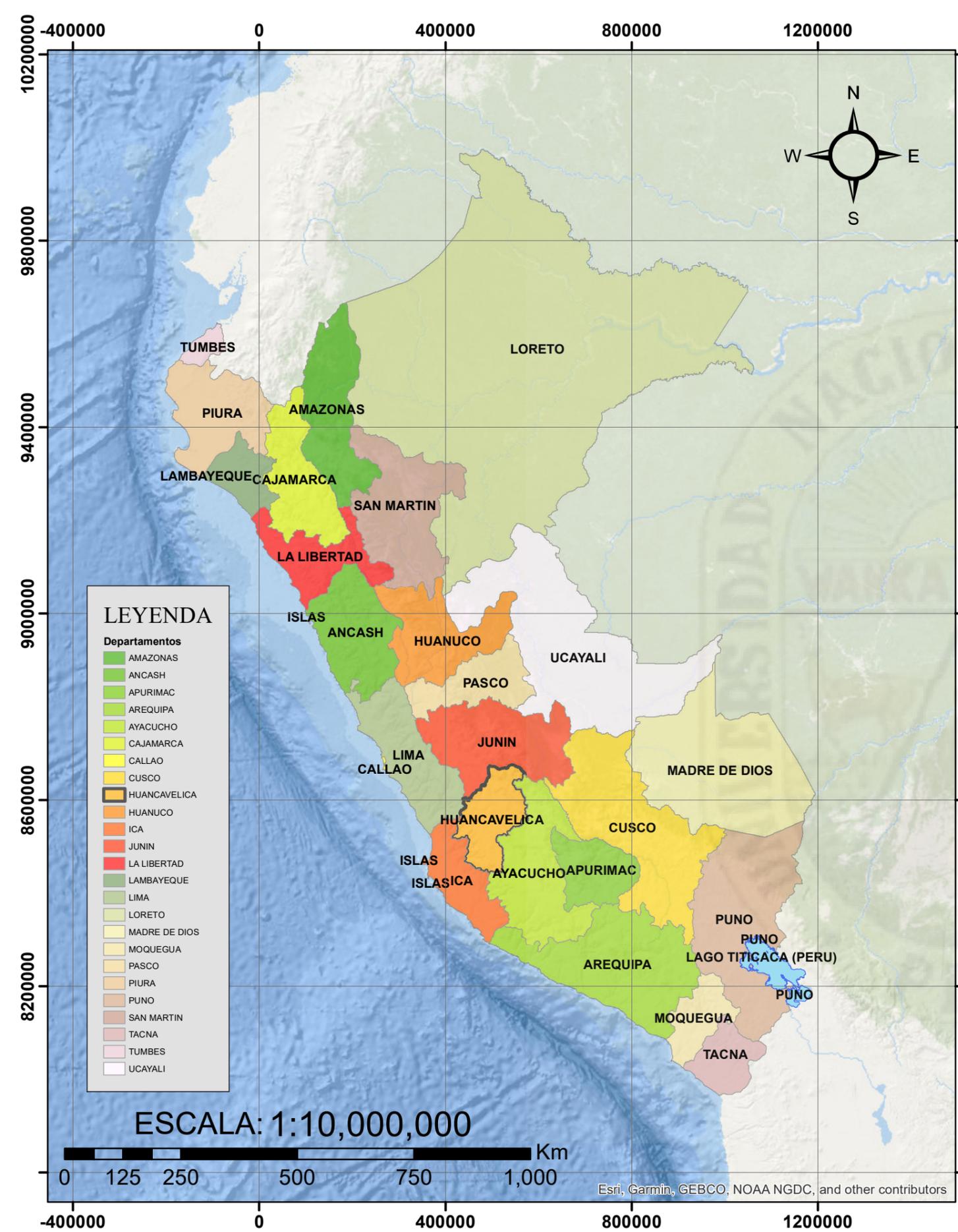
Estaciones PISCO SENAMHI	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07	Año 08	Año 09	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	PP_media para un periodo de 20 años
Est. 01	1099.764	997.202	784.841	692.831	888.225	774.937	740.143	863.886	843.420	1068.923	960.132	848.748	899.346	889.627	770.096	1077.568	930.967	1001.978	766.360	934.539	891.677
Est. 02	1236.611	1105.682	846.625	745.024	913.186	789.678	738.672	935.690	902.615	1129.411	1044.995	882.656	938.428	960.021	789.647	1096.021	952.611	1047.751	771.358	1009.648	941.817
Est. 03	1141.843	1139.431	847.202	785.848	937.616	820.124	795.535	934.292	934.522	1150.342	1061.307	950.084	1002.788	909.246	736.521	1117.598	954.663	1073.489	793.069	1035.435	956.048
Est. 04	1141.843	1139.431	847.202	785.848	937.616	820.124	795.535	934.292	934.522	1150.342	1061.307	950.084	1002.788	909.246	736.521	1117.598	954.663	1073.489	793.069	1035.435	956.048
Est. 05	983.376	804.672	703.353	591.174	728.421	615.093	570.318	800.807	722.390	931.338	835.040	710.620	746.836	862.262	662.816	909.526	864.240	869.374	662.085	871.851	772.280
Est. 06	1267.285	1056.172	825.675	710.963	860.027	729.816	688.755	989.297	895.536	1089.529	989.539	825.813	856.474	990.542	751.379	1066.968	978.935	995.108	738.767	951.461	912.902
Est. 07	1363.926	1179.741	899.615	772.783	920.371	807.135	740.000	1039.292	938.840	1157.790	1097.708	905.043	946.071	1004.885	772.032	1133.837	978.192	1072.912	803.645	1001.219	976.752
Est. 08	1366.236	1285.924	969.972	855.695	1014.104	879.486	829.961	1025.852	994.838	1235.030	1183.107	1034.074	1062.404	1011.492	775.242	1219.511	1019.535	1165.054	900.259	1027.683	1042.773
Est. 09	1306.263	1396.688	1033.487	936.475	1166.349	905.932	994.924	1019.116	1100.089	1320.763	1250.847	1229.390	1267.530	1098.073	792.090	1349.503	1115.019	1253.929	987.987	1045.484	1128.497
Est. 10	967.743	822.054	719.539	605.602	723.821	630.945	584.646	858.482	755.364	962.361	860.192	710.318	756.639	863.019	632.417	935.071	887.908	893.832	716.261	889.256	788.774
Est. 11	967.743	822.054	719.539	605.602	723.821	630.945	584.646	858.482	755.364	962.361	860.192	710.318	756.639	863.019	632.417	935.071	887.908	893.832	716.261	889.256	788.774
Est. 12	1301.128	1130.910	843.460	723.159	835.071	710.738	690.348	1086.673	924.787	1101.313	1027.820	814.964	836.843	1016.587	734.142	1090.176	989.000	999.565	806.737	951.792	930.761
Est. 13	1370.782	1195.172	915.876	758.435	865.879	766.892	728.140	1098.766	908.571	1135.403	1095.751	886.509	916.819	1008.251	741.703	1121.966	960.912	1049.216	860.283	954.785	967.005
Est. 14	759.803	657.802	680.391	533.830	639.739	558.989	577.690	723.084	669.125	875.736	737.753	672.784	710.422	735.842	558.008	855.032	872.617	809.745	704.471	812.362	707.261
Est. 15	1053.294	899.466	824.399	685.169	814.740	713.921	714.467	970.581	871.697	1118.890	985.066	832.879	881.471	965.290	705.458	1080.517	1021.278	1001.202	857.835	1004.682	900.115
Est. 16	1255.973	1080.277	887.804	756.000	866.595	760.218	758.222	1086.650	940.350	1186.749	1095.089	899.771	944.323	1048.972	764.550	1167.866	1030.329	1071.605	922.083	1017.735	977.058
Est. 17	1277.369	1115.614	899.278	745.876	838.582	755.908	741.251	1073.758	880.427	1135.935	1084.796	914.798	949.223	1006.763	725.236	1146.182	960.822	1073.245	916.381	956.757	959.910
Est. 18	1053.294	899.466	824.399	685.169	814.740	713.921	714.467	970.581	871.697	1118.890	985.066	832.879	881.471	965.290	705.458	1080.517	1021.278	1001.202	857.835	1004.682	900.115
Est. 19	1053.294	899.466	824.399	685.169	814.740	713.921	714.467	970.581	871.697	1118.890	985.066	832.879	881.471	965.290	705.458	1080.517	1021.278	1001.202	857.835	1004.682	900.115
Est. 20	1255.973	1080.277	887.804	756.000	866.595	760.218	758.222	1086.650	940.350	1186.749	1095.089	899.771	944.323	1048.972	764.550	1167.866	1030.329	1071.605	922.083	1017.735	977.058
Est. 21	1277.369	1115.614	899.278	745.876	838.582	755.908	741.251	1073.758	880.427	1135.935	1084.796	914.798	949.223	1006.763	725.236	1146.182	960.822	1073.245	916.381	956.757	959.910

Fuente: Elaboración propia, 2022.



Apéndice 4:

Mapas de los parámetros superficiales de la sub cuenca del río Ichu



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCAVELICA"

PLANO:

