

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

HIDRÁULICA



TESIS

**“IDENTIFICACIÓN DE AREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA
PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN,
CAJAMARCA 2024”**

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

Bach. DANY JOSELITO ATALAYA HUAMÁN

ASESOR:

Dr. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

CAJAMARCA-PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **DANY JOSELITO ATALAYA HUAMÁN**
DNI: **47193424**
Escuela Profesional: **INGENIERÍA HIDRÁULICA**
2. Asesor: **Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.**
Facultad: **INGENIERÍA.**
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de Investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: **IDENTIFICACIÓN DE AREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA PARTA ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2024**
6. Fecha de evaluación: **21 de Agosto de 2025**
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (OURIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **15 %**
9. Código Documento: **old:3117:485583976.**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 21 de Agosto de 2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

DNI: 26609077



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20140258001 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 21/08/2025 22:54:44-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TÍTULO : IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2024

ASESOR : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0529-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 25 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diez días del mes de setiembre de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

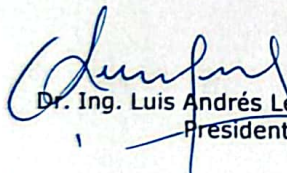
Presidente : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Secretario : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.

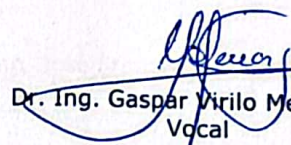
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2024**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica **DANY JOSELITO ATALAYA HUAMÁN**, asesorado por el Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, para la obtención del Título Profesional

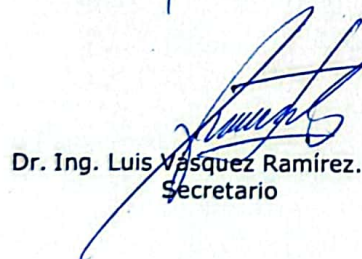
Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 07 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS. DIECIOCHO (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de DIECIOCHO (18) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 12:00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Presidente


Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Vocal


Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario


Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Asesor

DEDICATORIA

A mis papás: Pepe Alejandro Atalaya Pérez y María Huamán Vásquez.

Gracias por ser mi raíz y mi refugio.

Por cada consejo, por cada desvelo, por cada “tú puedes” cuando más lo necesitaba.

Este logro también es suyo, porque sin su esfuerzo, su paciencia y su amor constante, yo no estaría aquí.

Su dedicación y compromiso con mi educación son un regalo que valoro más allá de las palabras por lo cual estoy agradecido profundamente.

Esta tesis es para ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de todo este camino. Seguidamente, agradezco a mis queridos padres y a mis hermanos Ronald, Damner, Sherley y Lesly; no existen palabras suficientes para expresar la gratitud que siento por ustedes. Su amor incondicional y apoyo constante durante mi carrera universitaria han sido la base sobre la cual he construido mis sueños y metas.

Gracias por enseñarme valores fundamentales como la perseverancia, la humildad y el esfuerzo, y por acompañarme siempre, incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es suyo, familia. Ustedes han sido mi fuente de inspiración y mi mayor motivación. Gracias por creer en mí, por darme fuerzas para seguir adelante y por ser mi refugio cuando el camino se tornaba complicado. Su confianza y respaldo han sido esenciales en cada paso de este proceso.

También quiero agradecer a dos personas que me guiaron para ser esta investigación mi asesor de tesis el Dr. Francisco Huamán Vidaurre y en especial al Dr. Jairo Isaí Villanueva Álvarez por su invaluable apoyo, guía y dedicación a lo largo de todo el proceso de investigación su experiencia, conocimientos y sabiduría han sido esenciales para el desarrollo y la culminación de este trabajo. Gracias por brindarme siempre su tiempo, por sus consejos certeros y por fomentar en mí un espíritu de rigor académico y de búsqueda constante de la excelencia.

“Miles de personas han sobrevivido sin amor, ninguna sin agua”.

W. H Auden.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
EPÍGRAFE.....	iv
TABLA DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.1 Formulación del problema.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1 Justificación científica.	5
1.3.2 Justificación teórico - práctica.....	6
1.3.3 Justificación Institucional.....	7
1.3.4. Justificación Personal.	7
1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.3LIMITACIONES.	8
1.4.1 Objetivo general.	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.1.1 Nivel internacional.	11
2.1.2. Nivel nacional.....	14
2.1.3 Nivel local.	15
2.3. BASES TEÓRICAS	16

2.3.1 Cuenca hidrográfica	16
2.2.2. Partes de una cuenca hidrográfica	18
2.3.2 Microcuenca.	19
2.3.3 Infiltración.	19
2.3.4 Cabecera de cuenca.	20
2.3.5.Zona de recarga hídrica.	21
2.3.6. Clasificación de zona de recarga hídrica.	23
2.3.7 Factores que determinan la zona de recarga hídrica.	24
a) Pendiente	24
b) Cobertura vegetal	25
c) Uso de suelo	28
d) Tipo de suelo	29
e) Tipo de roca.....	31
f) Determinación del potencial de recarga hídrica	32
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	34
Estación meteorológica:	34
Fuente de agua.....	34
HydrAccess:	34
Infiltración Básica:	35
Ladera:.....	35
Manantial:.....	35
Potencial Hídrico:.....	35
Pluviógrafo:	35
Precipitación areal	35
Quebrada	36
Río	36
2.4.14 Sistemas de Información Geográfica (SIG):	36

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	37
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA PORCÓN	37
3.2.1. Geología	38
3.2.2 Tipo de Suelo	40
3.2.3 Uso de Suelo.....	43
3.2.4 Clima	45
3.2.5 Cobertura vegetal.	47
3.2.5.2 Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad (NDWI).	48
3.2.6 Red de drenaje Hídrico.....	48
3.2.7 Pendiente.	49
3.3. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.3.1 Equipo de Campo	50
3.3.2 Equipo de Gabinete	51
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.4.1. PROCEDIMIENTO.	51
Geología	55
Uso y Tipo de Suelo	55
Pendiente.	56
Cobertura vegetal	57
Precipitación areal de las cabeceras de cuenca.....	58
Infiltración.....	59
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.	63
4.2 IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.	65

4.3 IDENTIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.....	67
4.4 DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE LADERAS DE LAS ZONAS ALTAS DE LA MICROCUENCA PORCÓN.	71
4.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADA (NDVI)	74
4.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DIFERENCIA NORMALIZADA DE HUMEDAD (NDWI)	75
4.7 DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN AREAL DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.	76
4.8. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS ZONAS REPRESENTATIVAS DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.....	77
4.9 VALIDACIÓN LAS ZONAS DE RECARGA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.....	79
4.10 PROPUESTAS DE MEJORA PARA MANTENER LA RECARGA HÍDRICA EN PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO PORCÓN.	80
CAPÍTULO V.	82
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1CONCLUSIONES	82
VI.2 RECOMENDACIONES.....	85
CAPITULO VI.....	86
6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
A. BIBLIOGRAFÍA.....	86
B. TESIS.....	88
C. LINKOLOGÍA	89
EVIDENCIAS DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN DE LAS CUATRO (4) ZONAS REPRESENTATIVAS DE RECARGA HÍDRICA.....	107
PERMISOS SOLICITADOS A algunas AUTORIDADES DEL ÁREA DE INFLUENCIA PARA PODER REALIZAR LA INVESTIGACIÓN.....	120

SOLICITUDES DE INFORMACIÓN	126
ENVIADOS A SENHAMI	126
ESTACIONES METEREOLÓGICAS	131
CORREGIDAS Y COMPLETADAS	131
PRECIPITACIÓN AREAL CON EL SOFTWARE HYDRACCCES	137
ANEXOS -MAPAS	142
MAPA 01 UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA	
MAPA 02 RANGO DE ELEVACIONES	
MAPA 03 - RED DE DRENAJE	
MAPA 04 - PENDIENTES	
MAPA 05 - ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADA NDWI	
MAPA 06 - MAPA GEOLÓGICO	
MAPA 07 - ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA	
MAPA 08 - UBICACIÓN DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS	
MAPA 09 - NDVI TUAL	
MAPA 11 - NDVI UÑIGAN	
MAPA 12 NDVI PORCÓN ALTO	
MAPA 13 NDVI CHILIMPAMPA	
MAPA 14 DIRECCIÓN DE FLUJO	
MAPA 15 USO DE SUELOS	
MAPA 16 TIPO DE SUELOS	
MAPA 17 INDICE DE LA DIFERENCIA NORMALIZADA DE HUMEDAD NDWI	
MAPA 18 HIDROGEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA PORCÓN	
MAPA 19. CORTES ESTRATIGRÁFICOS	
MAPA 20 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Esquema de una cuenca Hidrográfica.....	17
Figura 2 Partes de una cuenca Hidrográfica	19
Figura 3 Distribución espacial de nubosidad en la parte alta de la microcuenca Porcón.	46
Figura 4 Cobertura Vegetal de la microcuenca Porcón.	47
Figura 5 Perfil Hidrogeológico A – A`	69
Figura 6 Clasificación hidrogeológica de las unidades litológicas.	69
Figura 7 Microcuenca Hidrográfica	104
Figura 8 Microcuenca Porcón NDVI.	104
Figura 9 Código Python.	105
Figura 10 Zonas con similares caracterisitcas en la microcuenca.....	105
Figura 11 Microcuenca Porcón con zonas similares a las representativas.....	106
Figura 12 Gráfica del comportamiento de la Infiltración C.P Tual.	110
Figura 13 Gráfica del comportamiento de la Infiltración Chilimpampa alto.....	113
Figura 14 Gráfica del comportamiento de la Infiltración Porcón alto.	116
Figura 15 Gráfica del comportamiento de la Infiltración Uñigán.....	119
Figura 16 Permiso otorgado por el presidente de la Jass Tual.	121
Figura 17 Permiso otorgado del alcalde del C.P de Tual.	122
Figura 18 Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Chilimpampa Alto.	123
Figura 19 Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Huambocancha Alta.	124
Figura 20 Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Huambocancha Baja.....	125
Figura 21 a) Documento emitido por la dirección de escuela para la información meteorológica.	127
Figura 22 b) Formatos de Senamhi	128

Figura 23 c) Declaración jurada de los datos utilizados únicamente de uso exclusivo para la tesis.....	129
Figura 24 Correo enviado a Senamhi para información meteorológica.	130
Figura 25 Correo contestado por parte de Senamhi	130
Figura 26 Interfaz del Software Hydraccess.	138
Figura 27 Microcuenca Porcón archivo Shapefile.	138
Figura 28 Estaciones meteorológicas colocadas en archivo xls al software Hydraccess. ...	139
Figura 29 Estaciones meteorológicas con sus respectivas coordenadas ubicados en el Software Hydraccess.	139
Figura 30 Precipitación enero 2014 con en el Software Hydraccess	140
Figura 31 Precipitación enero 2024 con en el Software Hydraccess	141

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Ponderación recarga hídrica según el tipo de pendiente y microrrelieve.....	25
Tabla 2 Interpretación de valores NDVI	26
Tabla 3 Interpretación de valores NDWI	27
Tabla 4 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal.	28
Tabla 5 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo.....	29
Tabla 6 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de suelos	31
Tabla 7 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca.....	32
Tabla 8 Potencial de recarga hídrica.	34
Tabla 9	37
Tabla 10 Códigos de unidades geológicas de la microcuenca Porcón	38
Tabla 11 Diferentes usos del suelo según la altitud en la microcuenca.	44
Tabla 12 Parámetros de la microcuenca Porcón	64
Tabla 13 Pendientes de las 4 zonas representativas	72
Tabla 14 Resultados de capacidad de infiltración e infiltración básica	78
Tabla 15 Ponderación de las 5 variables para cada zona representativa	79
Tabla 16 Evidencias Centro Poblado Tual.....	91
Tabla 17 Evidencias Centro Poblado Chilimpampa Alto	94
Tabla 18 Evidencias Centro Poblado Porcón Alto.....	97
Tabla 19 Evidencias Centro Poblado Uñigán.....	100
Tabla 20 Prueba De Infiltración Centro Poblado Tual.....	108
Tabla 21 Infiltración con datos que se tomaron en campo C.P Tual.....	109
Tabla 22 Prueba De Infiltración C.P Chilimpampa Alto	111
Tabla 23 Infiltración con datos que se tomaron in situ en Chilimpampa alto.....	112

Tabla 24 Prueba De Infiltración Centro Poblado Porcón Alto.....	114
Tabla 25 Infiltración con datos que se tomaron en campo Porcón Alto	115
Tabla 26 Prueba De Infiltración Centro Poblado Uñigán	117
Tabla 27 Datos que se tomaron en campo del Centro Poblado Uñigán.	118

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo identificar áreas de recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, Cajamarca, durante el año 2024, empleando herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) como QGIS 3.42.2, imágenes satelitales ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución, cilindro de doble anillo, dron modelo Mavic Air 2, el modelo Matus (2009) y la herramienta Hydracces para el cálculo de precipitación areal. Para ello, se recopiló información espacial y temática de la microcuenca considerando variables clave como pendiente, tipo y uso del suelo, geología y cobertura vegetal, las cuales fueron integradas y ponderadas mediante análisis espacial en el SIG utilizando el método de superposición ponderada, generando un mapa final con las zonas representativas de recarga hídrica. La validación en campo permitió corroborar que los resultados coincidieran con las condiciones reales del terreno. Como resultado, se elaboró un mapa temático de cobertura vegetal de las cuatro zonas evaluadas (Tual, Porcón Alto, Chilimpampa y Uñigán), evidenciando que las áreas con mayor potencial de recarga se ubican en sectores con vegetación abundante, suelos permeables y pendientes suaves, mientras que las zonas con menor capacidad corresponden a sectores urbanos, suelos impermeables o terrenos muy inclinados. La infiltración básica promedio en las áreas altas de estudio fue de 5,00 mm/h y la capacidad de infiltración promedio de 8,49 mm/h, confirmando el potencial de recarga hídrica de la microcuenca, cuyas áreas de recarga se encuentran en un rango altitudinal de 3 500 a 3 800 m s. n. m. En conclusión, las zonas identificadas en Tual, Porcón Alto, Chilimpampa y Uñigán constituyen áreas estratégicas para la recarga hídrica, siendo prioritarias para su conservación y manejo sostenible, garantizando la disponibilidad del recurso hídrico para consumo y actividades productivas en la microcuenca.

.

PALABRAS CLAVES: recarga hídrica, microcuenca, tipo de suelo, uso de suelo, tipo de roca, pendiente, cobertura vegetal, infiltración.

ABSTRAC

This research aimed to identify groundwater recharge areas in the upper part of the Porcón River micro-watershed, Cajamarca, during 2024. Geographic Information System (GIS) tools were applied, including QGIS 3.42.2, ALOS PALSAR satellite imagery (12.5 m resolution), a double-ring infiltrometer, a Mavic Air 2 drone, the Matus model (2009), and Hydraccess for areal precipitation estimation. Spatial and thematic information was collected considering key variables such as slope, soil type and land use, geology, and vegetation cover. These were integrated through weighted overlay analysis, generating a final map of potential recharge zones. Field validation confirmed that the results were consistent with actual terrain conditions. The findings indicate that areas with higher recharge potential are associated with abundant vegetation, permeable soils, and gentle slopes, while lower recharge capacity corresponds to urban sectors, impermeable soils, or steep terrains. The average basic infiltration rate was 5.00 mm/h, and the mean infiltration capacity reached 8.49 mm/h. Recharge areas were mainly located between 3,500 and 3,800 m.s.n.m. In conclusion, the zones identified in Tual, Porcón Alto, Chilimpampa, and Uñigán represent strategic groundwater recharge areas. Their conservation and sustainable management are essential to ensure water availability for domestic use and productive activities within the micro-watershed.

KEY WORDS: water recharge, micro-watershed, soil type, land use, rock type, slope, vegetation cover, infiltration.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN

En la actualidad, a nivel mundial se vive una problemática de escasez de agua, siendo esta esencial para la supervivencia de los seres humanos, animales y plantas. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2023), informa de que hay entre 2.000 y 3.000 millones de personas en todo el mundo que carecen de acceso a agua potable, y que esta situación no hará sino empeorar en las próximas décadas, lo que plantea graves riesgos para sus medios de subsistencia.

En la actualidad, la creciente presión sobre los recursos hídricos, producto de la expansión agrícola, urbana e industrial, ha generado una disminución en la disponibilidad y calidad del agua. Esta situación es particularmente crítica en las zonas altoandinas, donde las fuentes de agua superficial y subterránea dependen en gran medida de las áreas de recarga hídrica. Según la Defensoría del Pueblo (2023), la mayor parte de los conflictos sociales registrados en ese año fueron por el agua, lo que pone en evidencia la urgente necesidad de una gestión más eficiente y equitativa del recurso. En este contexto, el estudio y delimitación de las zonas de recarga hídrica se vuelve fundamental para garantizar la sostenibilidad del recurso, prevenir conflictos y planificar adecuadamente su conservación.

Un proceso natural que incorpora el agua de lluvia al subsuelo, a las aguas superficiales, a otros acuíferos y a masas de agua estacionarias o en movimiento se conoce como recarga hídrica. Un lugar conocido como área de recarga hídrica es aquel en el que este proceso se produce con mayor frecuencia e intensidad que en otros lugares, si bien las cuencas hidrográficas son vastas zonas de recarga, algunas de sus áreas pueden tener lugares o zonas particulares que son especialmente buenos para desempeñar esta función de forma más eficaz y significativa (Fundación AGRECOL Andes, 2019, pág. 5).

Matus et al. (2009), indica que en general, la recarga hídrica es el proceso por el que el agua procedente de fuera de los límites de un acuífero es absorbida por éste. Matus et al. (2009) cita a Custodio (1998), quienes mencionan que hay varias formas de recarga, entre ellas la transferencia de agua desde otro acuífero, la infiltración de las precipitaciones (suele ser la más significativa) y de las aguas superficiales. Los lugares con una gran capacidad de infiltración se denominan zona de recarga, o área donde se produce la recarga.

La recarga hídrica es un proceso natural que puede verse afectado por una gestión inadecuada de las cuencas, lo que disminuye su eficiencia y contamina fuentes como ríos y manantiales. Esto acelera el agotamiento del agua por el impacto de actividades humanas. Una gestión adecuada permite que el agua se infiltre hacia los acuíferos, asegurando su disponibilidad para distintos usos (Layten y Santi, 2021).

De modo que, si las zonas de recarga hídrica son identificadas y gestionadas correctamente, ayudará al abastecimiento de agua en las comunidades cercanas y a su vez, en tiempo de sequía, se distribuirá correctamente para su uso, es por ello que en el presente estudio se ha abordado el tema de identificación de áreas de recarga hídrica, siendo esta importante para la gestión eficiente del agua en tiempo de lluvia y de sequía.

La identificación de zonas de recarga hídrica ayudará a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que es un proceso cuyo objetivo es lograr el desarrollo sostenible de la nación sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas, para ello, promueve, a nivel de cuenca hidrográfica, la gestión y el desarrollo coordinado del uso y aprovechamiento multisectorial del agua y sus bienes naturales asociados (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La microcuenca del río Porcón, ubicada en la región Cajamarca, cumple un rol estratégico en la regulación hídrica regional, abasteciendo de agua a más de 6,500 personas en su área de influencia directa y contribuyendo de manera significativa al suministro urbano a través de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Milagro”. Esta planta capta un caudal aproximado de 150 litros por segundo durante la temporada de lluvias y 100 litros por segundo en época seca, de los cuales el 25 % proviene de la microcuenca Porcón y el 75 % restante de la microcuenca río Grande. Según la Autoridad Nacional del Agua [ANA] y el Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2010), este volumen abastece cerca del 70 % de la población urbana de Cajamarca, cifra que supera los 50,000 habitantes zona urbana, en el caso de la microcuenca Porcón, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), lo que evidencia la importancia estratégica de esta microcuenca para la provisión de recursos hídricos. Asimismo, la microcuenca sostiene diversas actividades productivas y sociales, destacando las agropecuarias, ecosistémicas, domésticas y urbanas, además de otras actividades complementarias relacionadas con el desarrollo local.

Esta importancia hidrológica radica, en gran medida, en las áreas de recarga hídrica ubicadas en su parte alta, las cuales permiten la infiltración del agua de precipitación hacia los acuíferos subterráneos, asegurando la disponibilidad del recurso durante los periodos de estiaje y contribuyendo al mantenimiento del caudal base del río.