"PLANO DE UBICACIÓN"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

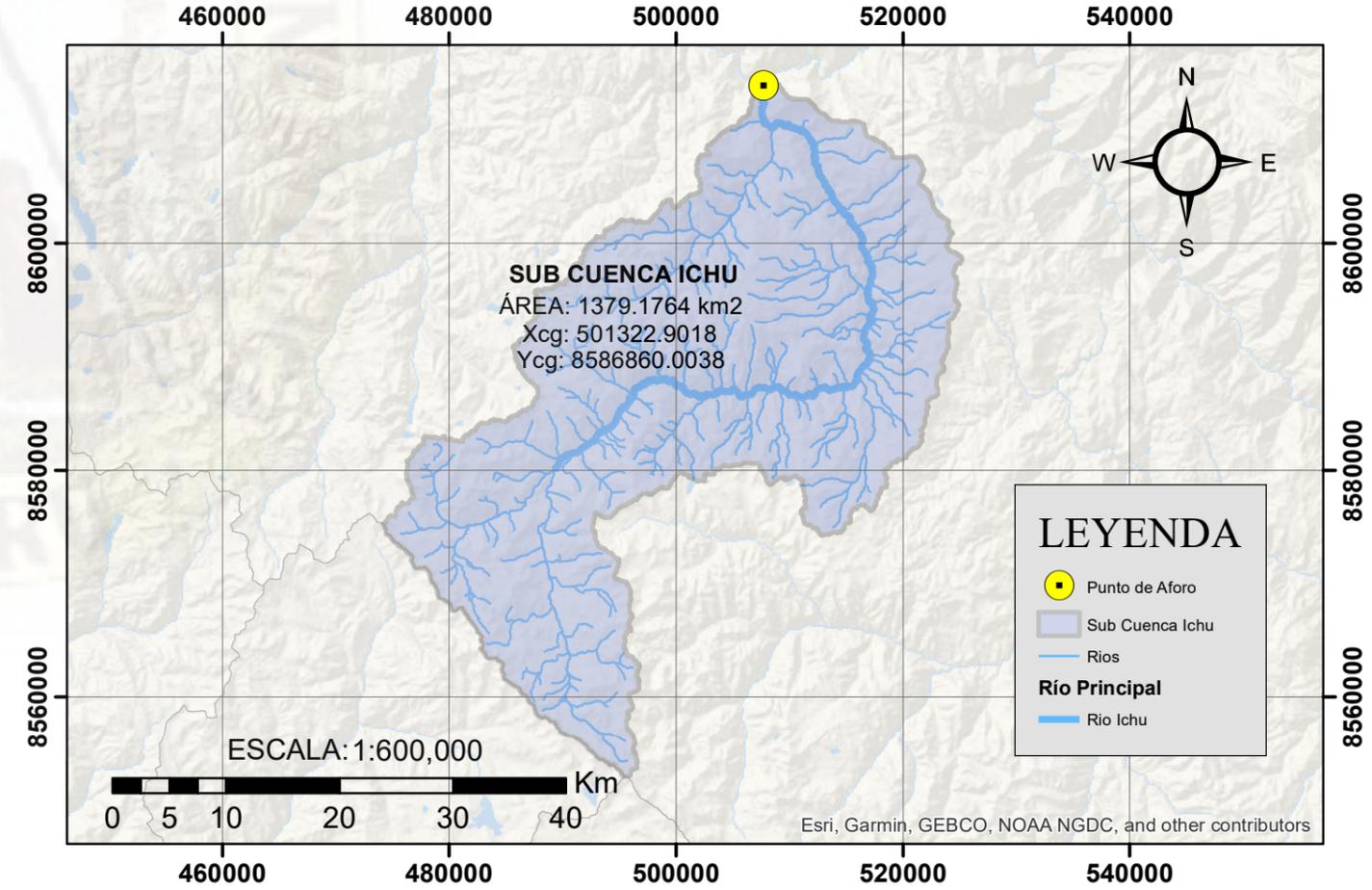
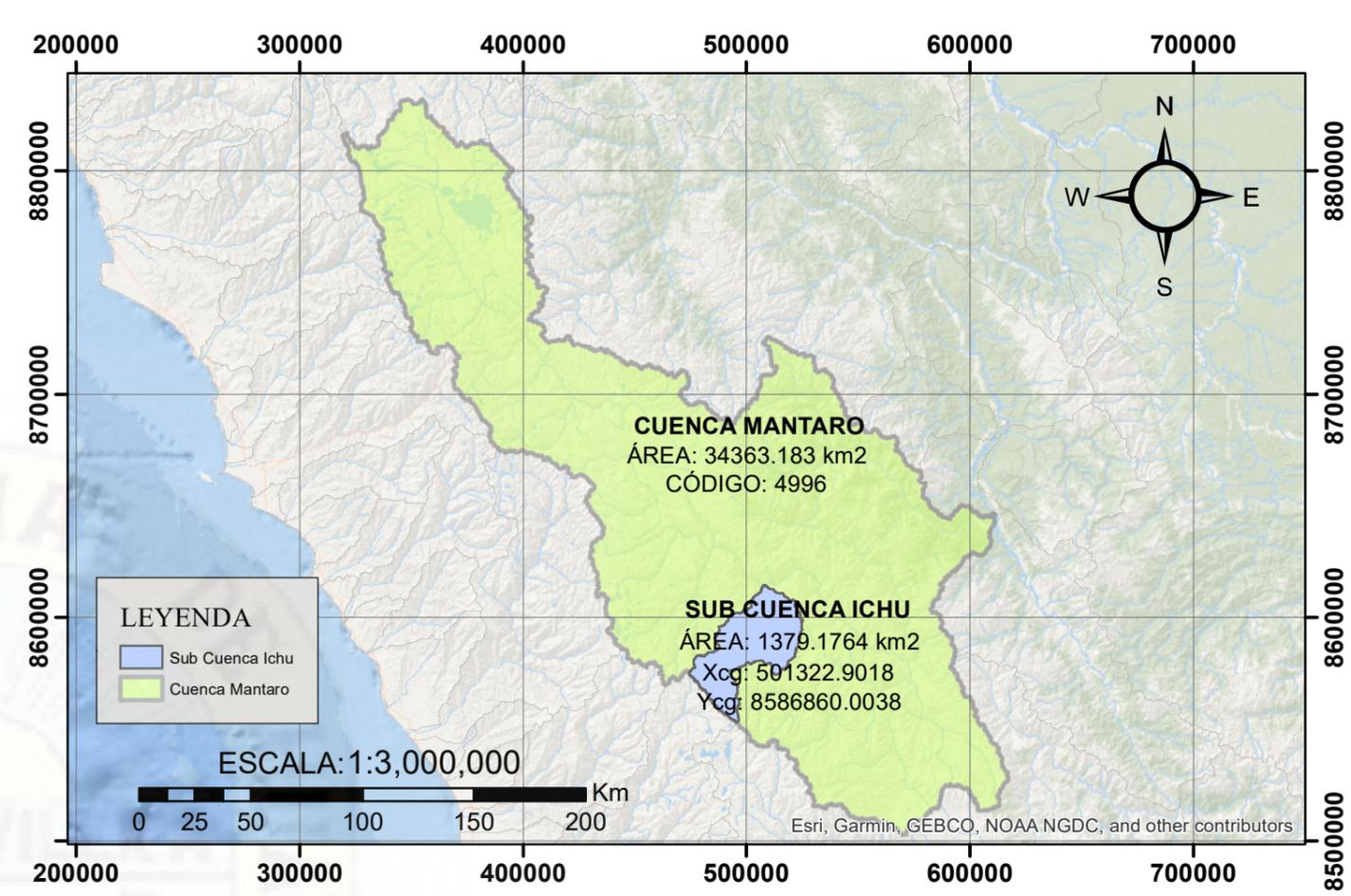
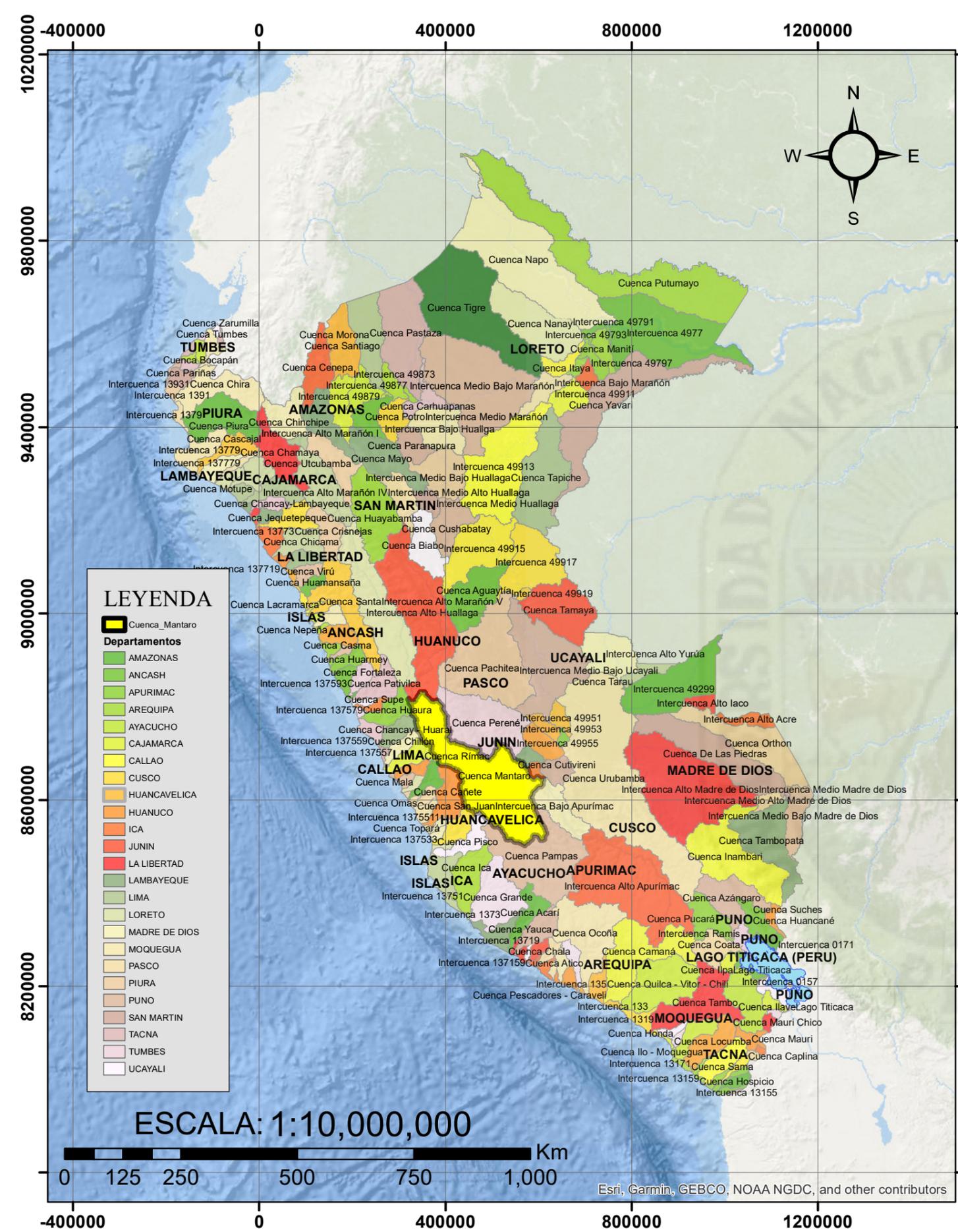
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

LÁMINA:

P - 01

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA
 HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL
 RÍO ICHU - HUANCAVELICA"

PLANO:

"PLANO DE UBICACIÓN
 HIDROGRÁFICA"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

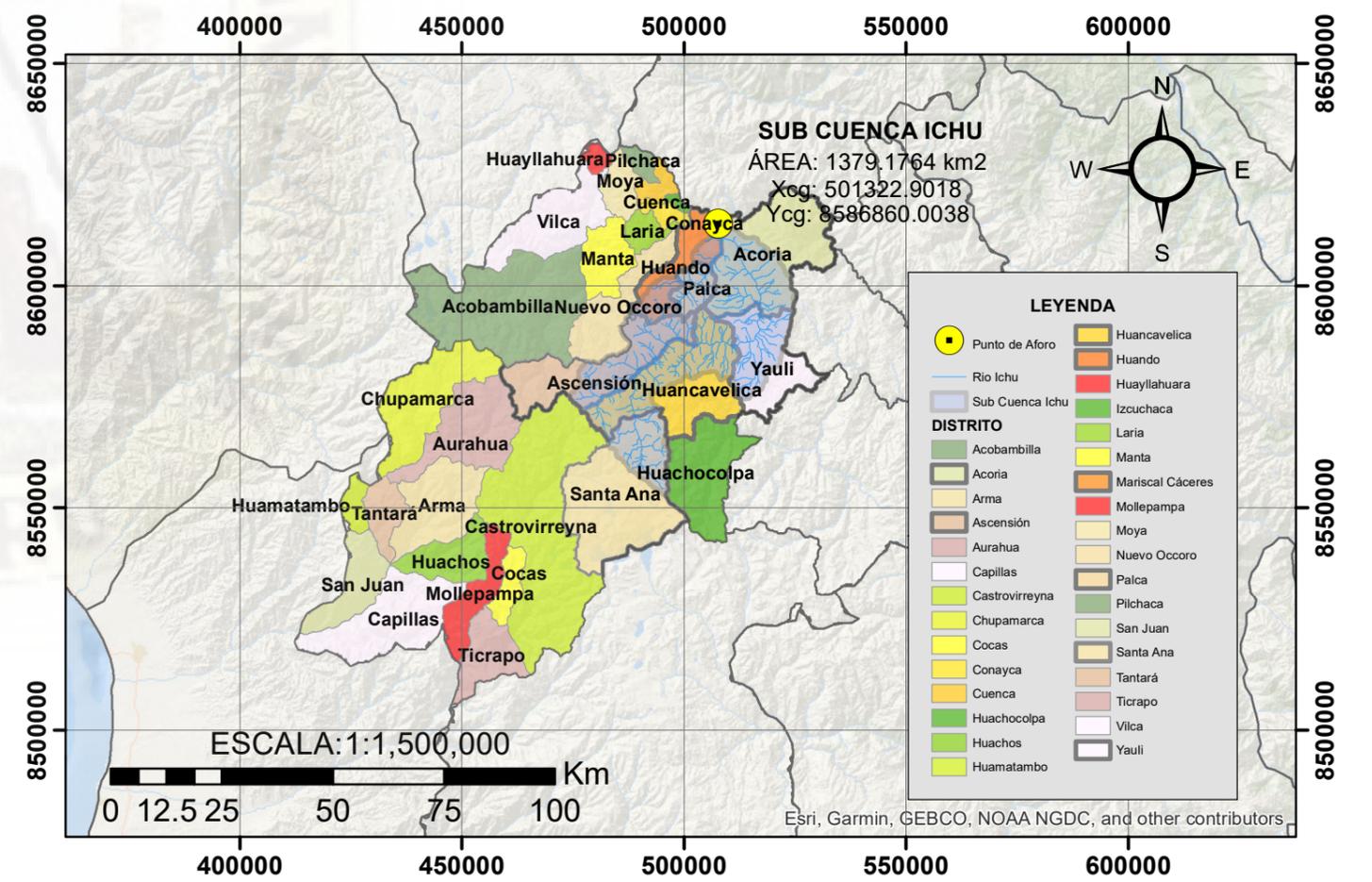
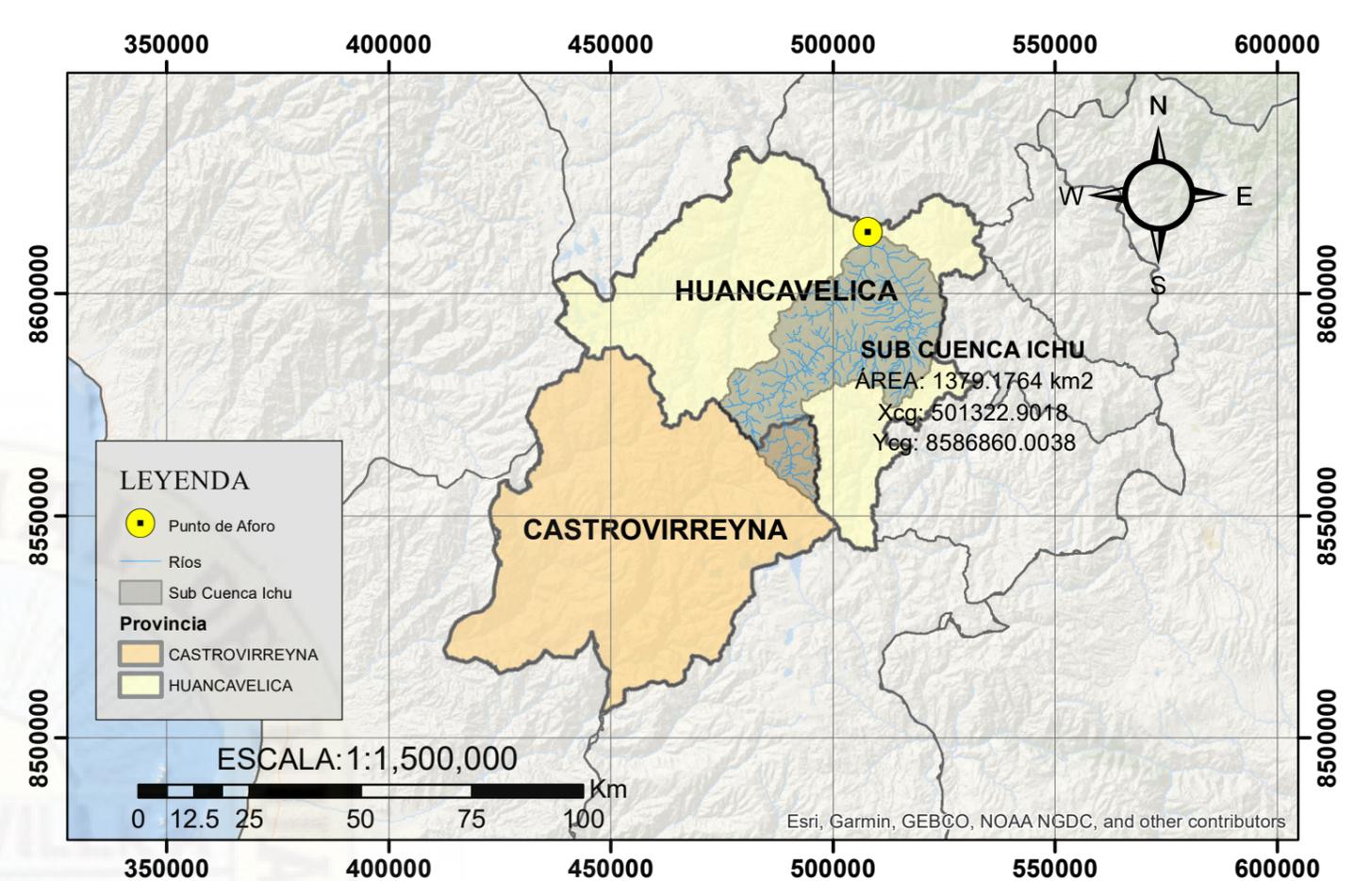
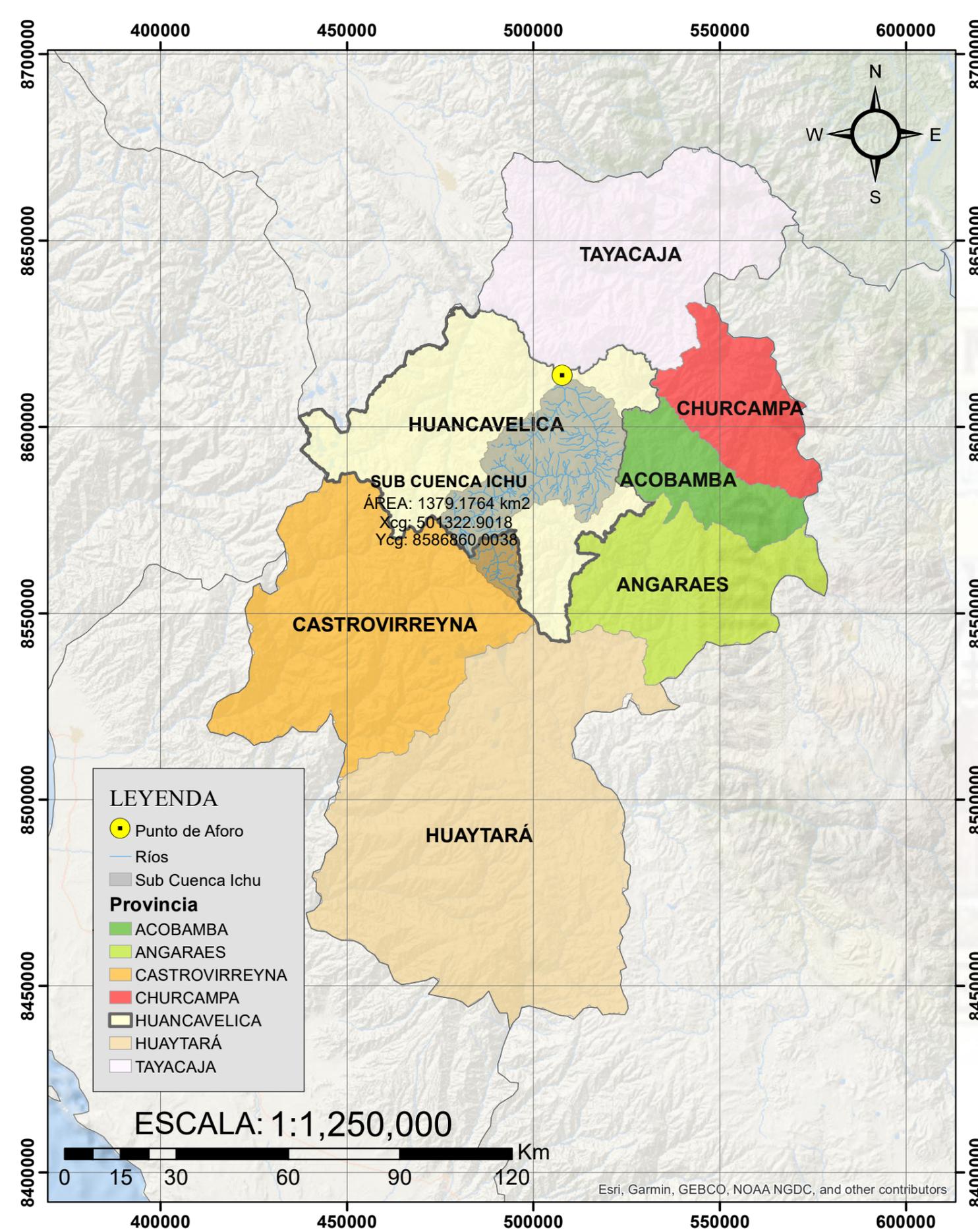
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