Sin embargo, actualmente se carece de una delimitación técnica, precisa y actualizada de dichas zonas de recarga, lo cual limita su incorporación efectiva en procesos de planificación territorial y gestión del recurso hídrico. Esta carencia de información técnico-científica ha facilitado la intervención antrópica de estas áreas por medio de actividades como la deforestación, el sobrepastoreo, la agricultura intensiva, la

minería informal y la expansión urbana desordenada, las cuales alteran las propiedades del suelo y reducen su capacidad de infiltración, incrementando la escorrentía superficial y afectando negativamente el equilibrio hidrológico de la microcuenca.

A esta situación se suma la falta de una gestión integrada del recurso hídrico con enfoque preventivo y territorial, basada en la identificación y priorización de zonas estratégicas para la recarga. Además, el cambio climático y la creciente demanda de agua agravan la vulnerabilidad de las fuentes hídricas, lo que refuerza la necesidad de adoptar herramientas metodológicas modernas que permitan identificar espacialmente estas áreas, considerando variables hidrológicas, edafológicas, geomorfológicas y de cobertura vegetal.

A nivel nacional, de las 159 cuencas hidrográficas existentes en el Perú, únicamente 12 han sido estudiadas hasta el año 2014, entre ellas la cuenca del Crisnejas en Cajamarca, lo que evidencia una significativa brecha de conocimiento técnico sobre disponibilidad y gestión de recursos hídricos en gran parte del territorio nacional (ANA, 2014). Esta situación se replica en la cuenca del río Mashcón, de la cual el río Porcón es uno de los principales afluentes, representando casi el 50 % de su área total de drenaje. Según ANA y el BID (2010), el 70 % de los manantiales de la cuenca del Mashcón se ubican en la microcuenca del Porcón, lo cual subraya su valor estratégico.

Frente a este panorama, la falta de identificación técnica y geoespacial de las áreas de recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca del río Porcón constituye un problema central que impide la formulación de estrategias eficaces de conservación y uso sostenible del agua. Esta deficiencia representa una barrera para la implementación de acciones de protección, restauración y planificación hídrica en un entorno sometido a creciente presión antrópica. Por tanto, se requiere con urgencia realizar un diagnóstico técnico mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y criterios físico-naturales

que permitan localizar, caracterizar y priorizar dichas zonas, con el objetivo de asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

1.1 Formulación del problema

No se dispone de información suficiente sobre la recarga en la parte alta de los acuíferos de la microcuenca del río Porcón, Cajamarca (2024).

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación científica.

El presente estudio se sustenta en la teoría de las zonas de recarga hídrica, enfocándose en la identificación de fuentes de recarga en la parte alta de la microcuenca del río Porcón. Bajo el enfoque del método científico, inicialmente se realizó la observación de la problemática, identificando la ausencia de información sobre la localización y extensión de áreas de recarga en la zona de estudio. Posteriormente, se estableció el planteamiento del problema, que consistió en determinar cuántas y dónde se encuentran dichas áreas, dado que su desconocimiento limita la planificación de estrategias de conservación y manejo sostenible.

Con base en la revisión teórica y metodológica, se formuló la hipótesis de que la aplicación del método de Recarga de Agua Subterránea (RAS) permitiría identificar y caracterizar de manera precisa las zonas de recarga hídrica. La experimentación y análisis se desarrollaron mediante la recopilación de información espacial y temática, el procesamiento en un Sistema de Información Geográfica y la aplicación del método RAS, lo cual permitió delimitar y describir las áreas de recarga hídrica en el territorio.

Los resultados obtenidos aportan conocimiento inédito sobre la cantidad y distribución de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Porcón, llenando un vacío de información existente hasta la fecha. Finalmente, como **conclusión**, el estudio constituye una base técnica y científica que servirá para implementar estrategias de

protección y preservación de estas áreas, garantizando la sostenibilidad del recurso hídrico en la microcuenca.

1.3.2 Justificación teórico - práctica.

La presente investigación resulta de gran importancia y utilidad, ya que la identificación de áreas de recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca del río Porcón permitirá proponer y establecer estrategias para la protección y preservación de estas zonas, garantizando un manejo adecuado del recurso hídrico. De esta manera, los pobladores de Porcón y de los centros poblados cercanos podrán abastecerse de agua incluso en periodos de sequía, no solo para consumo humano, sino también para actividades productivas como la agricultura y la ganadería.

Desde el punto de vista teórico, el estudio aporta al conocimiento científico sobre la localización y caracterización de zonas de recarga hídrica en un territorio donde no se disponía de información precisa. Este aporte constituye una base metodológica y técnica que puede ser replicada en otras microcuencas con problemáticas similares.

En cuanto a su relevancia práctica, actualmente (año 2024) se está formulando un proyecto que busca abastecer de agua al centro poblado de Huambocancha Alta desde la microcuenca de Porcón, debido a su carencia de este recurso. Esta situación evidencia la urgencia de proteger las zonas de recarga hídrica, pues de ellas depende la seguridad hídrica de una población creciente. Asimismo, la conservación de estas áreas contribuye a la protección de los ecosistemas asociados, evitando procesos de degradación derivados del estrés hídrico.

En línea con lo anterior, Chamorro (2017) enfatiza la necesidad de identificar con precisión las zonas de recarga para desarrollar estrategias efectivas de protección y preservación de los recursos hídricos. El autor advierte que, si se desconoce la ubicación

de estas áreas y no se aplican metodologías prácticas para caracterizarlas, se corre el riesgo de fomentar la degradación de las zonas de recarga y la disminución de los caudales en las cuencas hidrográficas.

1.3.3 Justificación Institucional.

La presente investigación se enmarca dentro de los objetivos de la Universidad Nacional de Cajamarca, que busca promover la generación de conocimiento científico y técnico en beneficio del desarrollo sostenible de la región. Al identificar y caracterizar áreas de recarga hídrica en la microcuenca del río Porcón, se contribuye con información relevante para la gestión integral de los recursos hídricos, fortaleciendo así las capacidades institucionales en investigación aplicada al territorio. Este trabajo no solo responde a una necesidad académica, sino también a una demanda social, ya que proporciona insumos técnicos para la formulación de proyectos de conservación y aprovechamiento sostenible del agua, recurso vital para la población y las actividades productivas.

1.3.4. Justificación Personal.

En el ámbito personal, esta investigación representa un paso fundamental en mi formación profesional, ya que me permite aplicar los conocimientos adquiridos durante mi carrera universitaria en la Escuela Profesional de Ingeniería Hidráulica. Asimismo, este trabajo constituye el requisito académico indispensable para optar el título profesional de Ingeniero Hidráulico, logro que refleja mi esfuerzo, disciplina y compromiso con mi desarrollo profesional. De igual manera, la investigación reafirma mi interés en aportar soluciones técnicas a problemas hídricos de la región, consolidando mi vocación de servicio hacia la sociedad y mi proyección como futuro ingeniero en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se desarrolló en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, entre los 3 500 y 3 800 m s. n. m., abarcando cuatro zonas representativas, por lo que se considera un análisis efectuado en las cabeceras de cuenca. Debido a que el área de estudio se encuentra dentro de una zona de influencia minera, se excluyeron determinados sectores de carácter privado, como el cerro Quilish, a fin de respetar las restricciones de acceso.

Para la investigación se recopilieron datos meteorológicos de las estaciones más cercanas (Augusto Weberbauer, Granja Porcón, San Pablo, Magdalena y Namora). Asimismo, se abordaron aspectos relacionados con la hidrología, hidrogeología, uso de suelos, tipo de suelos, manejo de cuencas y geología. En este último aspecto, se identificaron formaciones geológicas predominantes compuestas por rocas sedimentarias y volcánicas, con presencia de secuencias estratificadas que presentan inclinaciones variables, generalmente moderadas (10° a 25°) hacia el noreste, lo cual influye en la dirección del flujo subterráneo y en la dinámica de recarga hídrica, para recargar el acuífero.

Es importante precisar que no se incluyeron en el análisis aspectos como el estudio físico-químico del agua, la detección geofísica de recursos hídricos ni los conflictos sociales presentes en la zona.

1.3 LIMITACIONES.

Una de las principales limitaciones de la presente investigación fue la disponibilidad y resolución de la información espacial utilizada. Aunque se emplearon imágenes satelitales ALOS PALSAR con 12,5 m de resolución, una mayor resolución

espacial hubiera permitido obtener un mayor nivel de detalle en la caracterización de las variables analizadas. Asimismo, factores climáticos y logísticos condicionaron el número de campañas de campo y la toma de mediciones in situ, lo que restringió la posibilidad de realizar una validación más amplia y continua en el tiempo. Finalmente, la metodología aplicada se centró en variables físicas (pendiente, uso de suelo, tipo de suelo, geología y cobertura vegetal), sin considerar en profundidad aspectos socioeconómicos o de cambio de uso del suelo, que también influyen en la dinámica de recarga hídrica y podrían ser abordados en futuras investigaciones.

Otra limitación identificada durante el estudio fue el acceso restringido a determinadas áreas dentro de la zona de influencia minera, como el cerro Quilish, por ser propiedad privada. Asimismo, en algunos centros poblados menores fue necesario realizar coordinaciones y conversaciones previas con las autoridades locales para obtener el permiso de ingreso y efectuar el trabajo de campo. Entre estas gestiones destacan las realizadas con el señor Jesús Valdivia Chalán, autoridad de Huambocancha Baja, y el señor Segundo Abelardo Cueva, autoridad de Huambocancha Alta, quienes facilitaron el acceso para algunas tomas fotográficas para la caracterización de la microcuenca y poder tomar nuestro punto de aforo, y poder delimitar la microcuenca Porcón punto de partida de nuestra investigación.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Identificar áreas de recarga hídrica de la parte alta de la microcuenca del río Porcón, Cajamarca 2024.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a) Caracterizar las zonas de cabecera de cuenca de la microcuenca Porcón

- b) Determinar las pendientes de laderas de las zonas altas de la microcuenca Porcón.
- c) Determinar el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI).
- d) Determinar el Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad (NDWI)
- e) Determinar la precipitación areal de la parte alta de la microcuenca Porcón.
- f) Determinar la capacidad de infiltración de la parte alta de la microcuenca Porcón.
- g) Validar las zonas de recarga hídrica natural en la parte alta de la microcuenca Porcón, determinando mediante evidencia de campo y análisis hidrológicos si es una zona de recarga hídrica alta, media o moderada.
- h) Proponer estrategias de mejora para mantener y potenciar la recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca Porcón, considerando la recarga natural, focalizada y localizada presente en cada zona representativa, a fin de asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

2.1.1 Nivel internacional.

Blanco (2010), realizó su estudio titulado “Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica”, cuyo objetivo fue determinar cuáles son los sitios con mayor potencial de recarga de agua subterránea. La metodología utilizada fue realizar un balance hídrico de suelos, además por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se generaron mapas digitales que representan la textura del suelo, la pendiente, el tipo de cobertura vegetal del suelo y la precipitación, luego de identificar 25 áreas de recarga hídrica (ARH), se ingresó la información generada para cada área, a la ecuación general del balance para finalmente determinar los sitios de mayor potencial de recarga hídrica.

Las principales conclusiones indicaron que existe un considerable potencial de recarga de acuíferos en cada una de las 25 ARH. Esto se debe principalmente a las propiedades físicas del suelo, que contribuyen a la retención de la humedad y a la percolación directa del agua hacia un posible acuífero que pueda existir ya en la región, sin embargo, los ARH desprovistos de cubierta forestal son menos capaces de retener la humedad, y las precipitaciones desempeñan un papel importante en la percolación del agua, que es la principal fuente de esta contribución. Hay más capacidad para retener la humedad en los HRA que están cubiertos de bosque. Por lo tanto, el movimiento de las aguas superficiales y subterráneas se da durante todo el año, incluso en ausencia de precipitaciones, tanto a través de la retención de humedad como de la percolación. Debido principalmente a cierta homogeneidad en la recarga potencial (R_p) generada por la evapotranspiración, los resultados de la R_p en todas las ARH tienden a ser muy

consistentes, con valores que oscilan entre 1064 y 2073 mm/año. En general, la región de investigación experimenta una recarga anual de más de 23 millones de m³.

Díaz et al. (2021), realizó su estudio titulado “Identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca Cune, Cundinamarca – Colombia”, su objetivo fue identificar participativamente áreas con una posible recarga hídrica potencial en la microcuenca quebrada Cune, del municipio de Villeta-Cundinamarca. El modelo metodológico incluyó e integró el conocimiento técnico y científico con el saber local de las comunidades rurales, se identificaron cinco (5) zonas potenciales de recarga hídrica y se representaron en un mapa participativo, asimismo el programa Qgis 3.42.0 fue utilizado para validar la metodología, permitiendo establecer comparaciones entre el mapa participativo con el mapa obtenido técnicamente.

Los principales resultados fueron que a pesar de la elevada pendiente de la zona, la microcuenca Cune cuenta con una importante reserva forestal en su parte superior que permite un alto grado de captación de las precipitaciones, así como una cubierta vegetal y unas condiciones edáficas que constituyen factores biofísicos adecuados para la recarga hídrica, esto permite que el agua de lluvia se infiltre fácilmente y recargue los acuíferos ubicados en la parte baja de la microcuenca, proporcionando así un suministro constante de servicios ecosistémicos en la zona y favoreciendo también a los acuíferos ya existentes en el sector bajo. La metodología empleada indicó la importancia del conocimiento local porque se demostró que no había variación entre los resultados del análisis comunitario y las investigaciones técnicas. Finalmente, se determina que las áreas de conservación de la microcuenca, que son bosques densos, contienen zonas con alto potencial de recarga, sin embargo, también hay zonas con un potencial de recarga moderado, que deben centrarse en mantener la calidad del suelo y del agua porque lindan con tierras agrícolas.

Esto pone de manifiesto la urgencia de poner en marcha estrategias de conservación en la microcuenca.

Sánchez (2017), en su estudio titulado “Identificación de zonas con potencial de recarga hídrica en la intersección sureste del Acuífero Sierra de San Andrés y Soteapan Hueyapan”, tuvo por objetivo identificar las zonas con potencial de recarga hídrica en la intersección sureste del acuífero sierra de San Andrés y Soteapan-Hueyapan, Municipio de Catemaco Veracruz, para planificar y guiar la reforestación a zonas que permitan un aporte mayor a la recarga hídrica de agua subterránea. La metodología utilizada fue en dos fases, primero la de campo que consistió en georeferenciar manantiales pertenecientes a la cuenca para generar un modelo de flujo de agua subterránea. La segunda fase fue la de escritorio que consistió en el procesamiento de la información satelital y cartográfica de la zona, para esto fue necesario ocupar nueve softwares SIG. Se utilizó álgebra de mapas para identificar zonas con potencial de recarga hídrica y para determinar áreas con zonas aptas para reforestar.

Entre los principales resultados, se obtuvieron cinco mapas que ilustraban los factores que influyen en el potencial de recarga y un mapa temático que permitió identificar 958.06 ha (10.80%) de las zonas con potencial de recarga hídrica muy significativo, estas se localizaban en los niveles más altos de los manantiales reforestados a lo largo de las cuatro comunidades. Las localidades de Benito Juárez y Las Margaritas albergan las principales zonas de aporte. Adicionalmente, 1180 hectáreas (13.5 por ciento del área total) fueron identificadas por el modelo como de alto a muy alto potencial para la recarga de agua. La mayoría de los manantiales que Viveros Tebanca reforesta se encuentran en regiones con potencial alto y medio de recarga. Debido a la escasa cubierta forestal de la zona, su potencial de recarga es medio. La reforestación de estas áreas

aumentará la cantidad de agua que se recarga, sin embargo, se aconseja que estas áreas se manejen bien una vez porque también pueden estar causando erosión o sedimentación.

2.1.2. Nivel nacional

Marcelino et al. (2021), en su investigación titulada “Identificación del Potencial de Recarga Hídrica en la Microcuenca Samincheni, Pichanaki–Perú”, tuvo por objetivo determinar el potencial de recarga hídrica en la microcuenca Samincheni. La metodología utilizada fue analizar cinco variables: pendiente del terreno, tipo de cobertura vegetal, uso de suelo, tipo de suelo y formaciones geológicas, integrándose finalmente las cinco variables mediante una operación algebraica utilizando el software ArcGIS, asimismo, se utilizó las imágenes tomadas por el satélite PERUSAT-1 para la obtención de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo.

Los resultados muestran que en la microcuenca de Samincheni, situada dentro del distrito de Pichanaki, tiene un potencial de recarga de agua muy bajo, bajo, moderado y alto, estas representan el 0,5%, 54,8%, 32,8% y 11,8% de la superficie total, respectivamente. Hay una clara falta de regiones con un potencial extremadamente alto de recarga de agua y una preponderancia de lugares con un potencial bajo. El potencial de recarga de agua en las regiones agrícolas de la microcuenca estudiada oscila entre muy bajo hasta moderado en el mejor de los casos debido a los efectos perjudiciales de la actividad humana.

Layten y Santi (2021), en su investigación titulada “Identificación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia mediante la metodología RAS”, tuvo por objetivo identificar las zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Santa Eulalia aplicando el método de recarga de aguas subterráneas (RAS). El estudio fue de tipo aplicada, no experimental, descriptiva de corte transversal y se utilizó la metodología de recarga de aguas subterráneas (RAS).

Los resultados más destacables del estudio fueron que la subcuenca de Santa Eulalia tiene un 82% de suelos limosos y arcillosos, la subcuenca tiene pendientes mayores o iguales al 15% (más del 90% de la superficie), y el 95% de la superficie está cubierta por vegetación arbustiva baja o vegetación arbustiva y páramo.

La metodología Recarga de Agua Subterránea (RAS) permitió identificar cinco zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca Santa Eulalia: zona de recarga muy baja, baja, media, alta y muy alta, que cubren un área de 21, 22, 21, 22 y 14%, respectivamente. En las secciones de la subcuenca Santa Eulalia donde la recarga de agua es mayor, se sugieren las siguientes estrategias de mitigación: implementación de cochas, zanjas de infiltración y la preservación de regiones de cobertura vegetal.

2.1.3 Nivel local.

Peña y Soria (2021), en su estudio titulado “Determinación de zonas de recarga hídrica y su importancia en la cabecera de cuenca del río Zaña usando sensores remotos-Cajamarca”, tuvo como objetivo determinar las zonas de recarga hídrica y su importancia en la cabecera cuenca del río Zaña utilizando sensores remotos. La investigación fue de tipo aplicada tecnológica, diseño no experimental, de corte transversal y se utilizó el método analítico descriptivo, además se utilizó el software ArcGIS.

Los principales resultados indican que el 82% de las zonas ideales de la cuenca del río Zaña para la recarga de agua se encuentran en la zona de cabecera. Se determinó que una temperatura de 23,37°C es óptima para la recarga de agua, coincidiendo con la temperatura media de la cuenca del río Zaña. Se consideró ventajosa para la recarga de agua de 0 a 13,5° y moderadamente beneficiosa para la recarga de agua de 13,5° a 27°, en función de la pendiente. El agua superficial, los afloramientos rocosos y las zonas favorables y desfavorables de recarga hídrica se obtuvieron combinando todas las

condiciones sugeridas del estudio de los parámetros superficiales mediante análisis multiespectral utilizando el clasificador dicotómico.

Barboza y Cortez (2018), en su estudio titulado “Análisis multiespectral mediante parámetros superficiales con la plataforma Landsat 8 para identificar agua subterránea en la cuenca del río Mashcón – Cajamarca”, su objetivo fue ubicar agua subterránea usando la plataforma LANDSAT 8 mediante el uso de parámetros superficiales en la cuenca del río Mashcón. La investigación es de tipo aplicada, no experimental de corte transversal.

El hallazgo más llamativo fue que los mejores índices de vegetación para la recarga de agua eran aquellos con rangos multiespectrales entre 0,6 y 1, correspondientes a vegetación sana y muy saludable. Estos rasgos de vegetación son típicos de las regiones con suministro de agua superficial y subterránea. También se ha establecido que los flujos de agua superficial se reconocían en rangos superiores a 0 en el proceso de identificación del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI). Basándose en la información espectral, se demostró que la temperatura ideal para la infiltración sin evapotranspiración es inferior a 21°C, y valores inferiores a 27° según la pendiente. Se zonificó áreas de recarga hídrica de aguas subterráneas, lo que será muy útil en la industria minera para la planificación y el cierre de minas, así como para crear nuevas herramientas para el desarrollo de líneas de base y de diseño y una mejor gestión medioambiental de este recurso esencial en zonas socialmente conflictivas.