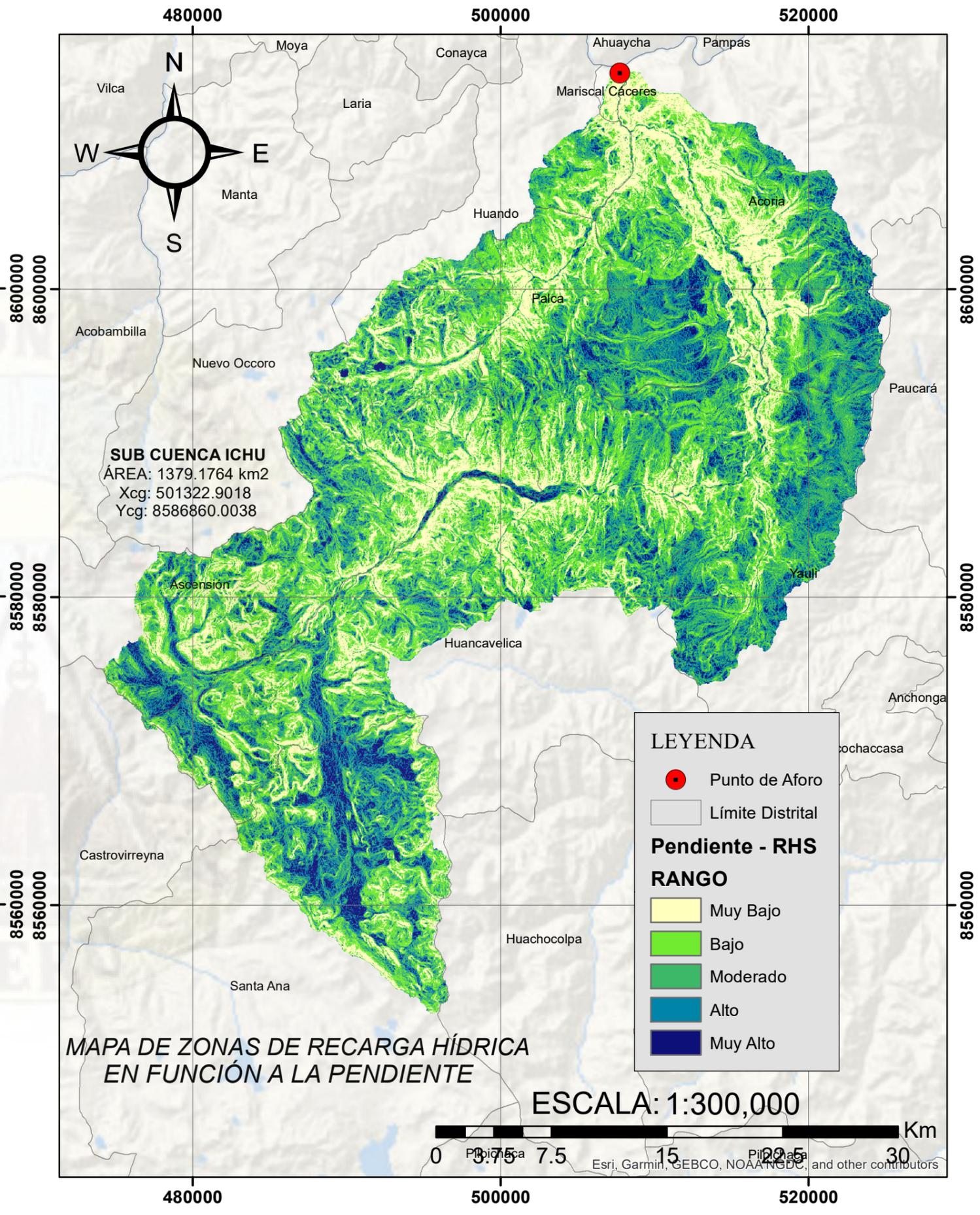
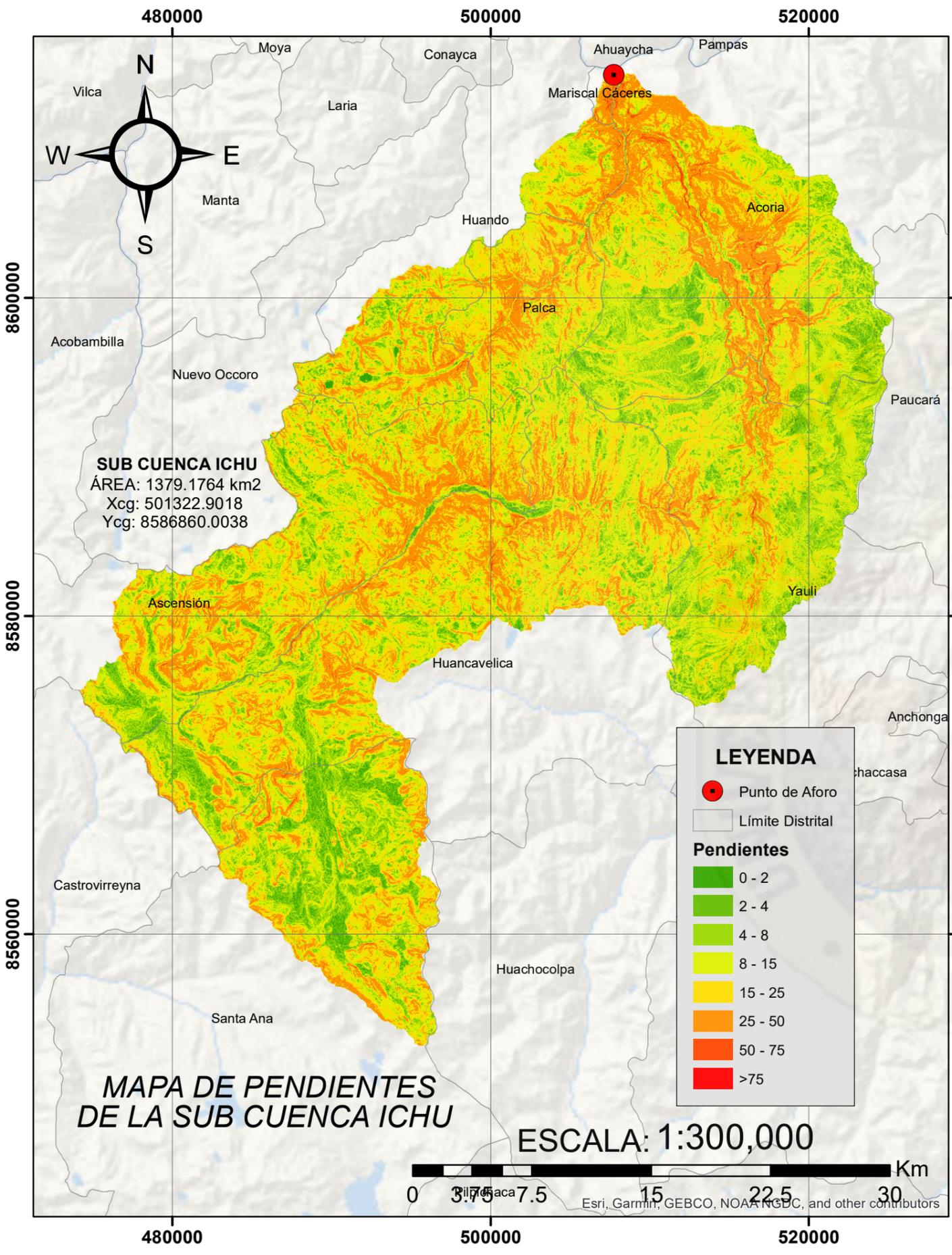
LÁMINA:

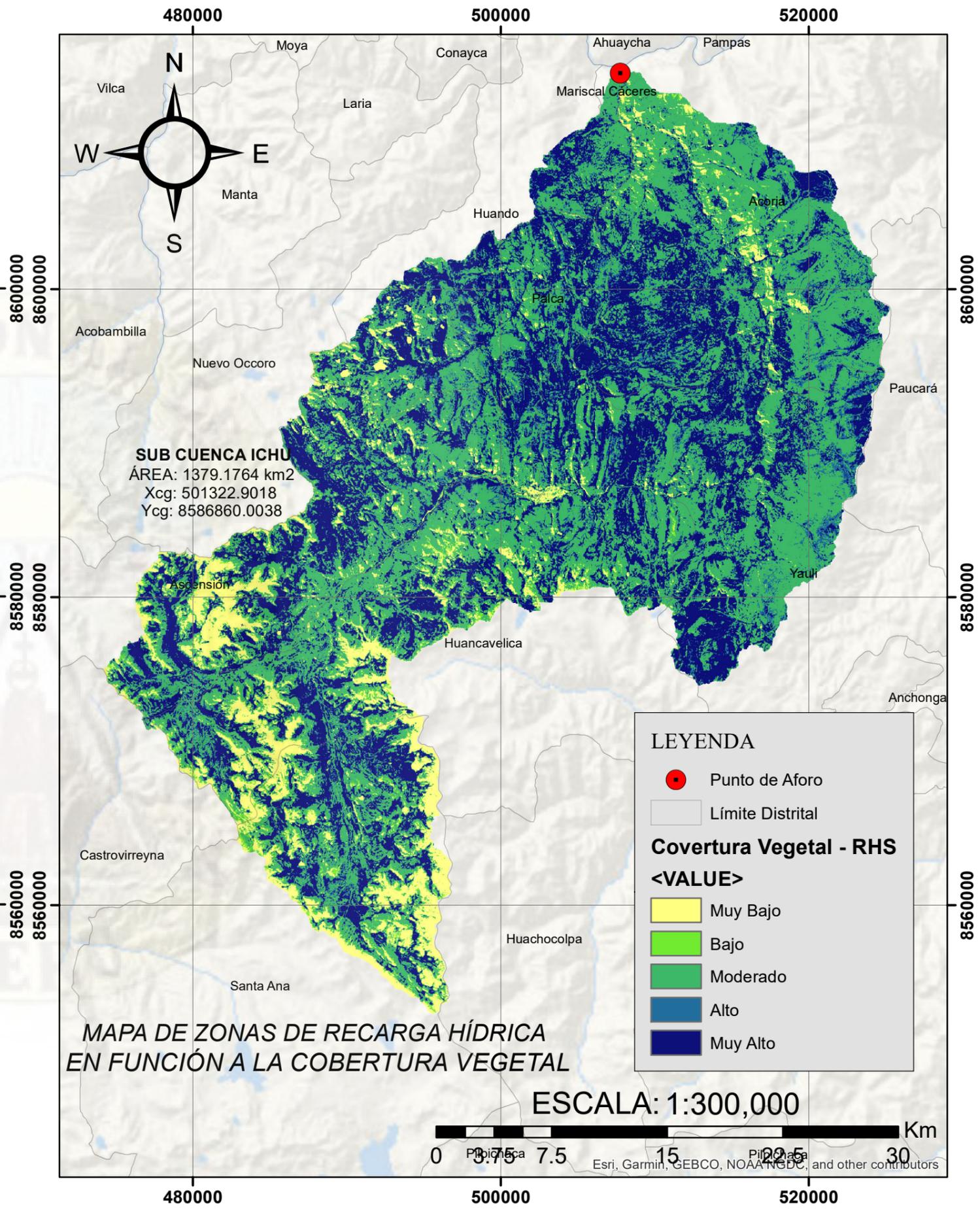
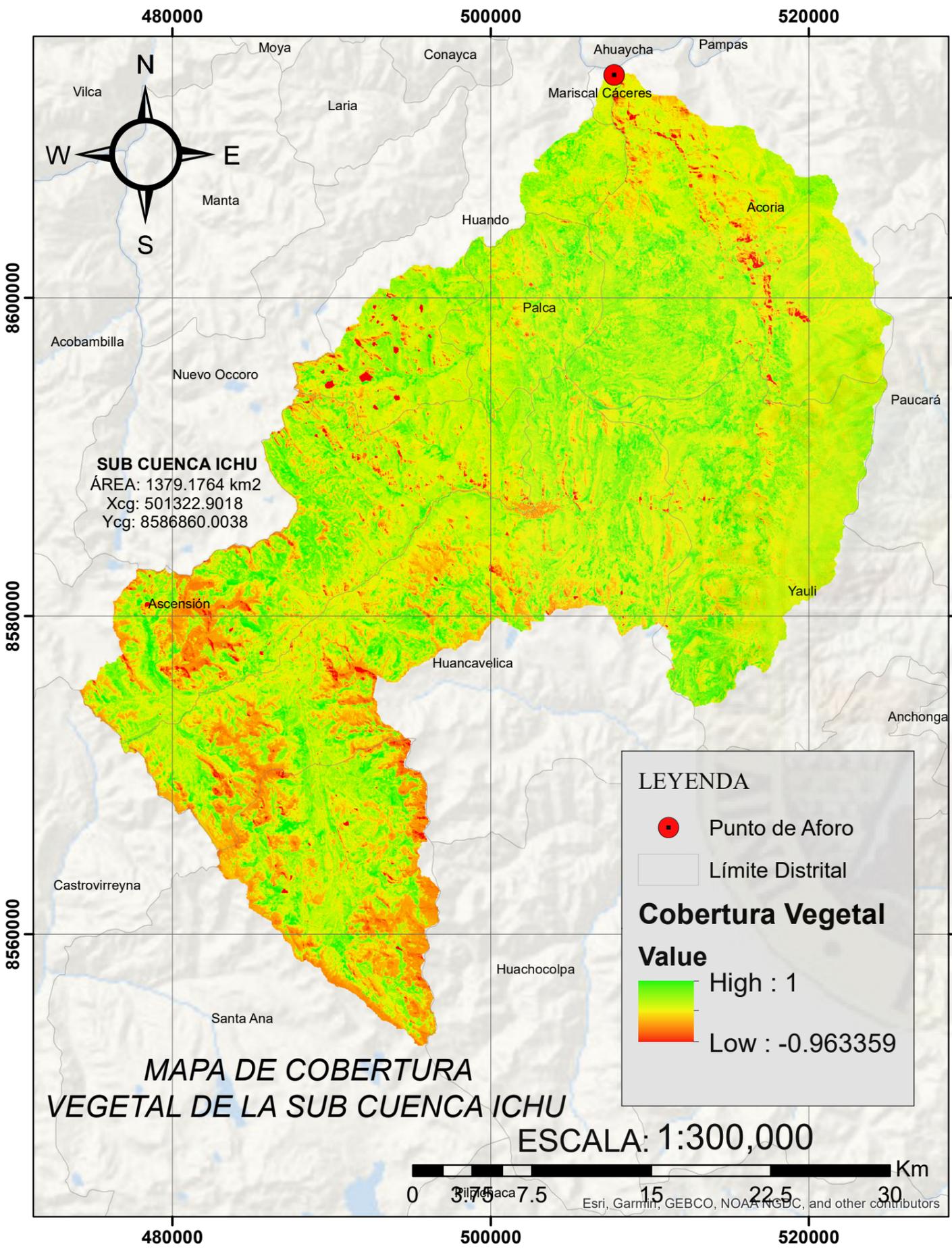
P - 02

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84







UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCAMELICA"

PLANO:

"MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN A LA COBERTURA VEGETAL"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

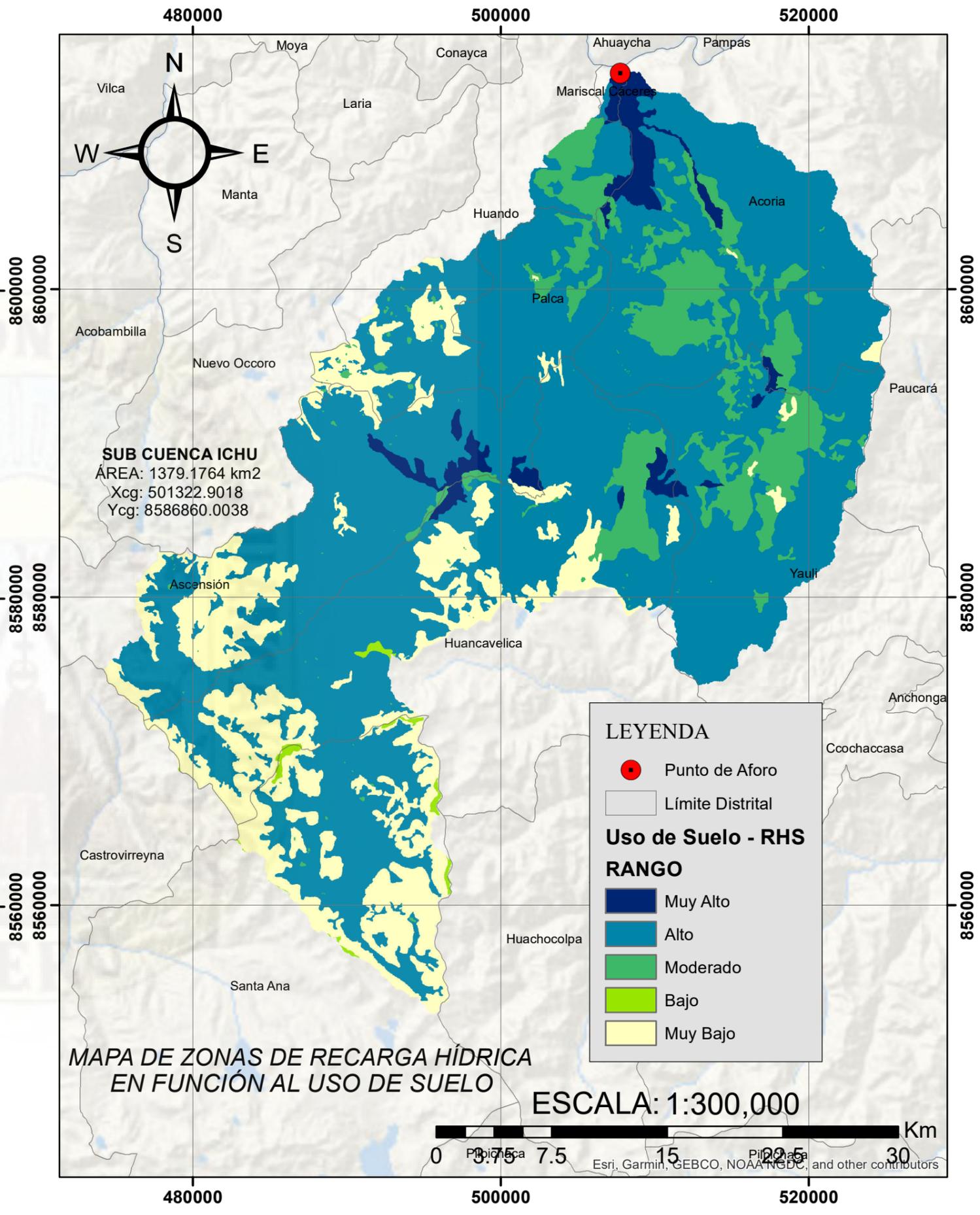
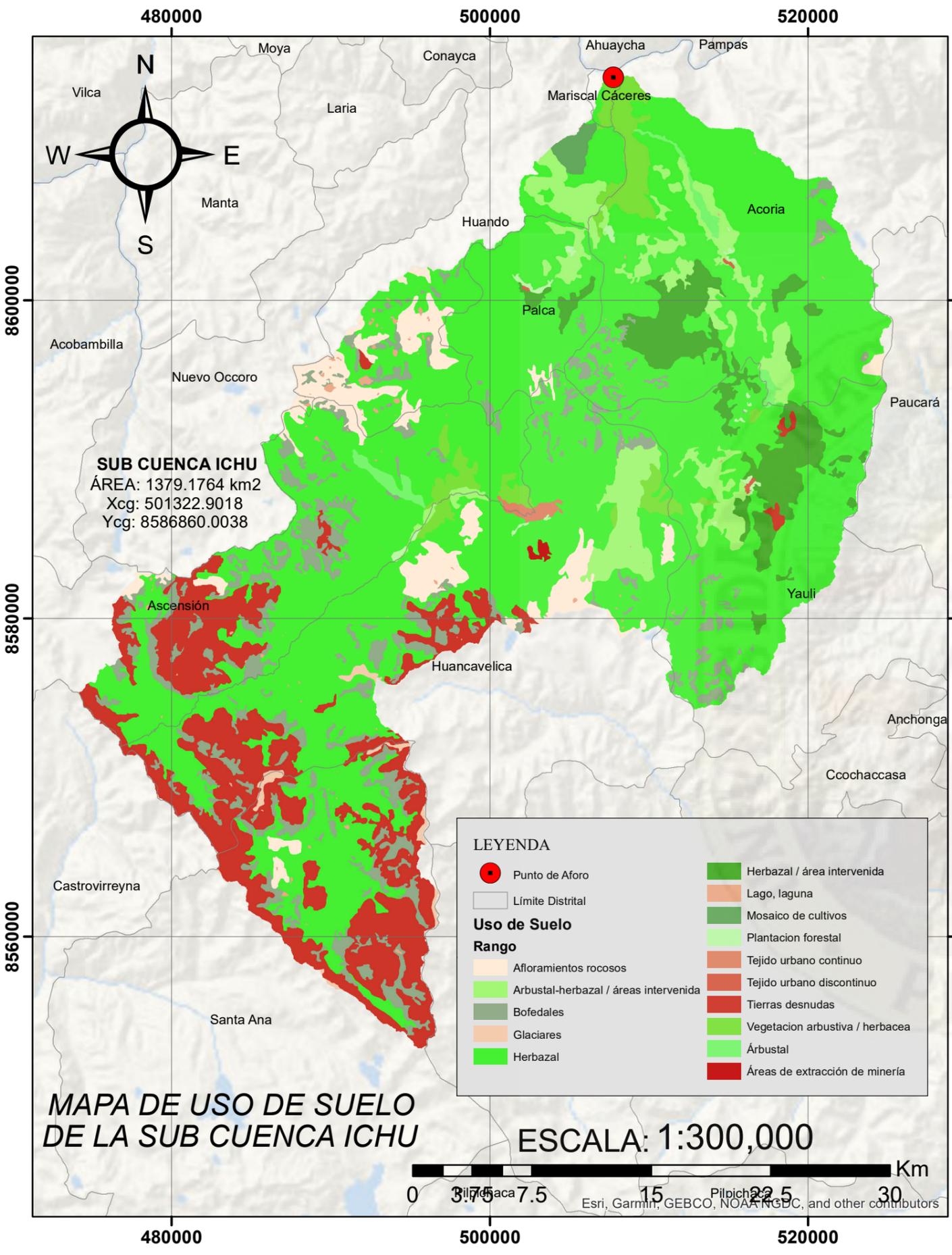
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