2.3. BASES TEÓRICAS

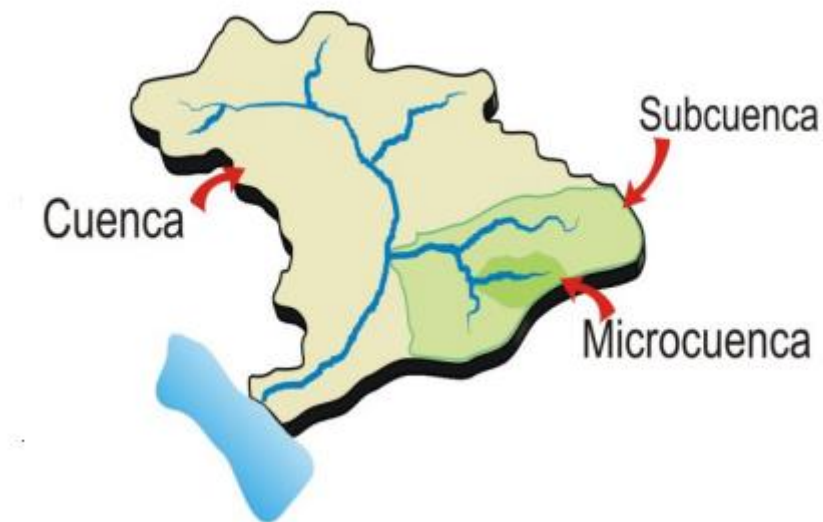
2.3.1 Cuenca hidrográfica

Es la superficie de territorio que delimita la línea divisoria de las aguas, constituida por un sistema hídrico que dirige sus aguas hacia un río principal, un río extenso, un lago o al mar. Las relaciones entre el entorno de la cuenca, la profundidad del suelo y la cubierta terrestre se integran en un espacio tridimensional (Vargas, 2018). Los

puntos más elevados de las montañas sirven de cuencas hidrográficas, que se definen como áreas del territorio donde todas las escorrentías -arroyos y/o ríos- se concentran y desembocan en un único punto conocido como punto de salida de la cuenca. Este punto puede ser un lago, que forma una cuenca endorreica, o el mar, que forma una cuenca exorreica. El medio biofísico (suelo, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones son interdependientes y están en relación espacial y temporal dentro de estos territorios (Ávalos et al., 2013). Las cuencas hidrográficas permiten comprender espacialmente el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los efectos acumulativos de las actividades humanas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica (Ávalos et al., 2013).

Figura 1

Esquema de una cuenca Hidrográfica.



Nota: Cuenca, subcuenca y microcuenca. Fuente: Casaverde, (2011).

2.2.2. Partes de una cuenca hidrográfica

Garrido (2010), como se citó en Ávalos, Galindo, Gonzáles, Pineda y Ríos (2013), menciona que según la dinámica hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca:

El recorrido del agua dentro de una cuenca hidrográfica permite identificar tres zonas principales dispuestas linealmente: desde su nacimiento hasta su desembocadura, según la (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2013) las cuales se dividen en 3 zonas.

1. Parte alta (cabecera de cuenca).

- Zona de nacimiento de los ríos.
- Mayor altitud.
- Predominan los procesos de erosión.
- Suele coincidir con las áreas de recarga hídrica.
- Ejemplos: manantiales, bofedales, nevados, laderas empinadas.

2. Parte media

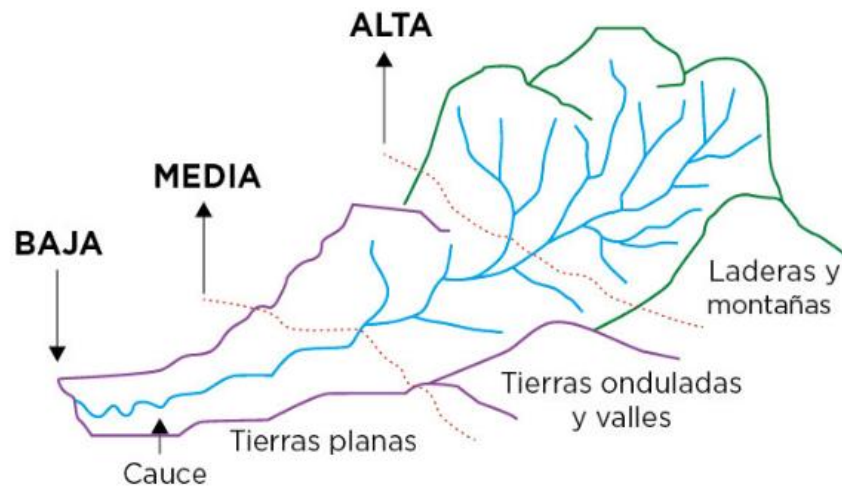
- Zona de transporte de sedimentos y agua.
- Relieve más moderado (menor pendiente que en la parte alta).
- Se desarrollan valles y zonas agrícolas.
- Comienza a haber asentamientos humanos.

3. Parte baja

- Zona de **desembocadura** o salida de la cuenca (a otro río, lago o mar).
- Predominan los procesos de **sedimentación**.
- Relieve generalmente **plano**.
- Frecuentemente utilizada para **agricultura intensiva**, asentamientos urbanos y actividades económicas.

Figura 2

Partes de una cuenca Hidrográfica



Nota: Zonas principales de una cuenca hidrográfica. Fuente: Departamento General de Irrigación. (s.f.).

2.3.2 Microcuenca.

Una microcuenca es aquella área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas (Casaverde, 2011).

Una microcuenca es una pequeña sección dentro de una cuenca más grande, delimitada por las características naturales del terreno. Se utiliza como una unidad práctica para organizar y gestionar de forma eficiente el agua y el suelo, ya que su tamaño compacto permite un manejo más específico y localizado (Ministerio del Ambiente, 2013).

2.3.3 Infiltración.

Es el proceso donde el agua (lluvia, riego) penetra hacia las capas más profundas, o acuíferos, es allí donde se produce la zona de recarga hídrica. Numerosas variables, como el tipo de roca, el suelo, la cubierta vegetal, la pendiente y el tipo y uso del suelo

de la región, afectan a la recarga (Figueredo, 2019). Las cuencas fluviales están estructuradas jerárquicamente, además de ser unidades funcionales con límites claramente definidos y productos designados. Esto se debe a que las subcuencas, separadas a su vez en zonas más pequeñas y restringidas aún más por una cuenca hidrográfica, son áreas concentradas a las que se dirigen las escorrentías del curso principal del río. Dentro de cada subcuenca existen microcuencas (Ávalos et al, 2013).

2.3.4 Cabecera de cuenca.

Un lugar es considerado cabecera de cuenca cuando se ubica en la parte alta de una cuenca hidrográfica, donde nacen los ríos o quebradas. Estas zonas tienen una alta disponibilidad de agua debido a las precipitaciones y al almacenamiento en el suelo, desempeñando funciones clave en la regulación del ciclo hídrico, la recarga de acuíferos y el mantenimiento del caudal en las partes bajas. Además, presentan una sensibilidad ecológica que las hace fundamentales para la conservación del recurso hídrico (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MIDAGRI, [2021]).

Cabecera de cuenca: "Las cabeceras de cuenca constituyen las zonas más altas de una cuenca hidrográfica, donde se originan los cursos de agua. Se caracterizan por su función en la regulación hídrica, la recarga de acuíferos, y la conservación de la biodiversidad" (ANA, 2018). Consideramos que la cabecera de cuenca no solo se alimenta de las lluvias, sino son espacios de recarga hídrica y tienen una conectividad hidrogeológica con el funcionamiento permanente del sistema hidrológico que debe incluirse en ríos de orden 1 y orden 2. (ANA, 2018). La **Ley N.º 29338**, Ley de Recursos Hídricos del Perú, aprobada en 2009, establece las bases legales para asegurar una gestión sostenible e integrada del agua en el país. Aunque no menciona de forma directa qué es una cabecera de cuenca, sí resalta su relevancia. Por ejemplo, en el artículo 6, se incluyen las cabeceras de cuenca como parte de los bienes naturales vinculados al agua, ya que

cumplen un rol importante en la regulación y calidad del recurso. En ese sentido, se les considera elementos fundamentales para conservar y manejar adecuadamente el agua. Además, el Estado las reconoce como zonas vulnerables desde el punto de vista ambiental, por ser el lugar donde nacen los ríos. Para protegerlas, la ley permite que la Autoridad Nacional del Agua, con la opinión del Ministerio del Ambiente, las declare como zonas intangibles, lo que impide otorgar permisos para usarlas o verter agua en ellas. (Congreso de la República del Perú, 2009). La **Ley N.º 30640**, publicada en 2017, introdujo una modificación clave en la **Ley N.º 29338**, al incluir en su artículo 75 la necesidad de establecer criterios técnicos para poder identificar y delimitar correctamente las cabeceras de cuenca. En este artículo, se reconoce a estas zonas como áreas ambientalmente vulnerables, ya que en ellas nacen los cursos de agua que forman parte de una red hidrográfica. Además, se le otorga a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con el respaldo del Ministerio del Ambiente (MINAM), la facultad de declarar estas cabeceras como zonas intangibles. Esto significa que en dichas áreas no se pueden otorgar derechos para el uso, vertimiento o disposición de agua. En resumen, esta norma subraya el valor estratégico de las cabeceras de cuenca para la conservación del recurso hídrico y establece herramientas legales para protegerlas adecuadamente (Congreso de la República del Perú, 2017).

2.3.5 Zona de recarga hídrica.

Díaz et al. (2021) cita a INAB (2015), el término zona de recarga hídrica se refiere a los territorios donde el agua puede filtrarse de forma natural a partir de la escorrentía superficial o las precipitaciones, alimentando acuíferos donde los flujos subterráneos viajan horizontalmente hacia diversas masas de agua, como ríos, lagos, manantiales y mares.

Watto (2015) y Mondal y Dalai (2017), como se citó en Díaz et al. (2021), menciona que el proceso de recarga de las aguas subterráneas se incluye en la categoría de servicios ecosistémicos conocidos como servicios de apoyo y suministro de agua. Estos servicios son esenciales tanto para la salud humana como para la preservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Pero a medida que ha crecido la población y ha aumentado la superficie dedicada a la agricultura, hay una mayor necesidad de aguas subterráneas, lo que ha provocado una disminución de su calidad y un deterioro del proceso de recarga hídrica.

Custodio (1998), como se citó en Vargas (2018), denomina recarga al procedimiento que permite la entrada en un acuífero de agua procedente de fuera de sus límites. Esta recarga procede de diversas fuentes, como la transferencia de agua desde otro acuífero y la infiltración de las precipitaciones, que suele ser la más significativa. Las aguas superficiales también son importantes en zonas con escasas precipitaciones.

Losilla (como se citó en Vargas, 2018), indica que la zona de recarga es la región o zona donde se produce la recarga; son áreas con una elevada capacidad de infiltración. En los "suelos de alta capacidad de infiltración" o en las rocas poco permeables, las precipitaciones son la principal fuente de recarga de los acuíferos. Las zonas de recarga de los acuíferos pueden o no estar situadas lejos de sus puntos de utilización.

IDEAM (2015) y Sandoval y Tiburán (2019), como se citó en Díaz et al. (2021), mencionan que las aguas subterráneas constituyen aproximadamente el 96% de todos los recursos de agua dulce de la Tierra y son menos susceptibles a los procesos de contaminación. Por ello, cada vez es más importante incluir las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos, ya que se trata de la única fuente capaz de satisfacer la demanda de las actividades económicas, en particular la agricultura. Gonzáles y López (2018), como se citó en Díaz et al. (2021), hacen énfasis que las partes

interesadas locales o las mismas organizaciones encargadas de la gestión de los recursos hídricos no suelen tomar las medidas adecuadas para impedir que zonas se degraden y disminuya su capacidad de infiltración porque desconocen los lugares con potencial de recarga de agua.

Matus et al. (2009), como se citó en Vargas (2018), señalan que deberían identificarse las zonas que más contribuyen a la recarga de agua debido a sus características únicas. Dentro de estas zonas, deben identificarse aquellas que, si se gestionan de forma diferente a su capacidad, podrían dar lugar a una reducción de su potencial de recarga. Estas regiones se denominan zonas críticas de recarga de agua.

2.3.6. Clasificación de zona de recarga hídrica.

Según Faustino (2006), como se citó en Figueredo (2019), enfatiza que, de acuerdo con el movimiento del agua en el suelo, subsuelo y manto rocoso, la zona de recarga hídrica se puede clasificar en:

- 1) Zonas de recarga hídrica superficiales: prácticamente es toda la cuenca hidrográfica, a excepción de los lugares completamente impermeables, que, en función de las condiciones de drenaje (saturación del suelo y relieve), se moja después de cada temporal de lluvia y provoca la escorrentía superficial. La descarga superficial o caudal de escorrentía superficial es el término utilizado para describir este caudal, que se mide en el cauce principal del río.
- 2) Zonas de recarga hídrica subsuperficial: se refiere a las zonas de la cuenca que tienen capas impermeables que permiten el almacenamiento superficial o la capacidad de retención de agua en el suelo, permitiendo que el sistema de drenaje de la red concentre el flujo horizontal del subsuelo aguas abajo. Es el fenómeno de que los flujos continúen dentro de la red hídrica mucho después

de que la lluvia haya cesado, dependiendo del impacto "esponja" del suelo y de los totales de precipitación.

- 3) Zonas de recarga hídrica subterránea: se refiere a las zonas de la cuenca (lugares llanos o cóncavos y rocas permeables) en las que existe un importante flujo de infiltración vertical, que es lo que crea o reabastece los acuíferos. La conectividad entre acuíferos y recarga externa (desde otra cuenca) es un componente clave de esta zonificación.

2.3.7 Factores que determinan la zona de recarga hídrica.

a) Pendiente

Al Saud (2010), como se citó en Sánchez (2017), indica que se sabe que el relieve afecta a la recarga debido a la duración del contacto del agua con la superficie. Cuando el paisaje es llano, el agua cae a la superficie y fluye lentamente, lo que le da más tiempo para filtrarse. Sin embargo, cuando el terreno es accidentado o tiene pendientes elevadas, el agua cae y se desplaza más rápidamente debido a la pendiente, uniéndose más rápidamente al agua de escorrentía.

UNESCO (1986), como se citó en Matus et al. (2009), menciona que el relieve presenta superficies convexas, cóncavas y planas. El agua se desplaza por superficies convexas en direcciones dispersas, por superficies planas e inclinadas en direcciones casi paralelas y por superficies cóncavas en zonas concentradas en el punto más bajo. En consecuencia, se puede concluir que los relieves con grandes elevaciones, pendientes pronunciadas y rápida escorrentía superficial tienen un impacto negativo porque aumentan los procesos de erosión y compactación del suelo, al tiempo que disminuyen la infiltración y la recarga. Por el contrario, las zonas con relieve cóncavo, semiplano y plano permiten que el agua permanezca en contacto con el suelo durante más tiempo, lo que favorece la infiltración y la recarga hídrica.

Al estar estrechamente relacionada con la escorrentía superficial, la pendiente, al igual que el relieve, es un parámetro esencial para el estudio y la identificación de zonas con potencial para la recarga hídrica. Mientras que el agua fluye más lentamente y permanece más tiempo en contacto con el suelo en pendientes moderadas, favoreciendo el proceso de infiltración, las pendientes altas o pronunciadas hacen que aumente la velocidad de escorrentía, alterando las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a la erosión (Matus et al., 2009).

Para determinar la pendiente, se utiliza la Tabla 1:

Tabla 1

Ponderación recarga hídrica según el tipo de pendiente y microrrelieve

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

Nota: Matus et al. (2009)

b) Cobertura vegetal

Cobertura vegetal: Cualquier lugar de la tierra donde hay vegetación, esta es importante para que funcione el ciclo hidrológico (Pérez et al., 2006).

El concepto vincula estrechamente las clases de cobertura a sus atributos físicos, ya que la cobertura se corresponde con la composición material de la Tierra. La respuesta espectral de los distintos tipos de superficie se registra mediante mediciones de sensores remotos, lo que hace que las clases sean razonablemente fáciles de identificar (Sánchez, T. 2017). La cobertura vegetal se puede medir mediante El Índice de Vegetación Diferencial Normalizada NDVI y El Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad NDWI.

- **El Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI):** Es un índice espectral usado en teledetección que permite estimar cuánta vegetación hay, qué tan saludable está y cuán densa es. Se basa en el comportamiento de las plantas sanas, que absorben mucha luz roja para llevar a cabo la fotosíntesis y, al mismo tiempo, reflejan gran parte de la luz del infrarrojo cercano (Tucker, 1979).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

NIR: reflectancia en el infrarrojo cercano (Near Infrared)

RED: reflectancia en el rojo visible

NDVI: índice de vegetación diferencial normalizada.

El resultado varía entre **-1** y **+1**. Valores cercanos a **+1** indican vegetación densa y saludable; valores cercanos a **0** o negativos indican suelo desprovisto.

Tabla 2

Interpretación de valores NDVI

NDVI	Interpretación
0.6 a 1.0	Vegetación densa y saludable
0.3 a 0.6	Vegetación moderada o en crecimiento
0.1 a 0.3	Vegetación escasa o poco vigorosa
0 a 0.1	Suelo desnudo, estrés vegetal
< 0	Agua, nieve, nubes o superficies duras

Nota: Datos tomados de Tucker (1979).

- **El Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad NDWI:** Es un índice obtenido a partir de imágenes satelitales que se usa principalmente para identificar la presencia de agua, ya sea en la vegetación o en cuerpos de agua como ríos y lagos. (McFeeters, 1996)

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad (2)$$

Donde:

GREEN: Banda del verde visible (usualmente banda 3 en Landsat)

NIR: Infrarrojo cercano (usualmente banda 5 en Landsat)

NDWI: El Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad

Tabla 3

Interpretación de valores NDWI

> 0.3	Alta probabilidad de presencia de agua
0 a 0.3	Posible humedad, vegetación densa
< 0	Suelo seco, vegetación escasa, áreas urbanas

Nota: Tomado de McFeeters.(1996).

En cualquier lugar de la Tierra tiene que haber vegetación para que funcione el ciclo hidrológico, esto incluye el almacenamiento de agua, su liberación durante la evapotranspiración y la condensación del punto de rocío, la radiación y el balance energético, y la dinámica del viento (Pérez et al., 2006).

La evaluación de la cobertura vegetal se puede hacer en el campo por medio de un recorrido que nos permita determinar los diferentes usos permanentes del suelo en la zona con potencial de recarga hídrica y los estratos presentes; para ello se hace uso de la clasificación que se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4

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

Cobertura vegetal permanente (porcentaje)	Posibilidad de recarga	Ponderación
>80	Muy alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
<30	Muy baja	1

Nota. Tomado de Matus et al. (2009)

c) Uso de suelo

Se cree que un uso inadecuado del suelo puede reducir la recarga de los acuíferos hasta en un 50%, aumentar la pérdida de suelo por erosión eólica o hídrica e incrementar el riesgo de catástrofes naturales Matus (2007), como se citó en Sánchez (2017), indica que el uso del suelo también permite evaluar cómo afecta una determinada actividad al deterioro, incluida la compactación, la erosión, la contaminación y la reducción de la recarga de agua. En este sentido, es importante precisar los usos que favorecen la infiltración del agua y los que la impiden en función de sus propiedades únicas (**Sánchez, T. 2017**).

Las estimaciones relacionan las variaciones en la vegetación y el uso del suelo con las variaciones en la recarga de las aguas subterráneas. Según Shaban et al. (2006) una baja concentración de sedimentos, una baja turbidez, un bajo contenido de organismos patógenos y un alto contenido de oxígeno disuelto garantizan el agua de las cuencas boscosas (Sánchez, T. 2017).

Es crucial encontrar los usos del suelo de una determinada zona, por ejemplo, en los sistemas agrícolas y silvopastoriles, el uso y la integración de la materia orgánica o las asociaciones de cultivos favorecen a la infiltración del agua debido a sus cualidades inherentes. Algunos tipos de suelo evitan la infiltración del agua, por ello es esencial

reconocer los cultivos que alteran las propiedades del suelo y favorecen la evaporación, la compactación y la escorrentía de aguas superficiales. Ejemplos de estos cultivos son la agricultura intensiva sin esfuerzos de conservación, la ganadería a gran escala, la mano de obra convencional y el uso de maquinaria agrícola (Matus et al., 2009).

Una visita de campo que incluya a los diversos actores locales puede servir para evaluar los usos del suelo y compilar una lista de usos presentes en la posible zona de recarga hídrica (Matus et al., 2009). Las aplicaciones probables para la recarga de agua se categorizan según la siguiente tabla:

Tabla 5

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

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso.	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Nota. Tomado de Matus et al. (2009).

d) Tipo de suelo.

Los tipos de suelo se clasifican en función de su origen: suelos generados a partir de materiales residuales, compuestos en su mayoría por calizas, areniscas y rocas volcánicas con menores cantidades de pizarras, limonitas y esquistos. Los suelos aluviales-coluviales pertenecen a la segunda categoría. Estos suelos se componen principalmente de rocas volcánicas gruesas, como areniscas y calizas, con una pequeña

cantidad de materiales parentales de deposición aluvial-coluvial, como pizarras, limonitas y esquistos (Poma, W. y Alcántara, G. 2011).

Los suelos aluviales, que se componen de una mezcla de depósitos de material detrítico grueso de distintos tipos y depósitos aluviales, son la tercera categoría de suelos. Están formados por los depósitos aluviales que dejan tras de sí los principales ríos de la zona. Estos suelos están dispersos en pequeñas unidades. La cuarta categoría está formada por los suelos de origen fluvioglaciario que se encuentran en llanuras y pampas. Estos suelos se formaron por la deposición de materiales detríticos finos y gruesos con litologías variadas que se originaron en las principales colinas del departamento y dominaron sus principales cuencas, así como en las estribaciones de las principales colinas del departamento. Por último, están los suelos de origen fluvial glaciario y lacustre, que se encuentran en todos los valles interandinos y evolucionaron a partir de depósitos fluviales glaciares y lacustres (Poma, W. y Alcántara, G. 2011).

Es importante determinar el tipo de suelo, dado que el tipo de suelo representa su textura, porosidad, permeabilidad y compactación, que es crucial analizarlo y evaluarlo. La capacidad de infiltración aumenta con la fisuración, la porosidad y el tamaño de las partículas del suelo. En otras palabras, hay buenos niveles de recarga de agua en suelos de textura gruesa, porosos y, por tanto, permeables. Las zonas de recarga de agua deben ser muy permeables para garantizar una elevada capacidad de infiltración. Por el contrario, los suelos arcillosos, pesados, de textura fina y compactados impiden o inhiben la recarga de agua. Dos factores que afectan a la permeabilidad del suelo, la textura y la capacidad de infiltración, deben evaluarse sobre el terreno en colaboración con las partes interesadas locales a fin de identificar posibles zonas para la recarga de agua. La capacidad de recarga hídrica dependiendo los tipos de suelo, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6*Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de suelos*

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h).	Muy alta	5
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25 cm/h).	Alta	4
Suelos franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h).	Moderada	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).	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h).	Muy baja	1

Nota. Tomado de Matus et al. (2009)**e) Tipo de roca**

Debido a su porosidad, permeabilidad y grado de fracturación, las propiedades de las rocas dictan la capacidad de recarga hídrica (Sánchez, T. 2017). Ireson y Butler (2011) citado por Sánchez (2017), indican que, la porosidad de una roca es el porcentaje de su volumen total que no está relleno de materia sólida; el aire o el agua pueden rellenar estos huecos, además, la permeabilidad de la roca y la recarga de agua están relacionadas; las rocas duras con poros pequeños no favorecen la recarga; las rocas blandas o permeables con macroporos, fracturas o fallas favorecen la recarga del acuífero.

El grado de ambigüedad sobre si la recarga es subterránea o subsuperficial puede disminuirse analizando y evaluando la roca. Ciertas regiones, por ejemplo, tienen condiciones climáticas favorables, pendiente, composición del suelo y cubierta vegetal que promueven la recarga de agua; sin embargo, si la roca es impermeable y no está

fracturada, el agua no puede entrar en el acuífero a profundidades mayores. La capacidad del agua para atravesar rocas ígneas y metamórficas fracturadas favorece tanto la recarga subsuperficial como la profunda (Sánchez, T. 2017). Matus (2009) citado por Sánchez (2017) menciona que, por su granulometría y abundancia de poros, el basalto fracturado facilita la recarga.

Tabla 7

Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

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

Nota. Tomado de Matus et al. (2009)

f) Determinación del potencial de recarga hídrica

Matus et al. (2009) indican que el potencial de recarga de agua puede calcularse mediante la fórmula a continuación:

$$ZR = [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0.25(Cve) + 0.13(Us)] \quad \text{Fórmula (3)}$$

Donde:

Pend: Pendiente y microrrelieve.

TS: Tipo de suelo.

TR: Tipo de roca.

CVE: Cobertura vegetal permanente.

US: Usos del suelo.

Estos componentes se combinan a través de la Fórmula (3), que se basa en el modelo analítico de Schosinsky y Losilla, el cual permite calcular la infiltración o precipitación efectiva a partir de datos estadísticos obtenidos de pluviógrafos. Los resultados generados se integran posteriormente en el modelo diseñado por el Fondo de Recuperación y Gestión Ambiental Estratégica (FORGAES) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, el cual utiliza el método RAS, una herramienta desarrollada específicamente para estimar la recarga de aguas subterráneas (Schosinsky & Losilla, 2000, como se citó en Matus et al., 2009).

Tras evaluar las características de la zona considerando las tablas creadas anteriormente, cada resultado de estas se multiplica por el factor correspondiente, y los elementos se suman para determinar el potencial de recarga de agua de una zona determinada. El rango de opciones de recarga de agua a que se refiere este total se describe en la tabla 6. Los pesos proporcionales asignados a cada elemento vienen determinados por su importancia en el proceso de infiltración del agua; en otras palabras, los criterios más significativos son los que más favorecen la penetración del agua en el suelo. Los pesos relativos decididos para la subcuenca se corresponden con los indicadores de la ecuación anterior (Matus et al., 2009).

Calculando la fórmula, de acuerdo con el valor que tome se puede ubicar dentro de los siguientes rangos y con ello determinar el potencial de recarga hídrica.

Tabla 8

Potencial de recarga hídrica.

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4,1 – 5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy baja	1 – 1,99

Nota. Tomado de Matus et al. (2009)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Cartografía: Es la ciencia, arte y conjunto de técnicas que se encarga del estudio y la elaboración de los mapas (Autoridad Nacional de Administración de Tierras, [ANAT] 2015).

Estación meteorológica: Es un conjunto de dispositivos o instrumentos que recopila los datos de diferentes variables atmosféricas como (precipitación, temperatura, humedad relativa, aire, viento, luz entre otras) que son de interés para la meteorología y la climatología (Abío, 2019).

Fuente de agua: Se refiere al agua de origen (como ríos, arroyos, lagunas, quebradas, manantiales y aguas subterráneas) que proporciona agua a los suministros públicos de agua potable y a los pozos artesanales o tubulares (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2024).

HydrAccess: Es un software desarrollado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD, por sus siglas en francés), diseñado para la gestión, tratamiento y análisis de datos hidrometeorológicos. Entre sus principales funciones se encuentran la elaboración de estadísticas climatológicas, el cálculo de balances hídricos, y la estimación

de precipitaciones areales mediante diversos métodos como Thiessen, promedio aritmético e isohietas (HydrAccess; Delclaux et al., 2007).

Infiltración Básica: Se dice que se alcanzó la infiltración básica cuando la velocidad de infiltración se hace constante respecto del tiempo (Orjuela-Matta et al, 2010).

Ladera: Es la inclinación de una montaña, de un monte o de una altura en general, en este sentido, puede decirse que la ladera es uno de los lados de la montaña en cuestión (Pérez y Merino 2022).

Manantial: Es donde el agua brota naturalmente entre las rocas o la tierra, por ende, puede ser temporal o permanente dependiendo a la época del año (Pérez y Merino, 2020).

Potencial Hídrico: es la energía necesaria, por cantidad de agua, para transportar una cantidad infinitesimal de agua desde el subsuelo hasta un depósito de referencia de agua pura libre (Metergroup, 2017).

Pluviógrafo: Un pluviógrafo es un instrumento meteorológico que registra automáticamente la cantidad y la intensidad de la lluvia que cae en un lugar determinado a lo largo del tiempo (Organización Meteorológica Mundial. [OMM] 2012).

Precipitación: Es el proceso mediante el cual el agua, en forma líquida o sólida, cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. Esta incluye fenómenos como la lluvia, la nieve, el granizo y la llovizna, y es un componente esencial del ciclo hidrológico (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2011).

Precipitación areal: Es el valor promedio de la precipitación que ocurre sobre una superficie determinada, calculado a partir de los registros de precipitación obtenidos en diferentes puntos (estaciones) dentro o alrededor del área de estudio (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Quebrada: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (Casaverde, 2011).

Río: Es una corriente de agua que fluye con continuidad por un cauce en la superficie terrestre, puede ser natural o artificial y posee un caudal determinado rara vez es constante a lo largo del año y desemboca en el mar, en un lago o en otro río en cuyo caso se denomina afluente (Real Academia Española, s,f).

2.4.14 Sistemas de Información Geográfica (SIG): Se refiere al conjunto de información con herramientas computacionales, es decir, con programas informáticos. De tal modo que, el SIG es un software determinado que permite a los interesados crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio específico el cual se está analizando (Servicio Geológico Mexicano, [SGM] 2017).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La microcuenca del río Porcón se localiza en la región inter - montañosa, al norte de la Cordillera de los Andes. Está conformada por las subcuencas de los ríos Grande y Porcón, los cuales confluyen al norte de la ciudad de Cajamarca, dando origen al río Mashcón. Este último forma parte de la vertiente del Atlántico, por lo que la microcuenca se clasifica como exorreica. Además, se interconecta con otras cuencas de mayor extensión que desembocan finalmente en el río Amazonas. La superficie total de la microcuenca es de 74.31 km², como se observa en la Figura 3. El punto de aforo empleado para la delimitación del área de estudio se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Ubicación georreferenciada tomado in situ

Punto de Aforo	Este (m.)	Norte (m.)	Cota (msnm.)
Coordenadas U.T.M	776050.544	9209709.066	2677.000

Nota: Punto tomado con GPS garmin en campo. Fuente: Propia

La microcuenca del río Porcón fue georreferenciada mediante el uso de un GPS garmin para el punto emisor y para su procesamiento se utilizó herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), empleando imágenes satelitales y datos cartográficos oficiales ver **(Anexo 1)**. Su delimitación se realizó en función de criterios topográficos, utilizando modelos digitales de elevación (MDE) y considerando el punto de aforo ubicado aguas abajo de la confluencia de los ríos Grande y Porcón. Las coordenadas obtenidas permiten ubicar con precisión el área de estudio dentro del sistema de referencia UTM, zona 17S, datum WGS 84.

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA PORCÓN

La microcuenca del río Porcón al estar ubicada en la Cordillera de los Andes peruanos, lo que le confiere características propias del ecosistema altoandino. Su relieve

es predominantemente montañoso, con pendientes pronunciadas que favorecen la escorrentía superficial y la dinámica rápida del agua, pero para ello lo vamos a clasificar según su geología, uso de suelo, tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente y red hídrica.

3.2.1. Geología

La geología representa un elemento crucial en el análisis de recarga hídrica para la microcuenca del río Porcón (**véase Anexo 6**), ya que los estratos geológicos y su disposición controlan de manera directa los procesos de infiltración, retención y circulación del agua en el subsuelo. La permeabilidad de los materiales geológicos determinada por el tipo de roca, grado de fracturamiento y porosidad condiciona la capacidad del terreno para almacenar y recargar acuíferos, así como para regular el escurrimiento superficial. Las capas más permeables, como areniscas o rocas volcánicas fisuradas, actúan como zonas de recarga, mientras que los estratos impermeables, como lutitas o arcillas, generan acumulación superficial o escorrentía. Además, la disposición estructural de los estratos, ya sea inclinada, plegada o fracturada, influye en la dirección y profundidad del flujo subterráneo. Por tanto, comprender la arquitectura geológica de la microcuenca no solo permite interpretar su dinámica hidrológica, sino que también es clave para la planificación del uso sostenible del agua y la conservación del ecosistema. (INEI, 2013; Rodríguez & Vargas, 2010).

Según el (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2008) mapa (**ver anexo Mapa 6**) tenemos una clasificación estratigráfica el cual lo vamos a describir ya que dentro de la caracterización de la cuenca es muy importante para nuestro estudio.

Tabla 10

Códigos de unidades geológicas de la microcuenca Porcón

Etiqueta	Unidad Estratigráfica	Descripción	Inclinación de Estratos
Ki-ca	Formación Carhuaz	Alternancia de areniscas gris rojizas con lutitas violáceas.	15°–25° NE
Ki-chu	Formación Chulee	Alternancia de calizas nodulares grises y lutitas calcáreas.	12°–20° NE
Ki-f	Formación Farrat	Areniscas cuarzosas blanquecinas intercaladas con limoarcillitas.	10°–18° NE

Ki-i	Formación Inca	Intercalaciones de limoarcillitas rojo amarillentas.	10°–15° NE
Ki-pt	Formación Pariatambo	Intercalación de calizas de grano fino con lutitas negras.	12°–22° NE
Ks-yu	Formación Yumagual	Intercalación de calizas nodulares con lutitas negras.	15°–25° NE
Qh-al	Depósito Aluvial	Depósitos de sedimentos de distintos tamaños en andenes recientes.	Estratos no consolidados, inclinación variable (<10°)
Nm-vh	Volcánico Huambos	Secuencia de rocas piroclásticas.	8°–15° NE
Qh-fl	Depósito Fluvial	Depósitos de sedimentos de grava, arenas y limos en cauces de ríos y quebradas.	Estratos no consolidados, inclinación variable (<8°)

Nota: Codificación de Unidades Geológicas que se procesaron con Qgis 3.42.2. Fuente: Propia.

En la microcuenca del río Porcón se han identificado varias unidades geológicas (ver **anexo Mapa 6**), cuyas características litológicas influyen directamente en su potencial de recarga hídrica. Estas unidades se pueden clasificar en dos grupos: **las más favorables para la infiltración** y almacenamiento de agua subterránea, y aquellas con menor capacidad para dicho proceso. Según el (INGEMMET, 2008), en el primer grupo, destacan los Depósitos Aluviales y Fluviales (Qh–al/Qh–fl), conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados como gravas, arenas y limos. Su alta porosidad y permeabilidad los convierten en reservorios naturales importantes para la recarga directa de acuíferos. Estos depósitos se encuentran en laderas, terrazas y lechos de ríos, donde la infiltración ocurre con mayor facilidad. Otra unidad relevante es la Formación Farrat (Ki–f), compuesta por cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, litologías con buena porosidad intergranular. Estas características, junto con la presencia de estructuras sedimentarias como estratificación cruzada, aumentan la conectividad del sistema poroso y facilitan el paso del agua hacia niveles más profundos. La Formación Carhuaz (Ki–ca)

también se considera importante para la recarga hídrica, ya que presenta una alternancia de areniscas y cuarcitas, que actúan como medios porosos y permeables. Aunque las lutitas intercaladas pueden reducir la capacidad de infiltración en algunos sectores, las facies más gruesas y menos cementadas son altamente favorables. De forma moderada, la Formación Inca (Ki-i) aporta al proceso de recarga, especialmente en aquellas zonas donde predominan las areniscas calcáreas y lechos de cuarcitas. Si bien su espesor no es elevado, sus características texturales permiten una cierta infiltración, principalmente en áreas menos compactadas. En contraste, en el grupo de unidades **con menor importancia hidrogeológica**, se encuentra la Formación Chulec (Ki-Chu), compuesta por calizas arenosas, margas y lutitas calcáreas. Estas litologías, de naturaleza compacta y con baja permeabilidad primaria, limitan significativamente el paso del agua, actuando más como acuitardos que como reservorios. La Formación Pariatambo (Ki-pt), con presencia de facies carbonatadas masivas, también muestra una baja capacidad de infiltración, debido a su estructura homogénea y compactación, lo cual dificulta la recarga natural. Igualmente, la Formación Yumagual (Ks-yu) presenta una secuencia de margas y calizas de color gris parduzco, dispuestas en bancos duros y continuos. Su estructura uniforme y baja porosidad la hacen poco favorable para el almacenamiento o la infiltración del agua. Finalmente, la Formación Huambos (Nm-Vh), de origen volcánico, compuesta por tobas andesíticas y traquíticas con textura porfírica, posee una matriz densa y escasa porosidad. Este tipo de rocas volcánicas consolidadas presenta una permeabilidad muy baja, dificultando casi por completo cualquier proceso de recarga hídrica.

3.2.2 Tipo de Suelo

La microcuenca del río Porcón cuenta con varios tipos de suelo que reflejan las condiciones climáticas, geológicas y del terreno propias de la zona (**ver anexo Mapa 16**). Los suelos más comunes son andosoles y regosoles, típicos de áreas de montaña alta con

actividad volcánica o con materiales recientes que provienen de la erosión y la sedimentación. Estos suelos tienen buena porosidad y retienen bien el agua, lo que facilita la infiltración y ayuda a recargar los acuíferos.

En las partes más altas y con mayor pendiente, los suelos suelen ser menos profundos y la vegetación natural es más densa, mientras que en las zonas bajas y de terreno más plano se observan cultivos y pastoreo, que modifican más el suelo. Esta variedad en el tipo y uso del suelo influye directamente en cómo se mueve el agua, especialmente en la capacidad del suelo para absorber agua y en la cantidad de escorrentía superficial, aspectos importantes para determinar las zonas donde se puede recargar el agua subterránea en la microcuenca.

El suelo es un cuerpo natural tridimensional, independiente y totalmente dinámico. En forma general, se puede decir que el suelo consta de cuatro componentes principales que son: materia mineral, materia orgánica, agua y aire. Estos cuatro componentes se encuentran íntimamente mezclados, de tal manera que su separación es muy difícil (Poma, W. y Alcántara, G. 2011).

Tabla 11

Interpretación de los tipos de suelos

Etiqueta	Nombre	Descripción
H-L	Phaeozem-Leptosol	Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas blancas de grano medio a grueso
J-H	Fluvisol-Phaeozem	Depósitos fluvioaluviales
PA	Paramo Andosol	Altiplanicies intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos
PA	Paramo Andosol	Montañas intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos
PS	Paramosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes

PS-L	Paramosol-Leptosol	Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas
T-L	Andosol-Leptosol	Montañas intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos

Nota. Descripción de los suelos tomada de *Poma y Alcántara (2011)*.

Se ha procesado un mapa general de la microcuenca del río Porcón (**ver anexo Mapa 16**), en el cual, a partir del análisis de las unidades edáficas presentes, se ha determinado que los suelos con mayor aptitud para la recarga hídrica corresponden principalmente a los Andosoles. Estos son suelos de origen volcánico, profundos, con alta porosidad, excelente capacidad de retención de agua y elevada infiltración, lo que los convierte en medios ideales para la recarga de acuíferos. En segundo lugar, se identifican los Páramo Andosol, que comparten características similares a los Andosoles, pero se encuentran asociados a ecosistemas de páramo; estos suelos juegan un rol fundamental en la regulación hídrica y conservación de la humedad en zonas ecológicamente sensibles. Asimismo, los Paramosoles, aunque presentan menor profundidad, poseen una capacidad aceptable de retención hídrica y contribuyen al sostenimiento de la vegetación de páramo, favoreciendo indirectamente la recarga. También se consideró la Asociación Andosol–Leptosol, donde la fracción correspondiente al Andosol aporta condiciones favorables para la infiltración, aunque la presencia de Leptosoles en zonas de mayor pendiente puede restringir dicha capacidad.

En contraste, los suelos considerados menos apropiados para la recarga hídrica incluyen a los Leptosoles, caracterizados por ser someros, pedregosos y con escasa capacidad de retención de humedad, lo que genera alta escorrentía superficial. La unidad Phaeozem–Leptosol, pese a que el Phaeozem posee buenas propiedades físicas y alta fertilidad, ve disminuida su capacidad de infiltración debido a la presencia de Leptosoles, especialmente en terrenos inclinados. Los Fluvisoles, por su parte, aunque presentan buen

drenaje, este puede traducirse en escurrimiento superficial más que en infiltración profunda, dependiendo de su localización topográfica y saturación previa. Finalmente, los Paramosol–Leptosol, afectados por su reducida profundidad efectiva y pendientes acentuadas, presentan limitaciones significativas para favorecer la recarga hídrica.

Según FAO (2006) y Buytaert et al. (2007), los suelos del tipo Andosol y Páramo Andosol son altamente apropiados para la recarga hídrica por su capacidad de retención de humedad, porosidad y estructura volcánica. En contraste, los Leptosoles presentan limitaciones para la infiltración debido a su poca profundidad y pedregosidad (FAO, 2006; IUSS, 2015).