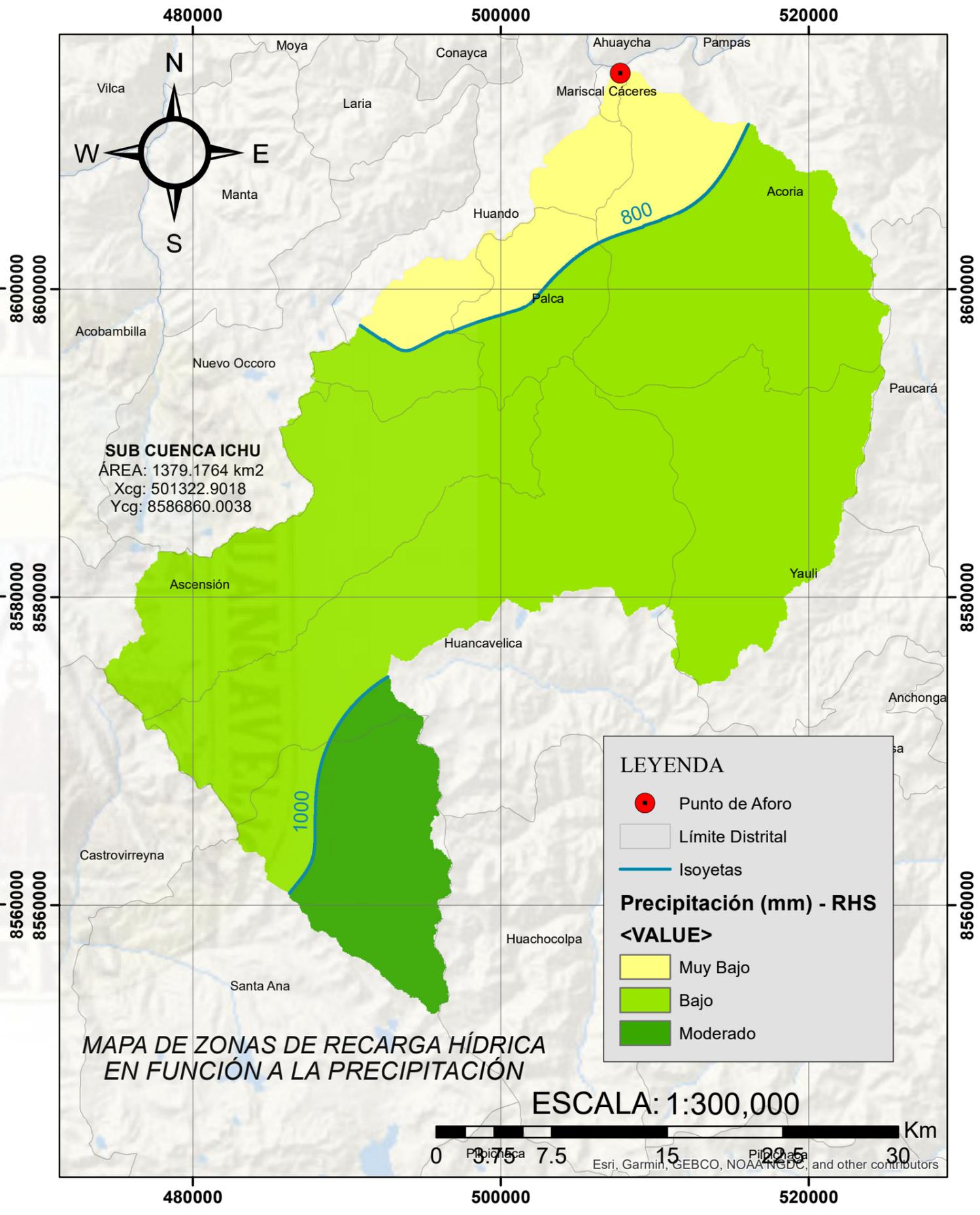
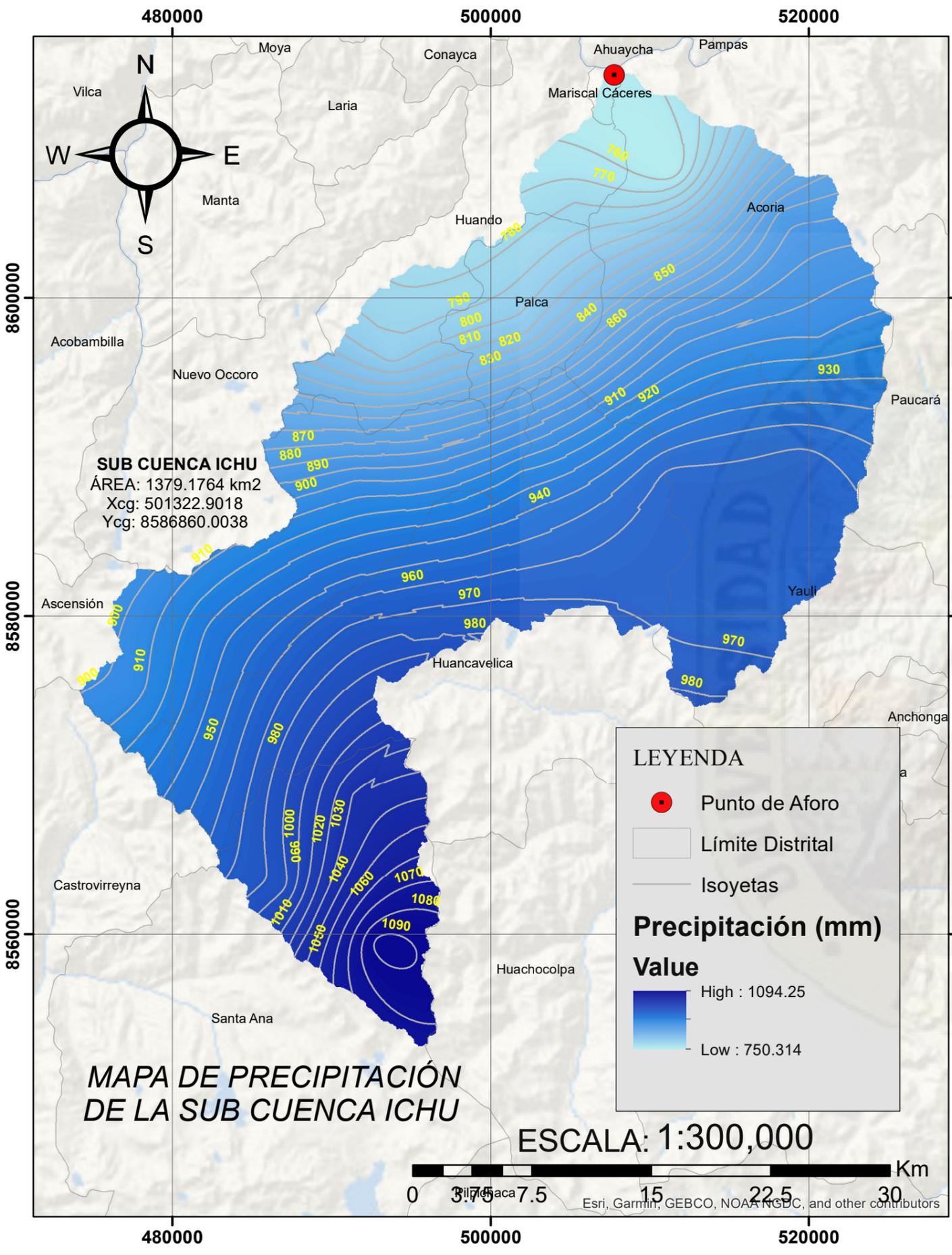
LÁMINA:

P - 05

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCAMELICA"

PLANO:

"MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN A LA PRECIPITACIÓN"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

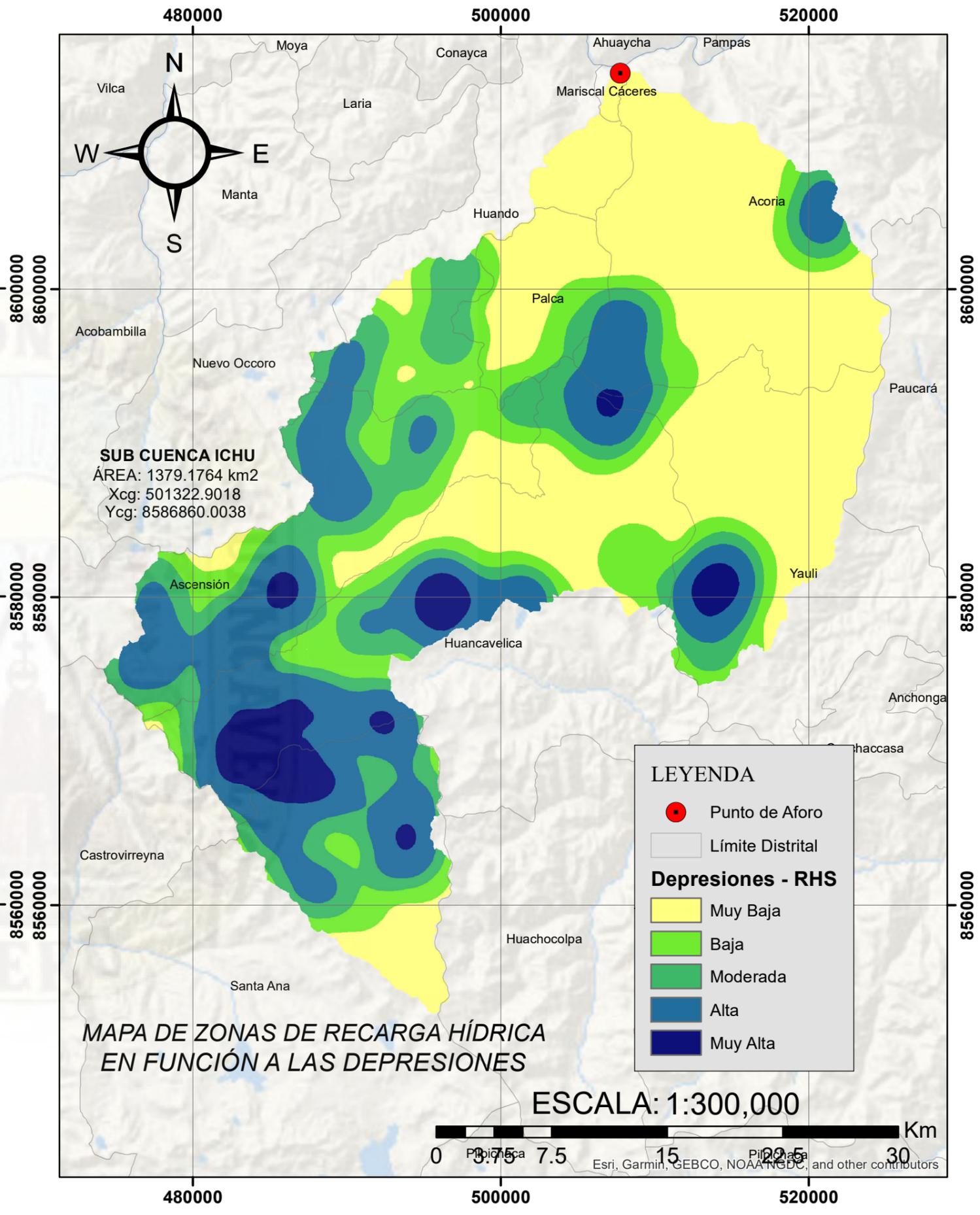
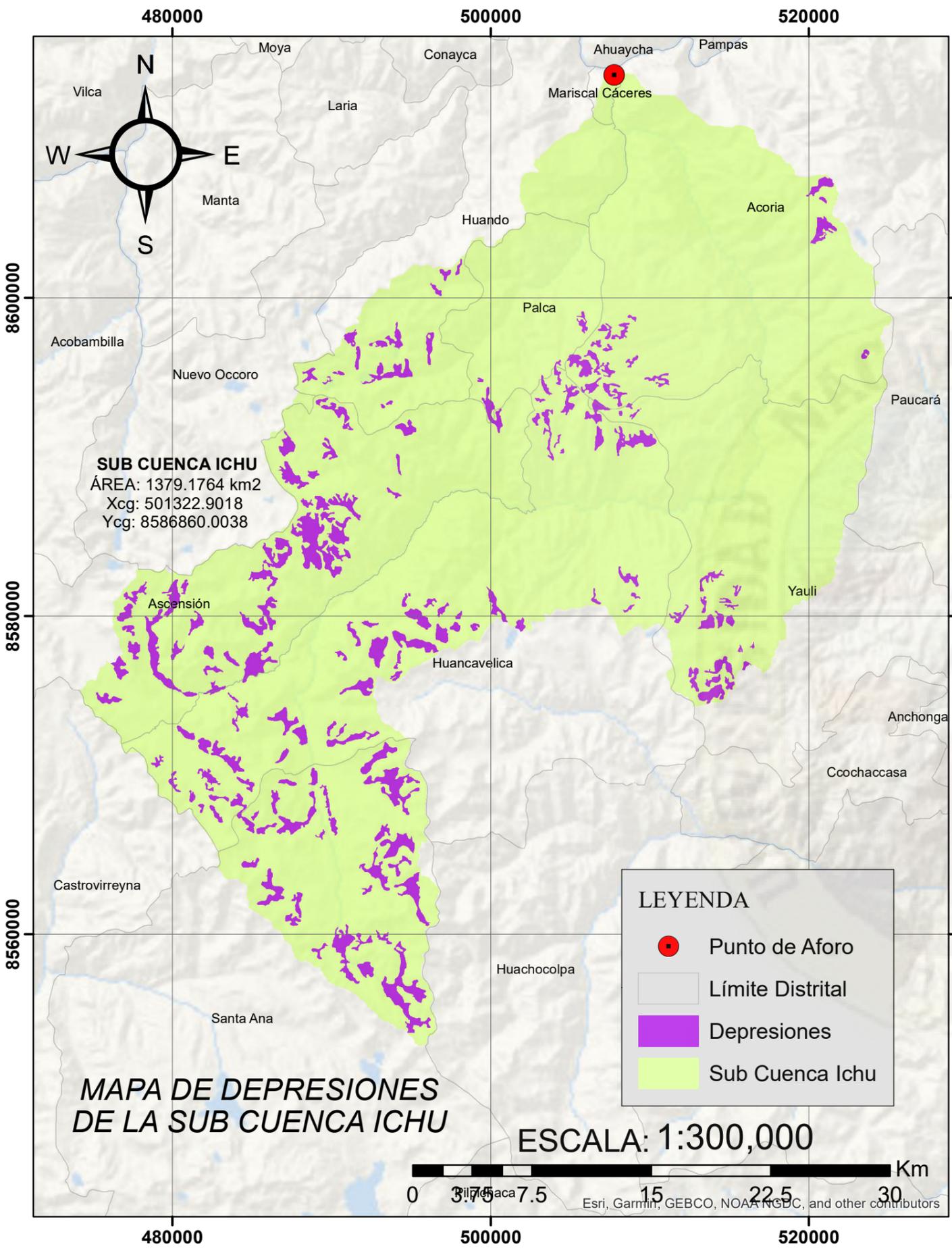
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

LÁMINA:

P - 07

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCAMELICA"

PLANO:

"MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN A LAS DEPRESIONES"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