3.2.3 Uso de Suelo

Respecto al uso del suelo, en la microcuenca predominan las actividades agrícolas y ganaderas en pequeña escala, principalmente en andenes y laderas con pendientes moderadas (**ver anexo Mapa 17**). Allí se cultivan productos tradicionales de la región altoandina y se cría ganado menor. También hay áreas cubiertas por pastizales y matorrales naturales, que juegan un papel importante en la regulación del agua y en la protección del suelo (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

3.2.3.1 Caracterización del Uso del suelo según la altitud

-Parte alta

La parte alta de la microcuenca del río Porcón se localiza en las zonas altoandinas de la región Cajamarca, en los Andes del norte del Perú, a altitudes que superan los 3200 m.s.n.m. Esta zona se caracteriza por presentar pendientes pronunciadas, suelos delgados, cobertura vegetal natural (como pajonales y bosques andinos), y presencia de nacientes y manantiales.

Cumple una función esencial en la generación y regulación del recurso hídrico, ya que en esta zona se originan los principales aportes que dan nacimiento al río Porcón, eje central de toda la microcuenca.

-Parte media

La parte media de la microcuenca del río Porcón presenta una pendiente más moderada y concentra diversos afluentes que incrementan el caudal del río principal. Esta zona actúa como un corredor de tránsito hídrico y es donde se intensifica el uso del suelo, especialmente para actividades agropecuarias.

-Parte baja

La zona baja de la microcuenca del río Porcón corresponde a sectores de altitud reducida y pendientes suaves, donde el caudal fluvial alcanza su mayor volumen. Esta área se distingue por una significativa transformación del paisaje natural debido a la expansión de actividades agropecuarias y presencia de infraestructura rural.

Tabla 11 Diferentes usos del suelo según la altitud en la microcuenca.

a) Parte alta de la microcuenca 	Uso de suelo destinado al pastoreo de ganado ovino y camélidos como la vicuña (<i>Vicugna vicugna</i>). La vegetación predominante es el ichu, cuyo nombre científico es <i>Stipa ichu</i>..
---	---

b) Parte media de la microcuenca 	El suelo se utiliza principalmente para la mejora y manejo de pastizales.
c) Parte baja de la microcuenca 	Se realiza el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>), lo que contribuye a reducir la escorrentía superficial y mejorar la infiltración de agua al subsuelo.

Nota: a) Parte alta de la microcuenca b) Parte media de la microcuenca y c) Parte baja de la microcuenca, descripción de según la altitud. Fuente: Propia.

3.2.4 Clima

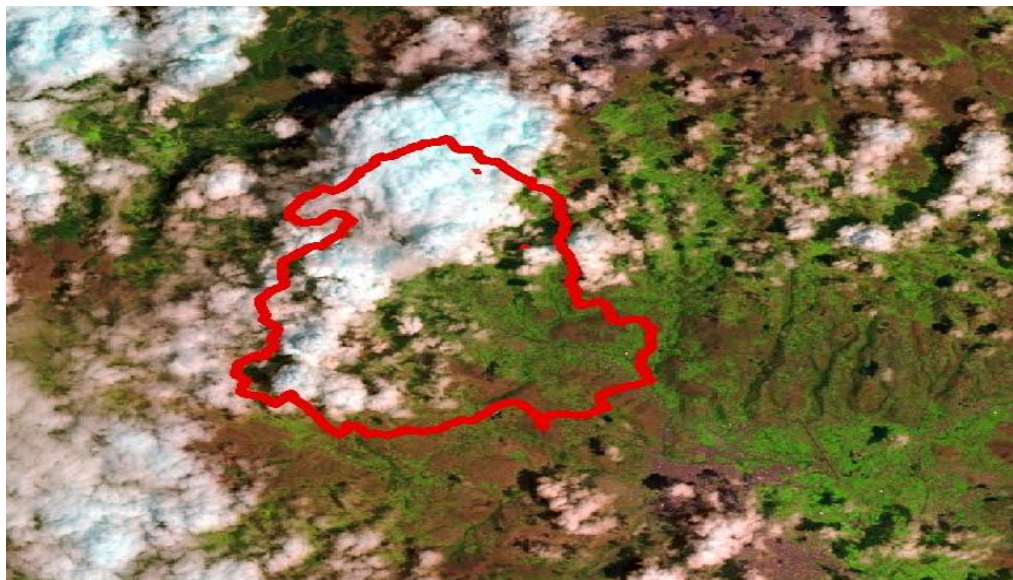
Según Márquez (2010), indica que, el clima, durante la temporada de lluvias, que va de noviembre a marzo, las precipitaciones suelen ser intensas y de tipo torrencial, aunque este patrón ha empezado a cambiar por efecto del calentamiento global. Aun así, es común que llueva en las tardes, mientras que las mañanas son calurosas hasta el mediodía. Entre abril y octubre, predominan los vientos fríos y fuertes, y las temperaturas varían entre los 5 °C durante las madrugadas más frías y hasta los 18 °C en los momentos más cálidos del día. La microcuenca del río Porcón registra una precipitación anual que fluctúa entre los 1203 mm y 1699 mm. En promedio, la velocidad máxima mensual del

viento alcanza los 12.06 m/s, con vientos predominantes provenientes del noreste, este y sureste.

Según Pulgar Vidal (1987), nos dice que la región quechua y Suni de la cordillera de los Andes, donde se ubica gran parte de Cajamarca y sus microcuencas, presenta un clima templado a frío con una fuerte variación térmica diaria, marcada estacionalidad de lluvias, y presencia de heladas en las zonas más altas. Las precipitaciones se concentran entre los meses de noviembre a abril, siendo este periodo crucial para la recarga hídrica natural.

Barry y Chorley (2010), explican que la nubosidad afecta la cantidad de radiación solar que llega a la superficie, modulando las temperaturas diurnas y nocturnas, y que las nubes están estrechamente vinculadas con la formación de precipitaciones, influyendo así en el balance hídrico de las regiones, ver **Figura 3**.

Figura 3 *Distribución espacial de nubosidad en la parte alta de la microcuenca Porcón.*



Nota: Imagen procesada y adaptada para nuestro estudio en el clima. *Fuente:* Elaboración propia con base en datos del U.S. Geological Survey (USGS, diciembre de 2024).

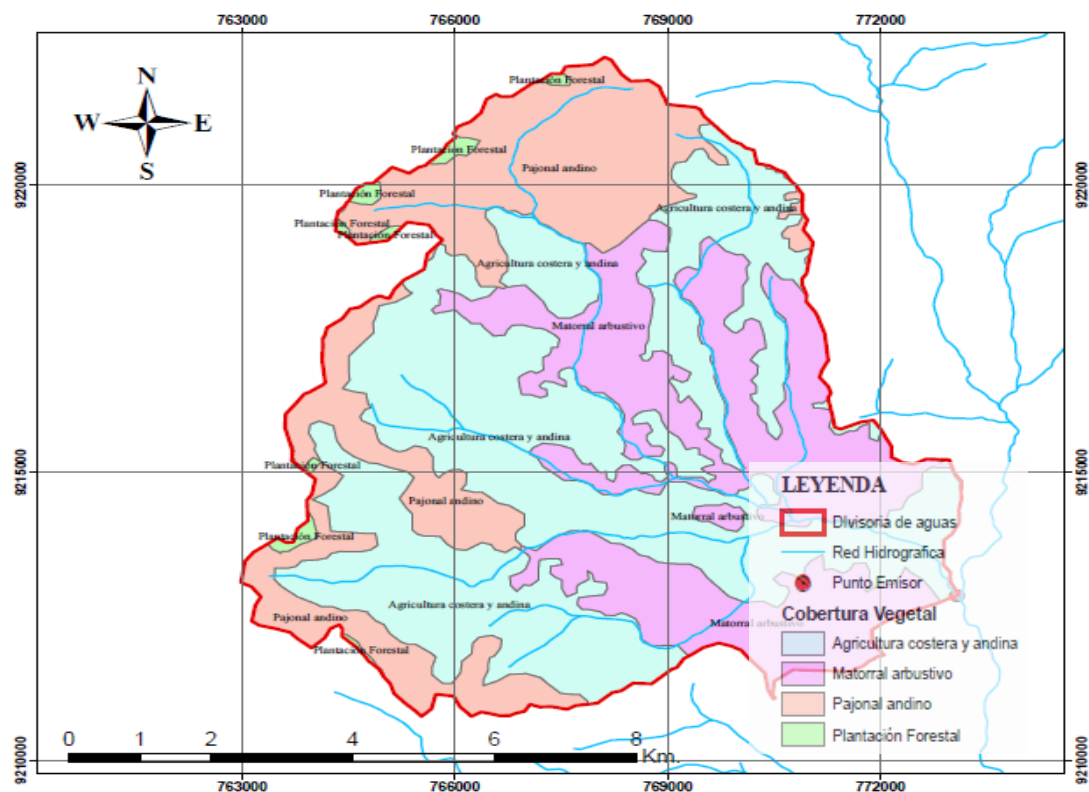
3.2.5 Cobertura vegetal.

Según Ugaz Suárez (2020), La microcuenca del río Porcón, ubicada en la región altoandina del departamento de Cajamarca, presenta una cobertura vegetal predominantemente compuesta por ecosistemas de puna y páramo. Estos ecosistemas incluyen pastizales andinos, matorrales bajos y especies adaptadas a las condiciones climáticas extremas de la zona, como bajas temperaturas y alta radiación solar.

La cobertura vegetal según el análisis de la **figura 4** incluye agricultura costera y andina, donde se cultivan diversos productos adaptados a las condiciones locales; matorral arbustivo, compuesto por arbustos resistentes que ayudan a conservar el suelo; pajonal andino, formado por pastizales típicos de zonas altas; y plantaciones forestales, que contribuyen a la conservación ambiental y al manejo sostenible del agua.

Figura 4

Cobertura Vegetal de la microcuenca Porcón.



Nota: Elaborado con Qgis 3.42.2 donde se puede ver y analizar presencia física y distribución de la vegetación en la microcuenca: Fuente: Propia.

3.2.5.1 Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI).

Los valores obtenidos muestran una variabilidad espacial influenciada por la altitud, el uso del suelo y la cobertura vegetal presente ver anexo (**ver anexo Mapa 5**). En las zonas altas predominan valores moderados a bajos de NDVI, asociados a pajonales andinos y zonas con vegetación dispersa. En cambio, las áreas con plantaciones forestales o agricultura intensiva registran valores más altos, lo que refleja una mayor densidad de vegetación.

3.2.5.2 Índice de la Diferencia Normalizada de Humedad (NDWI).

En la microcuenca del río Porcón, el NDWI (**ver anexo Mapa 17**) se emplea para evaluar la distribución espacial de la humedad en la superficie terrestre, lo cual es fundamental para entender la dinámica hídrica local, especialmente en zonas altoandinas donde la disponibilidad de agua es limitada y variable. Los resultados del análisis NDWI permiten identificar zonas con potencial para la recarga hídrica y áreas que podrían estar sujetas a estrés hídrico.

3.2.6 Red de drenaje Hídrico.

La microcuenca del río Porcón presenta un patrón de drenaje de tipo dendrítico, caracterizado por ramificaciones que se asemejan a la forma de las ramas de un árbol (**ver anexo Mapa 03**). El cauce principal de esta red es el río Porcón, del cual toma su nombre la microcuenca. En su tramo superior, el río Porcón se forma a partir de la quebrada Chilincaga y recibe el aporte de los ríos Quilish, Tual y Hornomayo. A su vez, la quebrada Chilincaga recoge aguas de otras subcuencas como la quebrada Quilish, El Gayuyo, Sin Sin y Hierba Buena. El río Quilish también se alimenta de quebradas menores como Bramadero, Paja Verde, Lirio Zabja y Los Pinos. Por su parte, el río Hornomayo recibe

los caudales del río Porconcillo (Cushunga) y de la quebrada Hornomayo, mientras que el río Porconcillo se origina por la confluencia de las quebradas Totorane y Coñorcucho (Márquez, 2010).

La red de drenaje de la microcuenca incluye varios afluentes menores que convergen en el río Porcón, presentando un régimen hidrológico caracterizado por la estacionalidad de las lluvias, con mayor caudal en los meses de verano. La vegetación predominante corresponde a ecosistemas de puna y páramo, con cobertura que ayuda a regular el ciclo hidrológico y a proteger los suelos contra la erosión (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

3.2.7 Pendiente.

La pendiente de la microcuenca del río Porcón es un factor clave que influye en el comportamiento hidrológico y la erosión del suelo en la región. Las pendientes moderadas a pronunciadas favorecen un escurrimiento superficial rápido, lo que puede incrementar la erosión y afectar la recarga hídrica y la estabilidad ambiental de la microcuenca (González, 2018).

La microcuenca del río Porcón, ubicada en la zona altoandina de Cajamarca, presenta una topografía irregular con pendientes que varían desde suaves hasta muy empinadas. Estas pendientes son el resultado de procesos geológicos y erosivos propios de los Andes peruanos, y juegan un papel clave en la dinámica hídrica y ecológica de la cuenca. En general, las zonas altas presentan pendientes más pronunciadas, lo que favorece la escorrentía superficial y la erosión, mientras que las zonas de menor pendiente, ubicadas en partes medias y bajas, permiten mayor infiltración, contribuyendo así a la recarga hídrica y al equilibrio del ecosistema. Se elaboró un mapa de pendientes de la zona de estudio como se puede ver en el **Anexo Mapa 04**, el cual fue clasificado según la propuesta de Matus (2009), en cinco clases: plana (<6%), moderadamente

ondulada (6–15%), ondulada (15–45%), escarpada (45–65%) y fuertemente escarpada (>65%).

3.3. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.

3.3.1 Equipo de Campo

• Dron modelo Mavic Air 2. 	• Cámara Fotográfica 	• GPS Garmin (Sistema de Posicionamiento Global). 
• Brújula geológica tipo Brunton. 	• Wincha de 5m 	• Nivel de Carpintero. 
• Martillo. 	• Cilindro de Infiltración doble anillo. 	• Cronómetro. 
• Pico. 	• Palana 	• Celular 

3.3.2 Equipo de Gabinete

• Computadora portátil HP Cori i7. 	• Impresora. 
--	---

3.3.3. Materiales

- Imágenes satelitales de la serie Sentinel.
- Libreta de Campo.
- Software Qgis 3.42.2.
- Software Hydracces.
- Word.
- Excel.
- Memoria USB.
- Bolsas plásticas.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio es de enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y aplicado, ya que busca identificar, delimitar y caracterizar las áreas de recarga hídrica dentro del área de estudio, con el objetivo de generar insumos útiles para la gestión sostenible del recurso hídrico.

3.4.1. PROCEDIMIENTO.

La investigación consta de 3 etapas, estas son:

- Etapa 1: Reconocimiento de campo.
- Etapa 2: Gabinete.
- Etapa 3: Validación

Etapas 1: Reconocimiento de campo.

Para la fase previa del estudio, se procedió a delimitar con precisión la microcuenca del río Porcón mediante análisis cartográfico y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta delimitación permitió establecer el ámbito espacial de la investigación, lo cual sirvió como base para la planificación de las actividades de campo.

Una vez definida la zona de estudio, se gestionaron los permisos necesarios ante las autoridades locales y comunales, especialmente en sectores con restricciones de acceso o sensibilidad minera, a fin de garantizar la viabilidad de las visitas y el respeto a los procedimientos normativos y sociales del área de estudio.

Con ello, se diseñó un cronograma de visitas de campo que incluyó campañas de reconocimiento ejecutadas entre junio y setiembre de 2024, así como una salida adicional en febrero de 2025, destinada específicamente a la realización de pruebas de infiltración y vuelos con dron sobre las áreas previamente identificadas como representativas.

Estas actividades permitieron la recolección de datos en campo relacionados con la cobertura vegetal, topografía, las características geológicas, tipo y uso de suelo, así como imágenes aéreas, los cuales fueron posteriormente procesados en gabinete para su análisis e interpretación técnica dentro del marco del estudio.

El análisis espacial se realizó mediante el método de evaluación multicriterio (EMC), aplicado a través del modelo de superposición ponderada (*Weighted Overlay*), el cual consistió en estandarizar variables claves que influyen en la recarga hídrica, tales como la pendiente, el uso del suelo, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el tipo de roca. A cada variable se le asignó un peso relativo con base en revisión bibliográfica especializada y juicio experto, y posteriormente se integraron las capas mediante análisis

raster para generar un mapa final de zonas potenciales de recarga hídrica, centrándonos especialmente en la parte alta de la microcuenca.

Las zonas clasificadas como prioridad para la recarga hídrica, están ubicadas entre los 3500 y 3800 m.s.n.m., corresponden a los siguientes sectores: Centro Poblado Tual (3550 m s.n.m), Centro Poblado Hualtipampa Alto (3596 m.s.n.m), Centro Poblado Porcón Alto (3553 m.s.n.m) y Centro Poblado Uñigán (3596 m.s.n.m). Estos sectores presentan condiciones geomorfológicas y ecológicas favorables para la infiltración y recarga de acuíferos, por lo que constituyen áreas clave para la gestión hídrica de la microcuenca del río Porcón. La identificación precisa de estas zonas resulta fundamental para el diseño de estrategias de conservación, implementación de medidas de manejo sostenible y priorización de inversiones orientadas a garantizar la disponibilidad de agua a largo plazo.

Los sitios seleccionados corresponden principalmente a centros poblados, donde se procederá a validar la metodología propuesta por Matus et al. (2009). Esta validación tiene como objetivo determinar si dichas áreas califican como zonas de recarga hídrica y, en caso afirmativo, establecer el grado de prioridad presentan, de acuerdo con los criterios establecidos en la **Tabla 8**. Para ello, se aplicará la fórmula (3), a la cual se le asignarán valores específicos derivados del trabajo de campo, considerando las siguientes variables: pendiente del terreno, cobertura vegetal, tipo de suelo, uso del suelo y litología (tipo de roca). Estas variables han sido seleccionadas por su relevancia directa en los procesos de infiltración y recarga, y su ponderación se fundamenta en criterios técnicos validados en estudios previos

Etapas 2: Gabinete.

2.1 Procesamiento de información.

En el presente trabajo de gabinete sobre la microcuenca del río Porcón, se llevó a cabo la recopilación, organización y análisis de información secundaria proveniente de fuentes documentales y bases de datos oficiales. Se incorporaron datos cartográficos, imágenes satelitales y antecedentes previos con el fin de caracterizar aspectos geomorfológicos e hidrológicos de la microcuenca para lo cual se hizo su delimitación respectiva como se puede ver en el **anexo Mapa 1**.

La información recolectada fue procesada y organizada utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permitió la generación de mapas temáticos y la realización de análisis espaciales sobre variables como pendiente, cobertura del suelo y zonas potenciales de recarga hídrica. Este procesamiento se realizó con un enfoque técnico riguroso para obtener resultados confiables y útiles para el manejo de la microcuenca.

Para el trabajo de campo, se empleó la aplicación móvil Avenza Maps, la cual permitió una ubicación geoespacial precisa dentro de la microcuenca, especialmente en las zonas altas, gracias a la visualización de archivos GeoPDF y GeoTIFF georreferenciados, previamente procesados en QGIS versión 3.42.2 'Lyon'. Esta herramienta resultó útil al no requerir conexión a internet, facilitando la navegación y la recolección de información en tiempo real.

En cuanto al análisis de la infiltración, se utilizó la tabla de evaluación de capacidad de infiltración del Dr. Carlos Grassi (2014), la cual es ampliamente reconocida por su aplicabilidad en estudios hidrológicos de zonas altoandinas, el método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior.

Para la estimación de la precipitación areal, se identificaron inicialmente las estaciones meteorológicas más próximas a la microcuenca de estudio. Posteriormente, se gestionó la solicitud de datos climáticos al SENAMHI mediante comunicación formal, con el fin de obtener registros de precipitación media mensual y anual. Una vez recibida la información, esta fue depurada, organizada y completada. Finalmente, utilizando el software HydrAccess, se procedió al cálculo de la precipitación media mensual y anual, lo cual permitió analizar el comportamiento pluviométrico de la zona durante los últimos 10 años.

Geología

El procesamiento de los datos geológicos en gabinete se realizó a partir de la recopilación de información secundaria proporcionada por mapas geológicos oficiales del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET (Navarro Colque & Flores, 2007) y estudios técnicos previos, que indican que nuestra zona de estudio está ubicada dentro del cuadrángulo geológico de Cajamarca (15-f), específicamente en el cuadrante IV. Esta información fue digitalizada y georreferenciada utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permitió identificar las principales unidades litológicas presentes en la microcuenca del río Porcón (**ver anexo Mapa 6**). El análisis permitió relacionar las formaciones geológicas con su influencia en la infiltración, escorrentía y procesos de recarga hídrica, aspectos clave para la caracterización hidrogeológica de la zona. Aparte de ello, se consultó a un ingeniero geólogo que apoyó con la descripción de la geología de acuerdo con las evidencias mostradas, lo que permitió dar mayor certeza a lo estudiado.