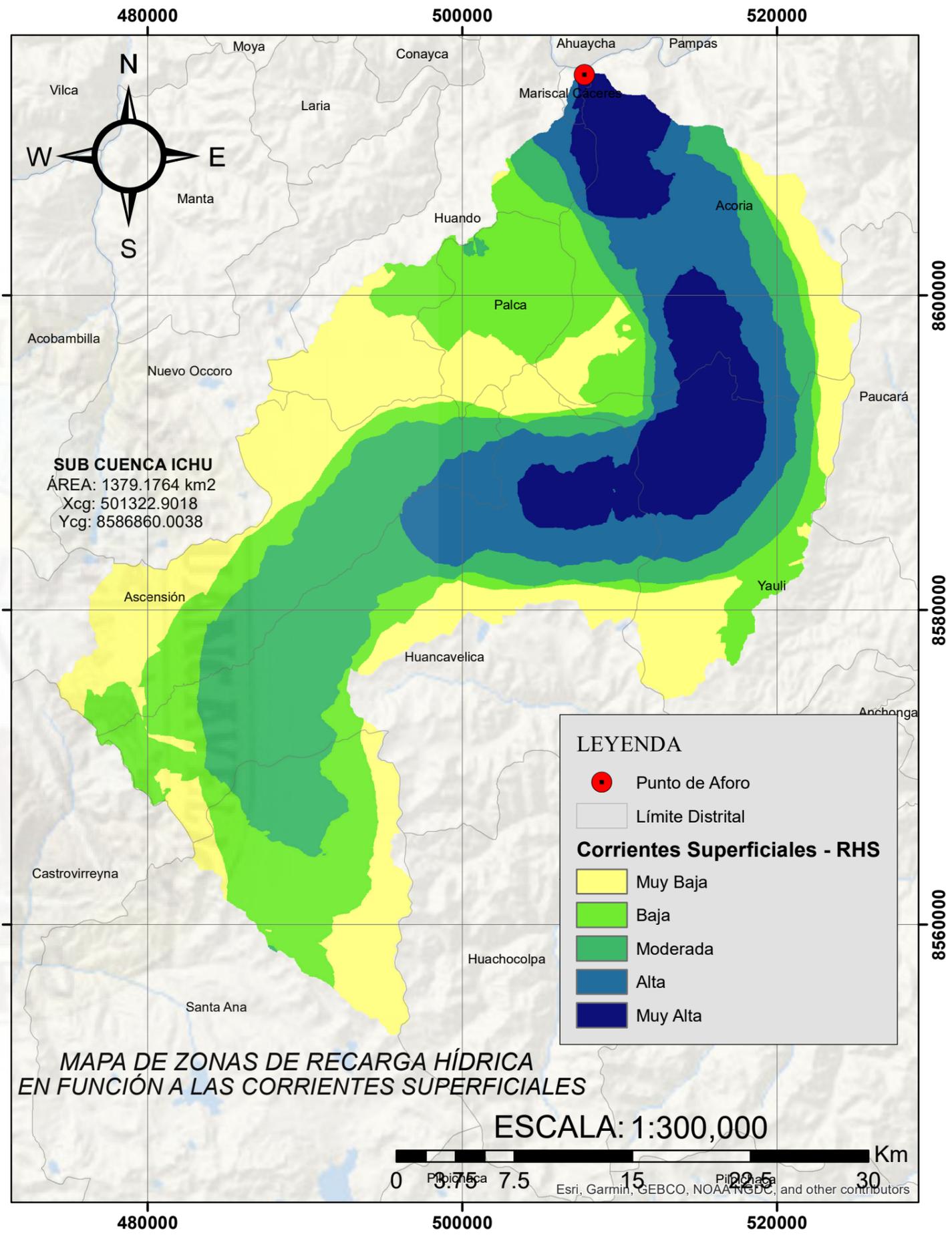
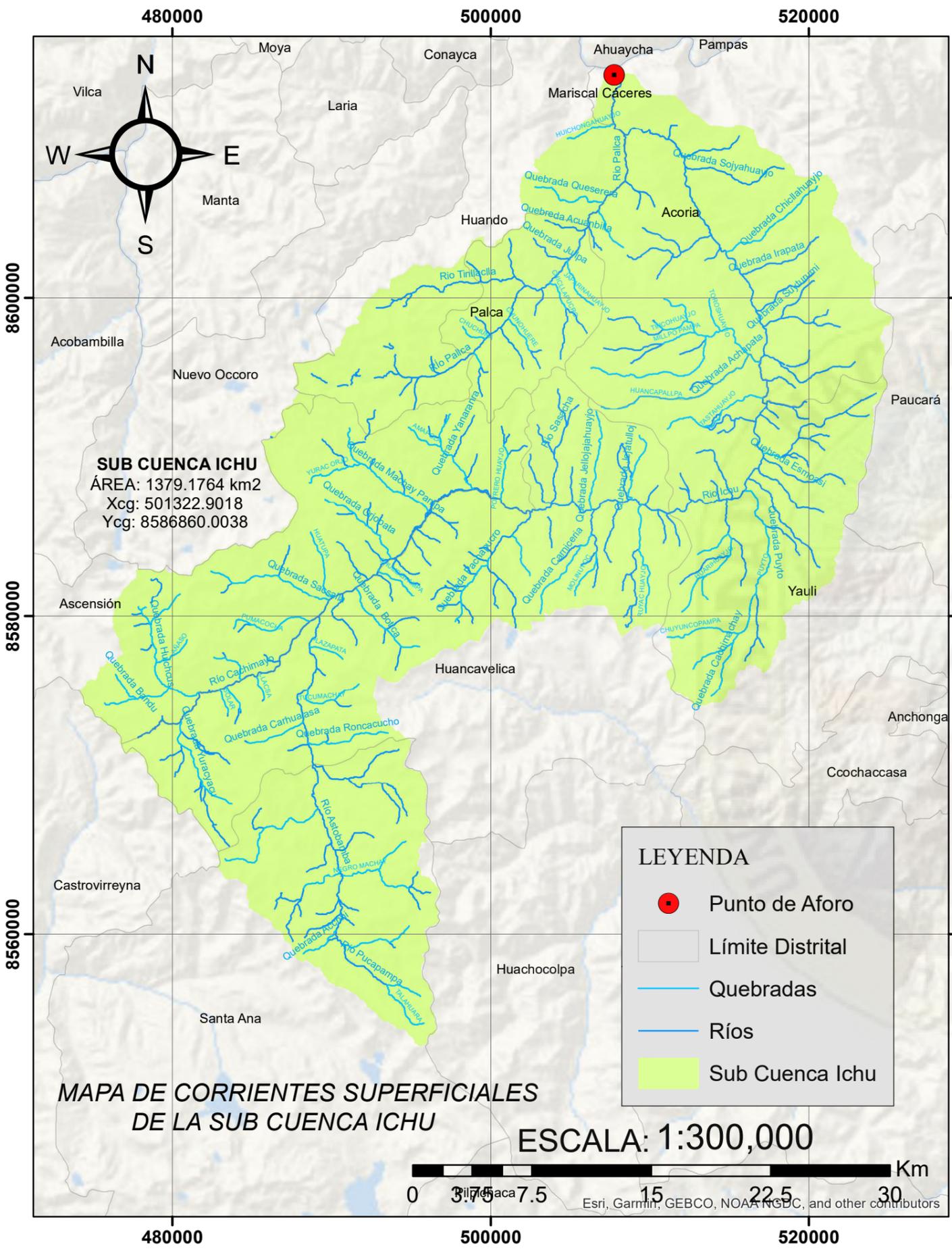
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

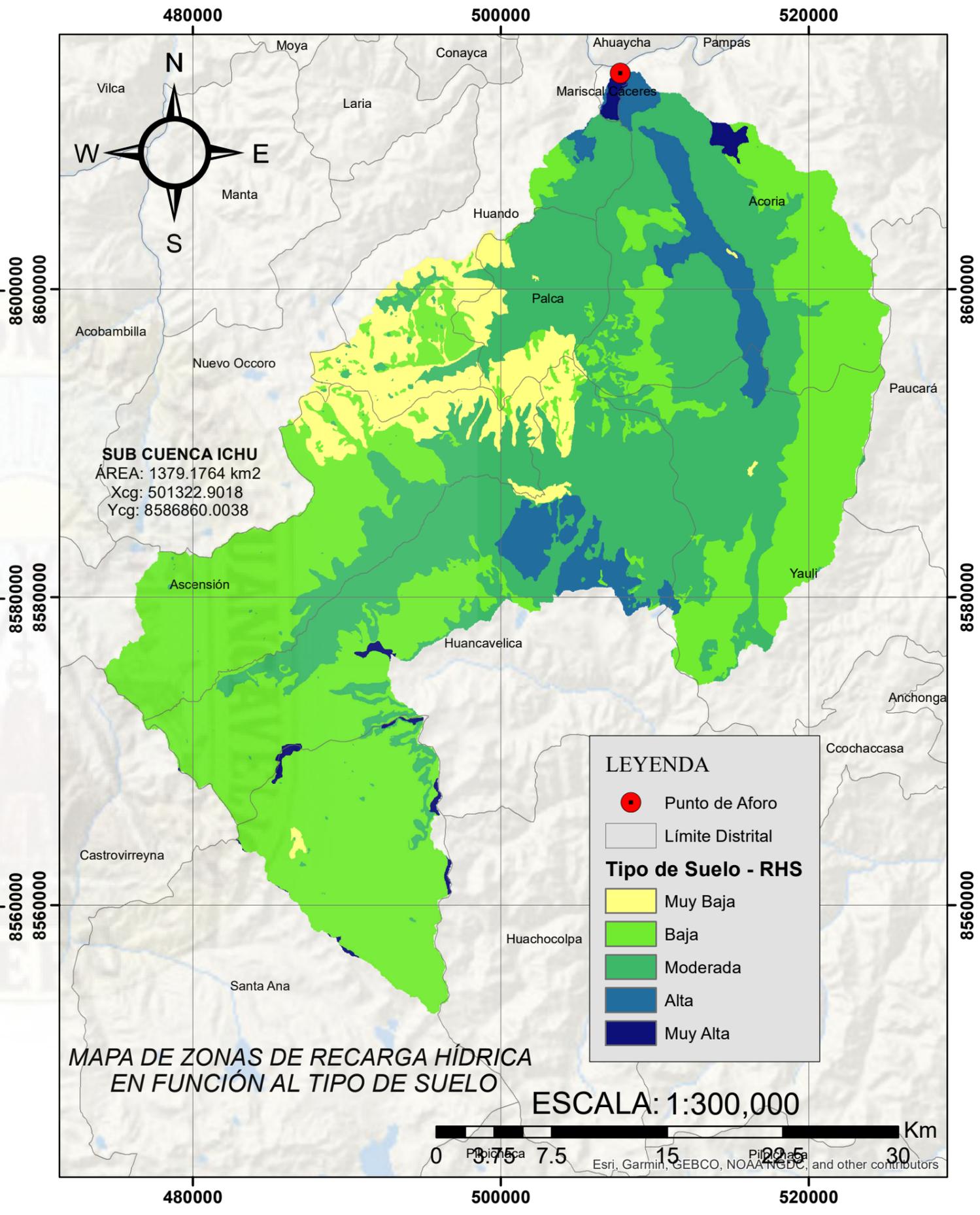
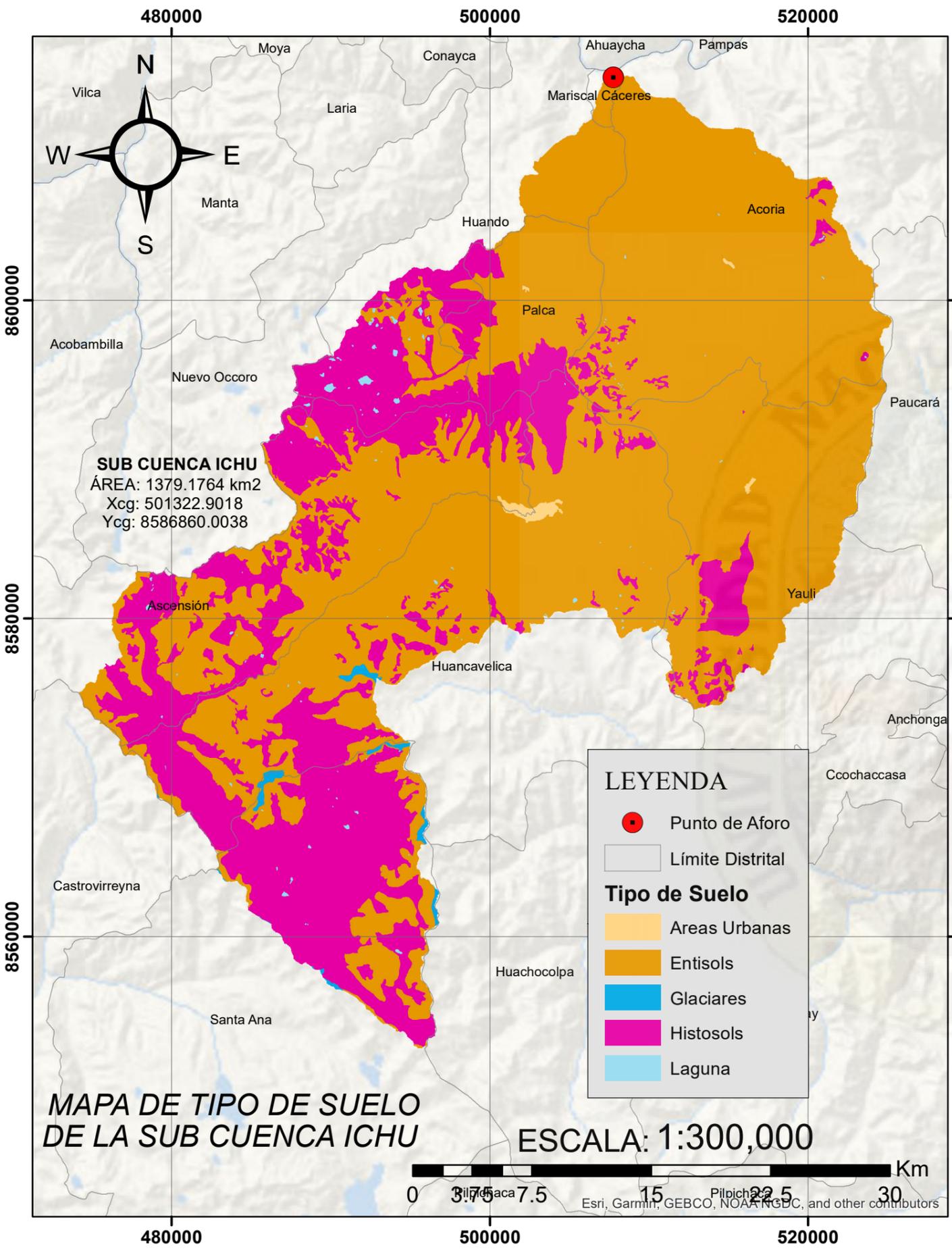
LÁMINA:

P - 08

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
E.P. INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO:

"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA SUPERFICIAL EN LA SUB CUENCA DEL RÍO ICHU - HUANCAMELICA"

PLANO:

"MAPA DE POTENCIAL DE RECARGA HÍDRICA EN FUNCIÓN AL TIPO DE SUELO"

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

FEBRERO - 2020

TESISTAS:

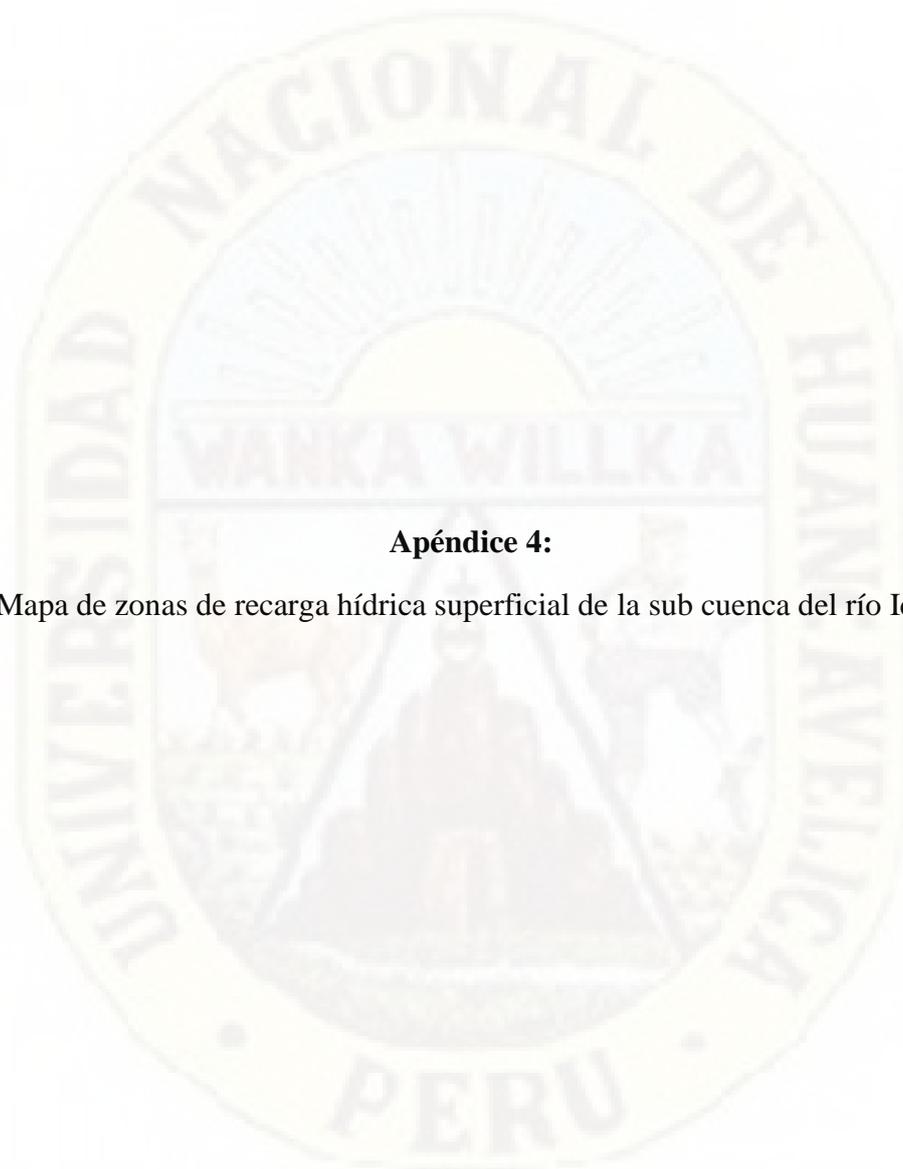
* Bach. PAYTAN CAVALCANTI, Valeria
 * Bach. VENTURA CEPIDA, Jaqueline Blanca

LÁMINA:

P - 10

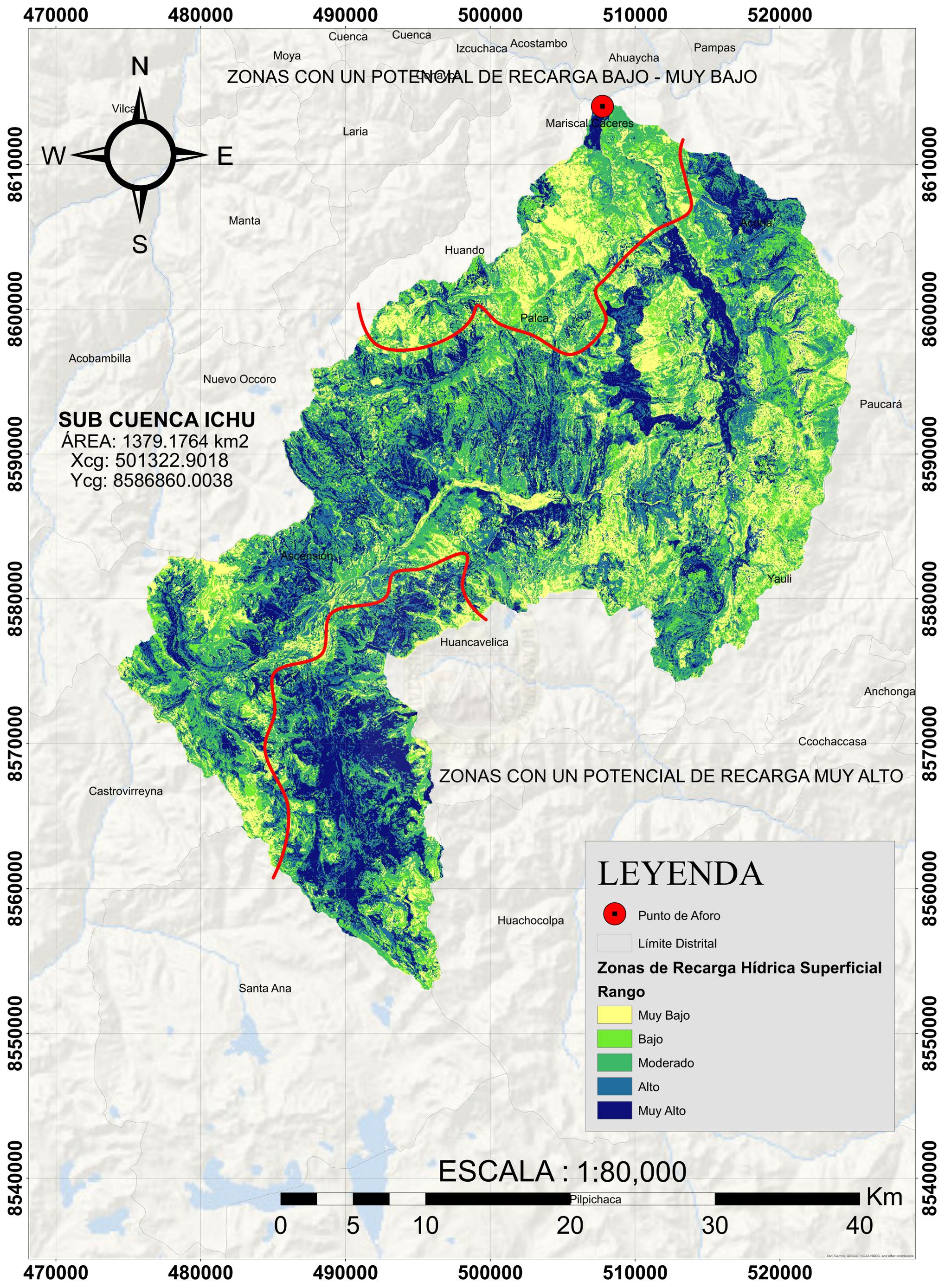
SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCIÓN: UTM
 ZONA: 18S
 COORDENADAS: WGS - 84



Apéndice 4:

Mapa de zonas de recarga hídrica superficial de la sub cuenca del río Ichu



SUB CUENCA ICHU
 ÁREA: 1379.1764 km²
 Xcg: 501322.9018
 Ycg: 8586860.0038

ZONAS CON UN POTENCIAL DE RECARGA BAJO - MUY BAJO

ZONAS CON UN POTENCIAL DE RECARGA MUY ALTO

LEYENDA

- Punto de Aforo
- ▭ Límite Distrital

Zonas de Recarga Hídrica Superficial

Rango

- Muy Bajo
- Bajo
- Moderado
- Alto
- Muy Alto

ESCALA : 1:80,000