Uso y Tipo de Suelo

Para el análisis del tipo y uso del suelo en la microcuenca del río Porcón, se inició con un trabajo de gabinete basado en la recopilación, revisión y sistematización

de información secundaria proveniente de fuentes oficiales como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y estudios técnicos previos. Entre estos destaca el trabajo de (Poma, W. y Alcántara, G. 2011), quienes realizaron un estudio regional de suelos y su capacidad de uso mayor para el departamento de Cajamarca, el cual incluye la zona de estudio y proporciona un marco referencial para la caracterización edáfica de la microcuenca y áreas adyacentes.

Adicionalmente, se llevaron a cabo cinco (4) visitas de campo en diferentes sectores de la microcuenca con el fin de validar la información documental y recolectar datos primarios sobre el uso actual del suelo. Durante estas salidas, se recopilaban mapas temáticos y bases de datos relacionados con la clasificación de suelos, los cuales fueron contrastados y actualizados para generar una interpretación más precisa y confiable del área de estudio.

Posteriormente, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se digitalizó, georreferenció y clasificó toda la información disponible, **(ver anexo Mapa 15 y 16)** respectivamente lo que permitió realizar un análisis espacial detallado de toda la microcuenca que evidenció patrones diferenciados de uso del suelo según la zonificación altitudinal de la microcuenca, toda esta información se encuentra representada cartográficamente mediante mapas que previamente fueron procesados en el Qgis 3.42.2. adicional a ello se hizo las pruebas correspondientes en cada zona representativa con pequeñas calicatas para determinar el tipo y uso de suelo de acuerdo a Tabla 5 y Tabla 6, lo cual nos permitió dar un valor ponderado.

Pendiente.

En gabinete, la información recolectada fue procesada mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando el modelo de elevación SRTM

(Misión de Topografía por Radar del Transbordador Espacial) de resolución para generar el mapa de pendientes como se puede ver en el **(Anexo Mapa 04)**. Los valores fueron clasificados en rangos según criterios técnicos establecidos según la metodología que nos estamos guiando que es de Matus, permitiendo un análisis espacial detallado que facilitó la identificación de zonas con mayor o menor inclinación, lo cual es clave para evaluar la dinámica de escorrentía y la recarga hídrica en la zona.

El análisis de pendientes en la microcuenca del río Porcón se llevó a cabo mediante un enfoque combinado que incluyó trabajo de campo individual en cinco zonas representativas. Para ello, se utilizó una brújula tipo Brunton, permitiendo medir in situ la inclinación del terreno en puntos estratégicos de la microcuenca. Estas mediciones sirvieron para validar y complementar la información obtenida a partir de los Modelos Digitales de Elevación (MDE). Posteriormente, con base en la **Tabla 1** de Matus, se asignaron valores ponderados a las pendientes, y mediante la aplicación de la fórmula (3), se obtuvo un valor numérico que permitió determinar el potencial de recarga hídrica de cada zona, de acuerdo con los criterios establecidos en la **Tabla 8**.

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal de la microcuenca del río Porcón fue analizada a nivel general (**ver Figura 5**) y de manera detallada mediante imágenes aéreas obtenidas con un dron Mavic Air 2, operado por un especialista en vuelos aplicados a investigaciones hidrológicas. Las misiones de vuelo fueron planificadas en diferentes fechas, abarcando cinco (5) zonas representativas, seleccionadas en función de condiciones climáticas favorables (cielo despejado). Esta estrategia permitió caracterizar visualmente la distribución espacial de la vegetación según el análisis cuantitativo NDVI (**ver anexos Mapas 9;10; 11; 12 y 13**) y asignar valores ponderados con mayor precisión en la fórmula (3) para la cobertura vegetal de acuerdo a la **Tabla 4**.

En gabinete, las imágenes captadas fueron procesadas mediante los softwares Pix4D Mapper y QGIS, lo que permitió la generación de mapas temáticos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). Estos productos facilitaron la clasificación de los tipos de cobertura vegetal y la estimación de la humedad superficial del suelo, elementos fundamentales para interpretar la dinámica hidrológica superficial en zonas altoandinas. El análisis fue complementado con información secundaria y validación en campo, lo que garantizó una mayor precisión en la identificación y delimitación de zonas con alto potencial de recarga hídrica. Asimismo, la integración de estos índices permitió correlacionar áreas con alta densidad de vegetación y presencia de humedad con condiciones favorables para la infiltración.

Precipitación areal de las cabeceras de cuenca.

Para el análisis de la precipitación areal en las cabeceras de cuenca de la microcuenca del río Porcón, se utilizaron los registros históricos de las estaciones meteorológicas de Augusto Weberbauer (1965-2024), Granja Porcón (1966-2024), San Pablo (1996-2024), Namora (1965-2024) y Magdalena (1994 – 2024) datos que fueron proporcionados por el Senamhi Cajamarca (**véase Anexo, Figuras 24 y 25**)

El procesamiento de esta información se realizó utilizando el software Hydraccess, el cual permitió organizar, depurar y analizar las series temporales de precipitación. A través de esta herramienta se pudo determinar la precipitación areal el cual fue fundamental para comprender el comportamiento hidrometeorológico de la cuenca y determinar el volumen promedio de lluvia que cae sobre toda la superficie de la microcuenca y estimar cuanto puede infiltrarse en el subsuelo para hacernos una idea de cuánto puede alimentar a los acuíferos en las zonas que fueron consideradas como áreas de recarga.

Infiltración

Los datos obtenidos en campo mediante la prueba de infiltración fueron procesados en gabinete para ello se utilizó la tabla del Dr. Grassi Anexo **Tabla 21**, quien desarrolló técnicas para interpretar y modelar la tasa de infiltración del agua en el suelo la misma tabla se utilizó para todas 5 zonas representativas de la microcuenca Porcón. Para ello, se utilizaron los registros cronometrados del descenso del nivel de agua en el Cilindro de doble anillo durante intervalos de tiempo establecidos aparte de ello se elaboraron tablas y gráficos de infiltración acumulada y tasa de infiltración en función del tiempo (**ver Tabla 21 y figura 12**) las cuales son repetitivos para las 4 zonas muestreadas.

Estos datos permitieron calcular la capacidad de infiltración y la infiltración básica para cada zona evaluada.

Etapas 3: Validación.

Para validar las zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Porcón, se aplicó la fórmula propuesta por Matus (2009), la cual integra variables claves como la pendiente (Pend), tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal (Cve) y uso del suelo (Us). Esta fórmula (3) permitió obtener un índice (ZR) que quiere decir **zona de recarga** el cual facilitó la identificación y zonificación precisa de las áreas con mayor potencial de recarga hídrica, aparte de ello se hizo la prueba de infiltración con el cilindro doble anillo ver anexos (**pp. 107-119**).

3.1. Procedimiento para determinar la infiltración

Los pasos a seguir fueron los siguientes.

Instrumento Utilizado: Se emplea un infiltrómetro de doble anillo, que consiste en dos cilindros concéntricos: uno interior y otro exterior ver **Tabla 20 figura “a”**.

Preparación del suelo: Se siguieron los siguientes pasos en las 4 zonas analizadas:

- Con el pico se hizo una excavación de 10 cm en el diámetro del cilindro de infiltración
- Con la palana se procedió a votar la tierra.
- Luego con el nivel de carpintero se procedió a nivelar el cilindro.
- Una vez nivelado se puso un plástico en el cilindro de mayor diámetro y una bolsa en el cilindro interior con agua hasta el nivel específico, esto permite saturar el suelo dentro del área delimitada.
- Posteriormente se saca el plástico y la bolsa y por ende el agua empieza a disminuir, es allí donde una toma las lecturas necesarias para ello hay una tabla, del Dr. Carlos Grassi (**ver anexo Tabla 21**) donde se coloca las mediciones.
- Con el cronómetro se va tomando las medidas en intervalos de tiempo de 5,10, 15, 30 minutos hasta que el suelo se sature uniformemente.

Medición de la Infiltración: Se mide la variación del nivel del agua en el anillo interior a intervalos regulares, la diferencia en el nivel del agua indica la tasa de infiltración del suelo.

Resultados: Los resultados obtenidos en los cuatro centros poblados evaluados se muestran en la **Tabla 14**. A partir de las mediciones realizadas en campo fue posible determinar tanto la capacidad de infiltración como la infiltración básica, expresadas en milímetros por hora (mm/h), unidad que se empleó en este estudio por su mayor precisión. Estas mediciones se llevaron a cabo mediante pruebas **in situ** ejecutadas en puntos representativos véase (**Anexos, pp. 107–119**) donde está la prueba de infiltración para cada zona. Posteriormente, los datos recolectados fueron procesados y sistematizados utilizando una hoja de cálculo en Microsoft Excel, desarrollada y proporcionada por el Dr. Carlos Grassi, especializada para el análisis de ensayos de infiltración.

3.2 Procedimiento para Determinar la Precipitación areal con el Software Hydraccess.

- Instalación y configuración inicial
- Descarga e instala el software Hydraccess desde el sitio oficial del IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo).
- Mediante el Qgis 3.42.0 ver que estaciones intervienen en la zona de estudio para solicitar esos datos de precipitaciones mensuales (mm) al Senamhi para su modelamiento respectivo, véase el *Anexo: Plano 8 y pp_131*.
- Carga de Datos Pluviométricos de las estaciones previamente ordenados y completados por algún método.
- Abre Hydraccess y selecciona la base de datos a utilizar.
- Ingresa o importa las series de precipitación (diaria, mensual o anual) de las estaciones ubicadas dentro o alrededor de la microcuenca.
- Verificamos que las estaciones estén correctamente identificadas con su código, nombre, ubicación y altitud.

c. Ubicación Geográfica de las Estaciones.

Se seleccionaron las estaciones meteorológicas a utilizar en el análisis, siendo estas: Augusto Weberbauer, Granja Porcón, San Pablo, Namora y Magdalena. Los registros correspondientes fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y posteriormente fueron depurados, organizados y completados para su análisis respectivo (**ver Anexo, pp. 132-136**). Asimismo, se precisaron las coordenadas geográficas de cada estación, ya que esta información fue estructurada en una hoja de cálculo para su posterior procesamiento mediante el software HydrAccess.

4. Cálculo de Precipitación Areal

-En el menú de Cálculos hidrológicos → Precipitación Areal, seleccionamos el periodo, las estaciones, el método geoespacial de Krigin, ejecutamos el cálculo (**véase Anexos, pp. 137–141**).

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan e interpretan los resultados obtenidos sobre el comportamiento hídrico en la microcuenca del río Porcón en las cabeceras de cuenca. Se identificaron las zonas con mayor potencial de recarga hídrica, se analizó la precipitación areal, relacionándolas con las condiciones físicas del territorio y se determinó la infiltración en las **cuatro (4)** zonas que se tomaron como muestra representativa de la cuenca. Además, se realizó una comparación con estudios de otros autores para discutir coincidencias o diferencias en los hallazgos. Todo esto permite reconocer áreas clave para proteger el recurso hídrico y plantear recomendaciones que ayuden a manejar la microcuenca de forma más sostenible.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

Como se observa en la **Tabla 12**, se presenta los parámetros morfométricos e hidrológicos, tales como el tipo de cuenca, área, perímetro, longitud, forma y pendiente media, entre otros atributos relevantes. Estos indicadores permiten describir y caracterizar de manera integral la morfología y comportamiento hidrológico de la cuenca. Coincidiendo con (Strahler, 1952), quien señala que el orden de una cuenca se determina por la convergencia de corrientes de igual jerarquía. En este caso, la cuenca analizada alcanza un **tercer orden**, ya que en ella confluyen dos cauces de segundo orden, los cuales, a su vez, se originan por la unión de corrientes de primer orden. Este análisis se realizó a partir del mapeo detallado de la red de drenaje utilizando imágenes satelitales y cartografía topográfica a escala 1:50000. Además, diversas investigaciones han resaltado la relevancia de los parámetros morfométricos en la evaluación de zonas de cabecera de cuenca. En ese sentido, Alcántara Membrillo (2015) llevó a cabo un estudio hidromorfológico en la microcuenca Puyllucana (Cajamarca), concluyendo que cuencas

con morfología alargada y clasificación de tercer orden presentan pendientes medias y formas que inducen una respuesta hidrológica intermedia, análisis sustentado en la interpretación de la red de drenaje y la configuración del relieve. Este enfoque resulta pertinente para el presente estudio, cuya cuenca comparte similares características morfométricas, como forma, área y pendiente media, derivadas del uso de cartografía topográfica y herramientas de SIG.

De manera complementaria, del Águila y Mejía (2021), evaluaron cuencas altoandinas peruanas mediante técnicas de geoprocesamiento, determinando que las cuencas de tercer orden, presentan una menor escorrentía superficial y una mayor capacidad de infiltración, condiciones propicias para los procesos de recarga hídrica.

Tabla 12

Parámetros de la microcuenca Porcón

Parámetros de la microcuenca Porcón		
Parámetro	Valor	Unidades
Área de la cuenca	74.31	Km ²
Perímetro de la cuenca	43.03	Km
Longitud del cauce principal	13.86	Km
Pendiente del cauce principal	24.3	%
Pendiente media de la cuenca	28.05%	%
Altitud media de la cuenca	3450	m.s.n.m
Cota mayor de la cuenca	3861.67	m.s.n.m
Cota menor de la cuenca	2773.38	m.s.n.m
Cota mayor del río	3668	m.s.n.m
Cota menor del río	2775	m.s.n.m
Coordenada x del centroide	767954	m
Coordenada y del centroide	9215840	m
Longitud total de cursos	53.75	Km
Número de cursos	25	nº

Nota: Características morfométricas e hidrológicas de la microcuenca en estudio. Fuente:

Elaboración propia.

4.2 IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

La selección de los puntos de muestreo se realizó considerando la distribución espacial de las unidades geológicas presentes en la parte alta de la microcuenca del río Porcón y su influencia directa en los procesos de recarga hídrica. Se priorizaron áreas representativas de las principales formaciones identificadas (Carhuaz, Chulee, Farrat, Inca, Pariatambo, Yumagual, depósitos aluviales, depósitos fluviales y volcánico Huambos), (**ver anexo Mapa 6**); de manera que cada punto capturara las características litológicas y texturales dominantes.

Asimismo, se tuvo en cuenta la permeabilidad y porosidad asociada a cada litología: formaciones con areniscas cuarzosas y calizas fisuradas presentan mayor capacidad de infiltración, mientras que las lutitas y limoarcillitas actúan como horizontes menos permeables, controlando el flujo subterráneo.

Otro criterio fue la inclinación y orientación de los estratos (predominantemente entre 10° y 25° NE), ya que esta determina la dirección preferente de flujo de agua en el subsuelo y la posible conexión entre zonas de recarga y descarga.

Finalmente, la ubicación de los puntos también respondió a la necesidad de muestrear en diferentes **contextos geomorfológicos** (cabeceras de cuenca, laderas, fondos de valle y zonas de depósitos recientes), con el fin de integrar tanto materiales consolidados como no consolidados, evaluando así su papel en la dinámica hídrica de la microcuenca.

Según Molina et al. (2010), las zonas de cabecera ubicadas sobre formaciones volcánico-sedimentarias fracturadas pueden funcionar como verdaderos reservorios naturales de agua, incrementando notablemente su potencial de recarga.

A medida que se desciende hacia las zonas medias y bajas de la microcuenca del río Porcón, se observan depósitos cuaternarios recientes, como los aluviales (Qh-al) y fluviolacustres (Qh-fl), que predominan en los fondos de valle. Estos materiales poseen una alta porosidad y permeabilidad, lo que los convierte en medios geológicos eficaces para la infiltración. Custodio y Llamas (2002) sostienen que, aunque no todas las zonas de cabecera son óptimas para la recarga, los depósitos cuaternarios sí presentan condiciones excepcionales para permitir el paso del agua hacia los acuíferos, debido a su textura granulométrica suelta y la interconexión de sus poros.

Sin embargo, la geología no actúa de forma aislada en la delimitación de zonas de recarga. Montoya y Salazar (2015) proponen un enfoque integral que considera variables complementarias como la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el uso del suelo y la precipitación. Estas variables, combinadas mediante técnicas de análisis espacial y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten definir con mayor precisión y funcionalidad las zonas potenciales de recarga hídrica, al integrar factores biofísicos, climáticos y geológicos.

En conjunto, los resultados del análisis geológico evidencian que las formaciones Inca, Carhuaz y Farrat, junto con los depósitos Qh-al y Qh-fl, conforman unidades geológicas estratégicas para los procesos de recarga en la microcuenca del río Porcón. Su importancia radica en propiedades hidrogeológicas como el fracturamiento, la porosidad efectiva y la permeabilidad, que favorecen la infiltración del agua hacia los sistemas acuíferos. En concordancia con lo señalado por Foster y Chilton (2003), la identificación de estas unidades constituye un insumo técnico fundamental para el diseño de estrategias sostenibles de protección y gestión de recursos hídricos en zonas de montaña, particularmente en el contexto de planificación territorial y conservación hídrica de las cabeceras de cuenca.

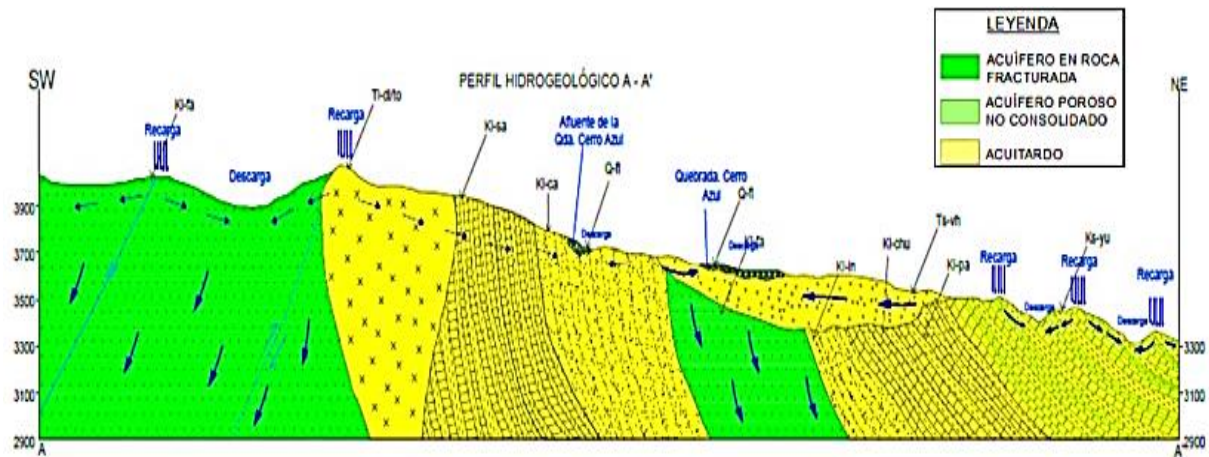
4.3 IDENTIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS ZONAS DE CABECERA DE CUENCA DE LA MICROCUENCA PORCÓN

La microcuenca del río Porcón evidencia condiciones hidrogeológicas propicias para los procesos de recarga hídrica, particularmente en su zona de cabecera, como resultado de un análisis integrado que considera las unidades geológicas, la litología, la estructura, la morfología y las propiedades superficiales del terreno. En el sector alto de la cuenca se han identificado acuíferos clasificados como acuitardos. Según lo expuesto por Custodio y Llamas (1996), estos están formados por materiales de baja permeabilidad, como arcillas o limos compactos, los cuales restringen el movimiento del agua subterránea debido a una limitada conectividad entre poros. Esto les permite almacenar agua, aunque dificultan su flujo libre. Para una mejor comprensión, se analiza un mapa de dirección de flujo (**ver anexo Mapa 14**), generado a partir de un modelo digital de elevación, el cual representa gráficamente el sentido del flujo superficial en la microcuenca. Cada celda del mapa indica la dirección hacia donde fluye el agua, basada en la pendiente del terreno, utilizando códigos numéricos (1 a 128) que corresponden a las ocho posibles direcciones del escurrimiento. Este mapa permite identificar las trayectorias del flujo hacia los cauces principales y zonas de acumulación, y proporciona una visión clara del comportamiento del agua dentro de la microcuenca. Este comportamiento evidencia que los acuitardos actúan como barreras al flujo vertical, reduciendo la velocidad de recarga hídrica y favoreciendo el flujo lateral o el almacenamiento temporal en superficie. Adicionalmente, Freeze y Cherry (1979) destacan que los acuitardos porosos no consolidados, como arcillas y limos no compactados, presentan poros mal conectados, lo cual ralentiza la infiltración o retiene el agua, funcionando como filtros naturales o zonas de almacenamiento transitorio. En este contexto, los acuitardos de origen volcánico-sedimentario, que presentan propiedades

mixtas de materiales sedimentarios y características volcánicas particulares, también desempeñan un rol importante en la dinámica hidrogeológica de la microcuenca. La composición heterogénea y la estructura de estos acuitardos volcánicos determinan una permeabilidad variable, influyendo en la capacidad de recarga y almacenamiento del agua subterránea; su presencia puede actuar como barrera parcial al flujo vertical, al igual que los acuitardos sedimentarios, aunque podrían permitir ciertos flujos preferenciales según su nivel de fracturación y la porosidad secundaria existente. En contraposición, los acuíferos fisurados sedimentarios descritos por Custodio y Llamas (1996) se caracterizan por un flujo subterráneo que ocurre principalmente a través de fracturas, más que poros intergranulares, lo que puede conferirles una alta transmisividad local cuando las fisuras se encuentran bien conectadas, favoreciendo una rápida infiltración en las zonas de recarga. No obstante, esta elevada conectividad también incrementa su susceptibilidad a la contaminación superficial, como lo advierten Freeze y Cherry (1979). De este modo, la dinámica hidrogeológica de la microcuenca del río Porcón se configura por la interacción entre distintos tipos de acuíferos y acuitardos. Los acuitardos, tanto de origen sedimentario como volcánico, cumplen funciones reguladoras del flujo y almacenamiento de agua, mientras que los acuíferos fisurados facilitan una recarga más eficiente en áreas fracturadas. Esta interacción da lugar a un sistema hidrogeológico complejo, cuyo entendimiento es esencial para formular estrategias de manejo y conservación del recurso hídrico, que aseguren su disponibilidad futura, reduzcan los riesgos de contaminación y fortalezcan la resiliencia ecosistémica frente al cambio climático y las presiones antrópicas en la región.

Figura 5

Perfil Hidrogeológico A – A'



Nota: Adaptado de *Estudio hidrogeológico de la microcuenca San Cirilo, Cajamarca – Perú* (p. 4), por Z. Quispe Mamani & M. López Becerra, 2014. Copyright 2014 por Sociedad Geológica del Perú.

Figura 6

Clasificación hidrogeológica de las unidades litológicas.

Unidades litológicas	Simbolo	Descripción	Espesor	Clasificación Hidrogeológica
Depósitos cuaternarios	Qh-al Qp-fg	Depósitos morrénicos, fluvio-glaciares y aluviales conformado por gravas y bloques con matriz arenosa.	25 – 40m	Acuífero poroso no consolidado
Rocas intrusivas	TI-di/to	Cuerpos intrusivos de dioritas y granodioritas alteradas y frescas que intruyen a las calizas y a las cuarcitas.	variable	Acuitardo
Volcánico Huambos	Ts-vh	Depósitos piro clásticos del tipo pómez y cenizas, con textura porfirítica, tiene como elementos Pómez, cristales y fragmentos líticos.	400m.	Acuitardo
Formación Yumagual	Ks-yu	secuencia de margas y calizas gris parduzcas	700m	Acuitardo
Formación Inca	Ki-in	Areniscas calcáreas y lutitas con intercalación de margas de origen marino.	100m	Acuitardo
Formación Farrát	Ki-fa	Cuarcitas y areniscas cuarzosas, con laminación cruzada de origen fluvial y deltaico altamente fracturada y plegada.	500m	Acuífero en roca fracturada
Formación Carhuáz	Ki-ca	Lutitas areniscas y cuarcitas de origen fluvial/deltaico, bien estratificadas con capas delgadas	200-400m	Acuitardo
Formación Santa	Ki-sa	Lutitas grises, calizas y margas de origen marino y algo de areniscas litorales	200m	Acuitardo

Nota: Adaptado de una tabla elaborada originalmente por Fluquer, y modificada por Z. Quispe Mamani & M. López Becerra (2014, p. 4), en *Estudio hidrogeológico de la microcuenca San Cirilo, Cajamarca – Perú*. Copyright 2014 por Sociedad Geológica del Perú.

En la microcuenca del río Porcón se identifican principalmente tres tipos de unidades hidrogeológicas que condicionan el almacenamiento y flujo del agua subterránea, aparte se identifican principalmente cuatro tipos de unidades hidrogeológicas **(ver anexo Mapa 18)** que condicionan el almacenamiento y flujo del agua subterránea: acuitardos sedimentarios estos están formados por materiales como arcillas o limos compactos con baja permeabilidad, limitan el movimiento del agua subterránea y actúan como barreras al flujo vertical, favoreciendo el almacenamiento temporal y flujos laterales: acuitardos volcánicos sedimentarios, estos están compuestos por materiales de origen volcánico con características heterogéneas, presentan permeabilidad variable y funcionan como barreras parciales al flujo de agua, condicionando la recarga y almacenamiento: **acuíferos porosos no consolidados**, estos están constituidos por limos y arcillas no compactadas que poseen poros poco conectados, lo que provoca una infiltración lenta o retención del agua, funcionando como filtros naturales o zonas de almacenamiento temporal antes de que el agua alcance formaciones más permeables, **acuíferos fisurados sedimentarios**: Donde el flujo subterráneo ocurre principalmente a través de fracturas o fisuras bien conectadas, permitiendo una rápida infiltración y alta transmisividad local, aunque con mayor vulnerabilidad a la contaminación superficial. Estas unidades hidrogeológicas interactúan para definir la dinámica del agua subterránea en la microcuenca y son esenciales para su gestión sostenible. Según Custodio y Llamas (1996), este tipo de sistemas puede presentar niveles freáticos someros y una respuesta rápida a eventos de recarga por precipitación, condiciones observables en varios sectores bajos de la microcuenca Porcón. Asimismo, se reconocen unidades litológicas que funcionan como acuitardos, principalmente formaciones compuestas por lutitas, margas y rocas compactas con bajo grado de fracturamiento, como las formaciones Inca, Santa y Yumagual. **Estas capas poseen baja permeabilidad**, dificultando el flujo vertical del

agua subterránea y actuando como separadores hidráulicos entre acuíferos superiores e inferiores. Tal como señalan Freeze y Cherry (1979), los acuitardos desempeñan un rol crucial en la regulación de la dinámica vertical del agua subterránea, por otro lado, en la zona de estudio se ha identificado, las formaciones cuarcíticas y areniscas intensamente fracturadas, como la Formación Fárrat en la cuenca alta, se comportan como acuíferos en roca fracturada, (**ver Anexo Mapa 6**). Estos sistemas se caracterizan por permitir el movimiento del agua a través de fracturas, fallas y planos de estratificación, ya que la porosidad intergranular en estas litologías es prácticamente nula. De acuerdo con Doménico y Schwartz (1998), el comportamiento hidráulico de estos acuíferos depende del grado de fracturamiento y de la interconexión entre las fisuras, lo que explica su naturaleza altamente heterogénea, observada en zonas elevadas de la microcuenca donde las rocas expuestas presentan intensa tectonización.

4.4 DETERMINACIÓN DE LAS PENDIENTES DE LADERAS DE LAS ZONAS ALTAS DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

La pendiente del terreno es un factor clave en la caracterización morfológica de nuestra microcuenca, si bien es cierto hicimos un mapa de pendientes de toda la microcuenca Porcón (**ver anexo Mapa 4**), el cual lo clasifica Matus según los colores las zonas de color verde son las que tienen muy alto porcentaje de recarga hídrica ya que la pendiente es <6%, las zonas de color verde limón tienen alta posibilidad de recarga hídrica ya que las pendientes están comprendidas entre (6-15)% y las zonas de color amarillo una moderada posibilidad de recarga hídrica (15-45)%. Pero luego tuvimos que determinar la pendiente en las cuatro (4) zonas representativas in situ, ya que influye directamente en procesos hidrológicos como la escorrentía superficial, la susceptibilidad a la erosión, la infiltración, que por ende influye en las zonas de recarga hídrica. En este estudio, se procedió a determinar las pendientes de las laderas ubicadas en las zonas altas

de la microcuenca del río Porcón, utilizando una brújula tipo Brunton por facilidad ya que era fácil de llevar por esos terrenos agrestes.

Tabla 13

Pendientes de las 4 zonas representativas

Zonas de Recarga Hídrica	Pend (%)	Clasificación
Pendiente C.P Tual	25%	Pendiente Moderada
Pendiente C.P Chilimpampa Alto	45%	Pendiente Baja
Pendiente C.P Porcón Alto	30%	Pendiente Moderada
Pendiente C.P Uñigán	15%	Pendiente Alta

Nota: La clasificación de esta tabla es según Matus. Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la mayoría de las zonas presentan pendientes moderadas, como es el caso de C.P Tual (25%), y C.P Porcón Alto (30%). Este rango de pendiente, si bien permite cierta infiltración, también implica un riesgo moderado de escorrentía, sobre todo en eventos de lluvia intensa, lo que podría disminuir la eficiencia de la recarga si no existen coberturas vegetales adecuadas.

Por otro lado, el sector de C.P Chilimpampa Alto, con una pendiente del 45%, fue clasificado como de pendiente baja, lo cual resulta contradictorio, ya que una pendiente de ese valor generalmente corresponde a una pendiente fuerte o muy fuerte. Esto sugiere un posible error en la clasificación que debe corregirse, ya que dicho grado de inclinación puede limitar significativamente la infiltración y aumentar la erosión si no se implementan medidas de conservación.

En contraste, C.P Uñigán presenta una pendiente del 15%, clasificada como pendiente alta, lo cual también parece inconsistente, dado que una pendiente de 15% usualmente se considera suave a moderada. Esta clasificación debería revisarse para asegurar coherencia con los rangos técnicos establecidos.

En términos generales, las pendientes moderadas dominan las zonas de recarga hídrica analizadas, lo cual es favorable si se cuenta con coberturas naturales o intervenidas (como plantaciones forestales o pastos mejorados) que favorezcan la infiltración para las zonas evaluadas.

Diversos estudios coinciden en que la pendiente del terreno constituye un factor geomorfológico determinante en los procesos de recarga hídrica, ya que afecta directamente la capacidad de infiltración del agua en el suelo y la generación de escorrentía superficial. De acuerdo con Custodio y Llamas (2001), las zonas con pendientes suaves a moderadas son las más adecuadas para la recarga natural, debido a que el agua tiene un mayor tiempo de contacto con el suelo, lo que favorece su infiltración hacia los acuíferos subyacentes. En cambio, en terrenos muy inclinados, el agua tiende a escurrir con rapidez, reduciendo las posibilidades de infiltración efectiva.

Complementando esta visión, según Foster et al. (2002), las características topográficas, especialmente la pendiente, deben ser consideradas junto con otros factores como el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo para identificar áreas potenciales de recarga. En este sentido, zonas con pendientes superiores al 30% requieren un tratamiento especial, ya que presentan mayor riesgo de erosión y pérdida de agua por escorrentía, a menos que estén protegidas por coberturas vegetales permanentes.

Por su parte, Gómez-Baggethun et al. (2010) destacan que, en el contexto del manejo sostenible de cuencas, la clasificación y zonificación de pendientes permite establecer prioridades de conservación y reforestación, especialmente en laderas medias y altas. Estos autores enfatizan que la restauración ecológica en zonas de pendiente moderada contribuye no solo a la recarga hídrica, sino también a la protección de los servicios ecosistémicos que estas áreas proveen, como el control de sedimentos y la regulación del ciclo hídrico.

En base a lo anterior, es evidente que una adecuada evaluación de pendientes, como la realizada en esta tesis, constituye una herramienta esencial para la planificación hídrica y ambiental en microcuencas andinas como la del río Porcón. No obstante, se requiere complementar este análisis con información edáfica, climática y de uso del suelo para una caracterización integral de las zonas de recarga.

4.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADA (NDVI)

Como es sabido el NDVI nos indica el estado y densidad de la vegetación; valores altos reflejan vegetación sana y abundante, mientras que valores bajos indican poca o nula cobertura vegetal, y según lo procesado en gabinete tenemos un valor de 0.47 (**ver Anexo Mapa 05**) en la leyenda, allí se puede visualizar el mapa de Cobertura Vegetal NDVI lo cual nos indica que nuestra zona de estudio tiene una vegetación moderada o en crecimiento según la tabla 2, y eso es común en zonas con cobertura vegetal activa, como pastizales o cultivos en crecimiento lo cual es un buen indicio para poder identificar con claridad las zonas de recarga hídrica. Según Tucker (1979), quien desarrolló originalmente el NDVI, este índice se basa en la reflectancia diferencial entre las bandas del rojo y el infrarrojo cercano, siendo un indicador confiable del estado de la vegetación. Por su parte, Huete et al. (2002) enfatizan que el NDVI permite monitorear cambios estacionales y espaciales en la cobertura vegetal, siendo útil en contextos como la microcuenca Porcón donde hay variación de usos del suelo. Además, según Pettorelli et al. (2005), el NDVI ha sido aplicado con éxito en estudios ecológicos y de conservación, lo que respalda su utilidad para evaluar la salud ecológica de sistemas montañosos andinos como el Porcón.

Estos aportes teóricos y metodológicos permitieron realizar una evaluación precisa del estado de la vegetación en la microcuenca, utilizando imágenes aéreas

procesadas con software especializado y generando mapas temáticos que fueron clave para la interpretación espacial de la cobertura vegetal.

4.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA DIFERENCIA NORMALIZADA DE HUMEDAD (NDWI)

El Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDWI) se ha consolidado como una herramienta esencial en estudios de teledetección aplicados a la gestión de recursos hídricos y al monitoreo ambiental, debido a su capacidad para detectar zonas con presencia de humedad superficial y cuerpos de agua. En el contexto de la microcuenca del río Porcón, su implementación ha permitido identificar áreas con valores cercanos a 0.4 (**ver anexo Mapa 17**), lo que indica una cobertura vegetal densa y saludable, típica de ecosistemas bien conservados como bosques nativos o cultivos con riego activo, así como de zonas que han recibido precipitaciones recientes. Esta condición no solo refleja una buena hidratación de la vegetación, sino que también implica un estado favorable del suelo para la infiltración del agua, promoviendo procesos de recarga hídrica natural hacia los acuíferos subyacentes.

La relevancia del NDWI se fundamenta en los aportes de Gao (1996), quien desarrolló este índice al combinar la sensibilidad espectral del infrarrojo cercano (NIR) con la del infrarrojo de onda corta (SWIR), generando un indicador eficaz para estimar la humedad contenida en la vegetación. Esta formulación ha sido especialmente útil en la diferenciación de áreas con distinta disponibilidad hídrica, facilitando la evaluación de la condición fisiológica de la cobertura vegetal. Por su parte, McFeeters (1996) propuso inicialmente el NDWI como un método para realzar la presencia de cuerpos de agua en imágenes satelitales, reduciendo el ruido causado por suelos secos y vegetación, lo cual resulta particularmente beneficioso en zonas altoandinas como Porcón, donde la cobertura vegetal y las condiciones edáficas presentan una gran heterogeneidad.

Posteriormente, Xu (2006), planteó una modificación del índice original para mejorar su sensibilidad en contextos complejos, como los sistemas montañosos, donde las variaciones topográficas afectan significativamente la reflectancia del agua y otros elementos superficiales.

En este sentido, la aplicación del NDWI en la presente investigación ha demostrado su eficacia para delimitar zonas con mayor retención hídrica y potencial para la recarga de acuíferos. La vegetación densa asociada a valores positivos de NDWI no solo contribuye a la infiltración del agua en el perfil del suelo, sino que también protege contra la erosión, reduce la escorrentía superficial y favorece la regulación del ciclo hidrológico. Estas áreas, además, suelen coincidir con ecosistemas de alta biodiversidad y resiliencia ecológica, lo que refuerza su importancia estratégica para la conservación ambiental y la planificación del recurso hídrico en microcuencas de montaña.

Por tanto, el NDWI, respaldado por los enfoques de Gao (1996), McFeeters (1996) y Xu (2006), se presenta como una herramienta robusta para la caracterización espacial de zonas clave en la gestión integrada del agua, permitiendo tomar decisiones informadas en torno a la conservación de áreas críticas y a la identificación de sectores prioritarios para el manejo sostenible del recurso hídrico en la microcuenca del río Porcón.

4.7 DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN AREAL DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

La estimación de la precipitación areal en la parte alta de la microcuenca del río Porcón es fundamental para comprender la dinámica hidrológica y los procesos de recarga hídrica que se desarrollan en esta zona. Para tal fin, se empleó el software **Hydraccess**, dada su capacidad para procesar series hidrometeorológicas y aplicar métodos de interpolación espacial. En regiones de montaña, donde las precipitaciones presentan una

alta variabilidad espacial y temporal, su adecuada representación es clave para una evaluación precisa del recurso hídrico y una gestión eficiente. Según lo señalado por Chow, Maidment y Mays (1994), la precipitación areal puede determinarse mediante métodos como los polígonos de Thiessen, isoyetas o el método geoestadístico de Kriging, siendo este último el más avanzado por su capacidad de considerar la correlación espacial entre datos, lo cual incrementa la confiabilidad de los resultados. En el presente estudio, la estimación de la precipitación promedio mediante Kriging aplicado con Hydraccess arrojó un valor de **90.37 mm/mes** y **994.1 mm/año** valores promedios de los últimos 10 años ver **Anexo Pág. 137-141** estos resultados reflejan una precipitación media anual adecuada para favorecer procesos de recarga hídrica en la microcuenca. Esta metodología permite capturar con mayor precisión la variabilidad altitudinal, alineándose con lo expuesto por Poveda et al. (2006), quienes destacan que en zonas andinas la elevación y la topografía inciden fuertemente en los patrones de precipitación. En consecuencia, la determinación de la precipitación areal en esta sección de la cuenca no solo permite caracterizar los aportes hídricos efectivos, sino también identificar sectores con mayor potencial de recarga, constituyendo un insumo clave para una planificación hidrológica sostenible.

4.8. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS ZONAS REPRESENTATIVAS DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

Antes de evaluar la dinámica hídrica subterránea, es fundamental analizar la **capacidad de infiltración** en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, ya que esta zona cumple un rol clave en los procesos de recarga hídrica.

Tabla 14*Resultados de capacidad de infiltración e infiltración básica*

ZONAS EVALUADAS	Capacidad de Infiltración (mm/h)	Infiltración Básica (mm/h)
Tual	10.40	6.12
Chilimpampa Alto	9.69	5.70
Porcón Alto	6.90	4.06
Uñigán	7.00	4.12
Promedio	8.49	5.00

Nota: Estos datos se obtuvieron en campo haciendo la prueba de infiltración con el cilindro de doble anillo. Fuente: Propia.

Los resultados evidencian que la capacidad de infiltración promedio estimada en la zona de estudio fue de **8.49 mm/h**, mientras que la infiltración básica alcanzó un valor medio de **5 mm/h**. Estos valores se encuentran dentro de rangos considerados aceptables para suelos con cobertura vegetal natural o intervenida de forma moderada

En contraste, **Porcón Alto** y **Uñigán** presentan valores menores, inferiores a 7 mm/h, lo que podría reflejar una mayor compactación del suelo, menor cobertura vegetal o un uso intensivo del terreno, factores que limitan el ingreso del agua al perfil edáfico.

Estos valores se encuentran dentro del rango de moderada a buena permeabilidad del suelo. De acuerdo con Bouwer (1986), valores superiores a 6 mm/h indican un suelo con buena estructura porosa y mínima compactación superficial, lo que favorece la recarga hídrica.

Diversos estudios en el ámbito nacional han demostrado que la **capacidad de infiltración** y la **infiltración básica** son parámetros fundamentales para estimar el potencial de recarga hídrica en microcuencas altoandinas. Según Ticse Otárola et al. (2018), la infiltración básica, al representar la tasa constante que se alcanza tras un periodo de saturación, es determinante para calcular el volumen de agua que realmente logra ingresar

al subsuelo y alimentar los acuíferos. Esta tasa se relaciona directamente con la eficiencia del proceso de recarga, especialmente en suelos con cobertura vegetal natural o manejada.

4.9 VALIDACIÓN LAS ZONAS DE RECARGA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA PORCÓN.

Para la Validación se utilizó la siguiente fórmula donde vemos que tiene valores constantes y cinco variables las cuales han sido medidas en campo.

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

Donde: ZR = Zona de recarga.

Pend = Pendiente

Ts = Tipo de Suelo

Tr= Tipo de Roca

Cv = Cobertura Vegetal

Us = Uso de suelo

Tabla 15

Ponderación de las 5 variables para cada zona representativa

Centro Poblado	Pendiente	Tipo de suelo	Tipo de Roca	Cobertura Vegetal	Uso de suelo	aplicando fórmula (3)	Zona de Recarga
Tual	4	3	3	4	3	3.52	recarga alta
Chilimpampa Alto	5	2	2	3	3	3.19	recarga moderada
Porcón Alto	3	2	3	3	3	2.77	recarga moderada
Uñigán	4	3	3	3	3	3.27	recarga moderada

Nota: Datos introducidos en la fórmula y dándonos una clasificación de la zona de recarga. Fuente: Propia

Los resultados obtenidos del índice de recarga hídrica (Zr) permiten identificar con mayor precisión las potencialidades de las distintas zonas evaluadas dentro de la microcuenca del río Porcón. Según la clasificación propuesta por Matus, se observa una

variabilidad significativa en el potencial de recarga, lo cual puede atribuirse a factores como la pendiente, el tipo de cobertura vegetal y las características edáficas.

El **Centro Poblado Tual**, con un valor de $Z_r = 3.52$, se clasifica como una zona de recarga alta (rango 3.05–4.09). Esto sugiere condiciones favorables para la infiltración, probablemente vinculadas a pendientes moderadas y cobertura natural.

Los centros poblados **Chilimpampa Alto, Porcón Alto y Uñigán** presentan valores de Z_r de 3.19, 2.77 y 3.27 respectivamente, ubicándose todos dentro del rango de recarga moderada (2.60–3.49). Esto indica un nivel intermedio de capacidad de recarga, que puede ser influenciado por factores como la intervención antrópica, cambios en el uso del suelo o características geomorfológicas menos favorables.

Estos resultados son consistentes con lo señalado por autores como Custodio y Llamas (2001), quienes afirman que la recarga hídrica está directamente condicionada por la interacción entre la topografía, el uso y/o tipo del suelo, la cobertura vegetal y la litología (tipo de roca).

4.10 PROPUESTAS DE MEJORA PARA MANTENER LA RECARGA HÍDRICA EN PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO PORCÓN.

Como sustento de esta propuesta, se elaboró un mapa de zonificación ecológica (**ver Anexo Mapa 7**), donde se identifican áreas de protección y conservación ecológica, representadas en color verde. Estas zonas son fundamentales para mantener los procesos de recarga hídrica, ya que su conservación asegura la disponibilidad futura del recurso hídrico subterráneo. Con base en estos hallazgos, se plantean las siguientes acciones prioritarias:

Reforestación con especies nativas, como aliso (*Alnus acuminata*) y quinua (*Polylepis spp.*), que promueven la infiltración y reducen la escorrentía superficial además se

recomienda restringir la expansión de especies exóticas como el eucalipto, debido a su alta demanda hídrica y su impacto negativo en la recarga del acuífero.

Manejo sostenible del suelo, aplicando prácticas como zanjas de filtración, rotación de cultivos que mejoran la estructura del suelo, incrementan su capacidad de retención de agua y reduzcan la erosión. Asimismo, se recomienda instalar canales de desviación de aguas pluviales para prevenir la erosión y facilitar la percolación controlada.

Gestión participativa: Involucrar a las comunidades locales, autoridades y expertos en la gestión del agua, promoviendo la participación en la toma de decisiones y en la implementación de estrategias de conservación y uso eficiente del recurso hídrico.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan los resultados de este estudio.

5.1 CONCLUSIONES

Conclusión General.

- ✓ Se identificaron cuatro áreas representativas de recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, considerando criterios como tipo y uso de suelo, cobertura vegetal, pendiente y geología. Estas áreas corresponden a Tual, Chilimpampa Alto, Uñigán y Porcón Alto, que en conjunto abarcan aproximadamente 45 ha (0,5 km²), delimitadas a partir del levantamiento de información mediante vuelos de dron realizados in situ.

Conclusiones Específicas.

a) Se Caracterizo la microcuenca del río Porcón, con un área de 74.31 km², perímetro de la cuenca:43.03, longitud de la cuenca: 11.60Km, forma de la cuenca: Oval redonda, pendiente de la cuenca: 28.05 %, orden 3 destaca por su pendiente moderada, clima húmedo y buena cobertura vegetal, condiciones que favorecen la recarga hídrica. El uso del suelo mixto y la presencia de acuíferos fisurados, junto a acuitardos, indican un sistema con potencial de recarga localizada y su conservación es clave para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

b) Se determinó la pendiente de laderas ubicadas en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, zonas que desempeñan un papel clave en los procesos de recarga hídrica. Se identificaron valores de pendiente que oscilan entre el 15% y el 45%, con predominancia de pendientes moderadas, como en los sectores de C.P. Tual (25%), y C.P. Porcón Alto (30%). No obstante, se observó una pendiente baja en Chilimpampa Alto (45%) y una

pendiente alta en Uñigán (15%), lo que indica que la clasificación adoptada se basa en criterios locales o inversos. La presencia de estas pendientes en zonas altas sugiere una alta capacidad de captación y escurrimiento superficial, condiciones que pueden favorecer la infiltración en suelos adecuados y contribuir significativamente a la recarga hídrica.

c) Se determinó el Índice de Vegetación Normalizada NDVI lo cual permitió evaluar el estado de la cobertura vegetal en las partes altas de la microcuenca, obteniéndose un valor promedio de **0.47**, lo que refleja una vegetación moderada o en crecimiento, asociada principalmente a pastizales o cultivos en etapa activa. Estas condiciones vegetativas son propias de zonas que aún conservan cobertura vegetal significativa, lo cual resulta favorable para los procesos de recarga hídrica, ya que ayudan a reducir la escorrentía superficial y favorecen la infiltración del agua hacia el subsuelo. En este sentido, el NDVI se consolidó como una herramienta técnica importante para identificar áreas prioritarias de recarga en zonas altas.

d) Se determinó el Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDWI) es de **0.42** en las partes altas de la microcuenca lo que indica la presencia de vegetación densa y suelos con buena humedad, características típicas de bosques saludables, cultivos con riego o áreas recientemente afectadas por lluvias. Estas condiciones son altamente favorables para los procesos de recarga hídrica natural, ya que una vegetación bien hidratada mejora la infiltración del agua en el suelo y contribuye a la protección contra la erosión. Además, la presencia de ecosistemas con buen estado vegetativo y equilibrio ecológico señala zonas prioritarias para la conservación y gestión hídrica, consolidando al NDWI como una herramienta útil para identificar áreas con alto potencial de recarga dentro de la microcuenca priorizando las partes altas.

e) Se determinó la precipitación areal en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, obteniéndose un promedio de **90.37** mm/mes y **994.1** mm/año durante los últimos 10 años, mediante el método geoestadístico de Kriging utilizando el software Hydraccess. Estos valores son fundamentales para comprender el potencial de recarga hídrica en una microcuenca que abarca una superficie de 74.31 km².

f) Se determinó la capacidad de infiltración de las cuatro zonas representativas de la parte alta de la microcuenca Porcón, teniendo un promedio de 8.49 mm/h, mientras que la infiltración básica alcanza un promedio de 5.00 mm/h. Estos valores indican que, en general, los suelos de la parte alta de la microcuenca del río Porcón poseen características físicas favorables para la recarga hídrica. Según criterios técnicos y literatura especializada, tasas cercanas a 10 mm/h reflejan suelos con buena permeabilidad, lo cual favorece el tránsito vertical del agua hacia los acuíferos y reduce significativamente la escorrentía superficial. Por tanto, estas zonas representan un potencial estratégico para la conservación y gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca.

g) Se validó in situ las zonas representativas de recarga hídrica natural en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, lo cual permitió corroborar mediante evidencia de campo y análisis hidrológicos, la clasificación de los sectores estudiados en categorías de alta, media y moderada recarga. Este proceso confirmó la coherencia entre los resultados obtenidos en gabinete y las condiciones reales del territorio, aportando mayor certeza en la delimitación y priorización de las áreas estratégicas para la gestión del recurso hídrico.

h) Para mantener y mejorar la recarga hídrica en la parte alta de la microcuenca del río Porcón, se propone implementar un enfoque integral que combine acciones ecológicas, técnicas y sociales. Entre las estrategias más efectivas se encuentran la promoción de la reforestación con especies nativas y el manejo sostenible de los bosques, así como la

delimitación legal de zonas de recarga Hídrica. Asimismo, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, como la agroecología, el uso de andenes tradicionales y la construcción de zanjás de infiltración, contribuirán significativamente a aumentar la retención de agua y disminuir la erosión del suelo. Finalmente, el éxito de estas estrategias depende del involucramiento activo de las comunidades locales.

VI.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un estudio hidrogeológico detallado en la zona, con el fin de identificar la dinámica del agua subterránea en el área de estudio.
- Se recomienda realizar un estudio de prospección eléctrica en la microcuenca del río Porcón, mediante métodos geo eléctricos, como el sondeo eléctrico vertical (SEV), con el objetivo de caracterizar las formaciones geológicas subsuperficiales, identificar zonas potenciales de almacenamiento y circulación de agua subterránea.
- Se recomienda validar las zonas geológicas propuestas por el INGEMMET con la zona de estudio de esta investigación, a fin de verificar la correspondencia entre las unidades geológicas cartografiadas y las condiciones geológicas reales del área.

-

CAPITULO VI.

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

A. BIBLIOGRAFÍA

- Abío, G. (2019). *Meteocultura, estaciones meteorológicas y meteorología*. Editorial Científica, Lima, Perú.
- Ávalos, H., Galindo, A., Gonzáles, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Ambientales, Ciudad de México, México.
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2010). *Atmosphere, weather and climate* (9.^a ed.). Routledge, Londres, Reino Unido.
- Blanco, H. (2010). Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 2(2), 181–204.
- Bouwer, H. (1986). Tasa de entrada: Infiltrómetro de cilindro. En A. Klute (Ed.), *Métodos de análisis de suelos: Parte 1 — Métodos físicos y mineralógicos* (pp. 825–844). Madison, WI: Sociedad Americana de Agronomía y Sociedad Americana de Ciencias del Suelo.
- Bravo, L., Sáenz, D., Alatorre, L., Priego, Á., Torres, M., & Granados, A. (2015). Identificación de áreas potenciales de recarga hídrica al acuífero Cuauhtémoc (Chihuahua), mediante una evaluación espacial multicriterio. SELPER, Chihuahua, México.
- Buytaert, W., Iniguez, V., & De Bièvre, B. (2007). Los efectos de la cobertura vegetal de páramo sobre la hidrología de una cuenca de bosque montano nublado en los Andes. *Hydrological Processes*, 21(7), 928–938.
- Casaverde, R. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico. Editorial Agua Viva, Lima, Perú.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). *Hidrología subterránea* (Vol. 1). Madrid: Ediciones Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrogeología*. Madrid: Editorial Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2010). *Hidrogeología ambiental* (3.^a ed.). Madrid: McGraw-Hill.
- del Águila, S., & Mejía, A. (2021). Caracterización morfométrica de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de información geográfica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(2), 538–562.

- Delclaux, F., Coudrain, A., & Condom, T. (2007). *Hydraccess: Software para la gestión y el análisis de datos hidrometeorológicos* (Versión 4.2.1) [Software de computadora]. IRD - Instituto de Investigación para el Desarrollo, París, Francia.
- Díaz, E., Hernández, C., Polanco, H., & Califa, L. (2021). Identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca Cune, Cundinamarca – Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 1–15.
- Doménico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Hidrogeología física y química* (2.ª ed.). Nueva York: John Wiley & Sons.
- FAO. (2006). *Base referencial mundial del recurso suelo 2006: Marco para la clasificación, correlación y comunicación internacional* (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N.º 103). FAO, Roma, Italia.
- Foster, S., Chilton, J., Moench, M., Cardy, F., & Schiffler, M. (2002). Estrategias de gestión de aguas subterráneas. Banco Mundial, Washington, DC, Estados Unidos.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Fundación AGRECOL Andes. (2019). *Protegiendo nuestras áreas de recarga hídrica y fuentes de agua* (N.º 4, pp. 1–12). Editorial Agua Viva, Lima, Perú.
- Grassi, R. (2014). Evaluación de la infiltración en cuencas altoandinas: métodos y criterios técnicos aplicables. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Huber, A., & Tognella, M. M. P. (2010). Conservación de los ecosistemas altoandinos y su relación con la provisión de agua. *Revista de Geografía Norte Grande*, (45), 55–70.
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015: Sistema internacional para la clasificación de suelos y elaboración de leyendas para mapas de suelos* (Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N.º 106). FAO, Roma, Italia.
- Matus, O., Faustino, J., & Jiménez Otárola, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua* (Serie técnica. Boletín técnico No. 38). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Molina, A., Zegarra, J., & Chávez, E. (2010). Lineamientos para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas altoandinas. Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima, Perú.
- Montoya, D., & Salazar, A. (2015). Propuesta metodológica para la identificación de zonas de recarga hídrica mediante análisis espacial y SIG. *Revista Peruana de Recursos Naturales y Agua*, 2(1), 45–58.
- Navarro Colque, P. A., & Flores R., M. J. (2007). *Geología del cuadrángulo de Cajamarca (15-f)* (1ª ed., hoja 15-f, cuadrante IV, escala 1:100 000). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, Lima, Perú.

Poma Rojas, W., & Alcántara, G. (2011). *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

B. TESIS

Alcántara Membrillo, J. L. (2015). *Caracterización hidromorfológica de la microcuenca Puyllucana (Baños del Inca – Cajamarca) mediante aplicación de ArcGIS* [Tesis de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.

Aragón, J. (2020). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la cuenca del río Piura mediante el uso de SIG y Teledetección* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP.

Barrantes, D. (2017). *Evaluación de zonas de recarga hídrica de la subcuenca del río Polochic mediante técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica* [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].

Carranza, G. (2017). *Identificación de zonas de recarga hídrica para el ordenamiento territorial en la subcuenca del río Lurín – Lima* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Cuenca, L. (2020). *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica utilizando el índice NDWI en la subcuenca del río Mantaro – Junín* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Florián, L. (2019). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pariahuanca utilizando SIG y teledetección* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Gonzales, J. (2016). *Zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Huatatas, distrito de Tápu, Pasco, 2016* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].

Ramos, D. (2017). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Quillcay mediante herramientas SIG y percepción remota* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

Ticse Otárola, G. V. A. (2018). *Correlación de la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio–2013 hasta junio–2014* [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental.

Sánchez-Tolentino, L. A. (2017). *Identificación de zonas con potencial de recarga hídrica en la intersección sureste del acuífero Sierra de San Andrés y Sotepan-Hueyapan* (Tesis de licenciatura). Universidad Veracruzana.

Matus Silva, O. D. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua* (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.

C. LINKOLOGÍA

ANA – Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Guía metodológica para la estimación del balance hídrico de cuencas hidrográficas*. Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/1147/ANA0001543.pdf>

ANA – Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del río Jequetepeque*. Recuperado de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5039>

ANA – Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *Inventario de fuentes de agua*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/inventario-fuentes-agua>

FAO. (2016). *AQUASTAT - Sistema de información sobre el agua y la agricultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://www.fao.org/aquastat/es/>

Google Earth. (2024). *Capturas satelitales de la microcuenca del río Porcón*. <https://earth.google.com/web/>

INEI. (2017). *Compendio Estadístico 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1470/

MINAM. (2014). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente del Perú. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/estrategia-nacional/>

MINAM. (2020). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/eco/mapa-nacional-de-ecosistemas-del-peru>

NASA. (s. f.). *Landsat Science*. National Aeronautics and Space Administration. Recuperado de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>

SENAMHI. (s. f.). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/>

SIGRID – Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2024). *Capas vectoriales y ráster para gestión ambiental y del riesgo*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/>

USGS – United States Geological Survey. (2024). *Earth Explorer – Descarga de imágenes satelitales*. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

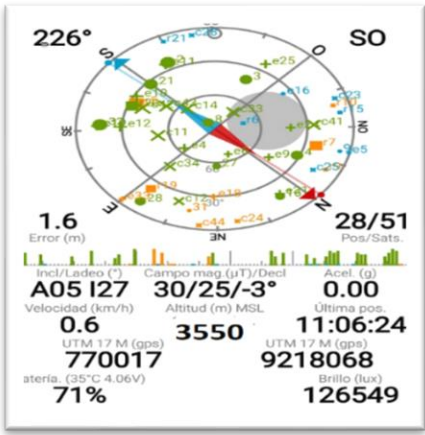
ANEXOS

EVIDENCIAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS CUATRO
(4) ZONAS REPRESENTATIVAS DE RECARGA HÍDRICA
ANALIZADAS IN SITU.

1. CENTRO POBLADO TUAL.
2. CENTRO POBLADO CHILIMPAMPA ALTO.
3. CENTRO POBLADO PORCON ALTO.
4. CENTRO POBLADO UÑIGÁN.

Tabla 16

Evidencias Centro Poblado Tual.

a. Ubicación con GPS 	Coordenadas U.T.M E: 770017 N:9218068 COTA: 3550
b.Tipo de roca 	La geología muestra rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros y según la tabla 7 le vamos a dar una ponderación de 3.
c. Pendiente 	La pendiente nos dio un valor de 25° en grados sexagesimales, pero según la Tabla 1 con la cual estamos trabajando es ondulado/cóncavo y está en términos de porcentaje (15 – 45) % por ende se le da un valor ponderado de 3.

c. Tipo de suelo



Estamos frente a un suelo, franco limoso, compuesto por partículas de tamaño intermedio entre arena y arcilla, tiene una gran capacidad de retener agua como nutrientes y según la **tabla 6** lo da un valor ponderado de 3.

d. Uso de suelo



Según lo analizado estamos frente a terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua, según la **Tabla 5** se le da un valor ponderado de 3.

e. Cobertura vegetal NDVI Tual

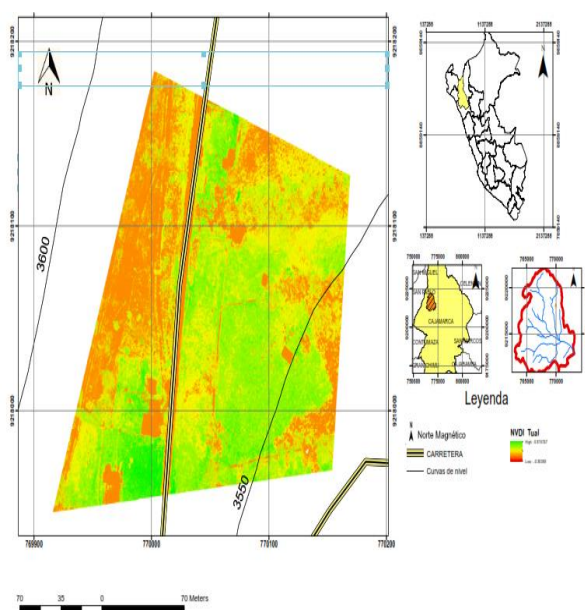


Imagen procesada en Qgis y de acuerdo a la **tabla 4** de Matus, el valor ponderado que se le otorga es un valor de 4 que quiere decir una posibilidad de recarga alta.

f. Ortofoto C.P Tual

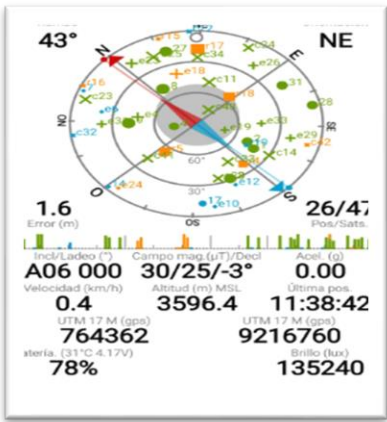
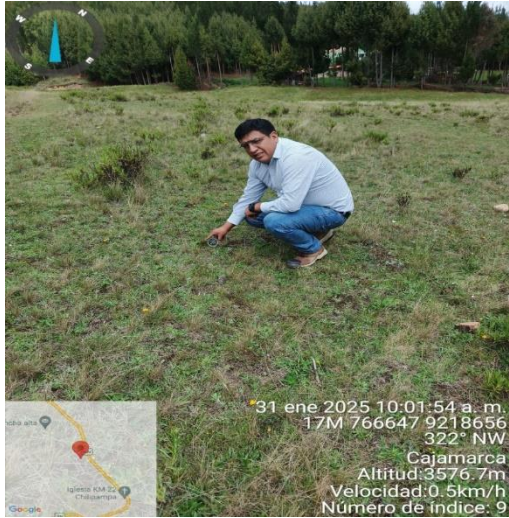


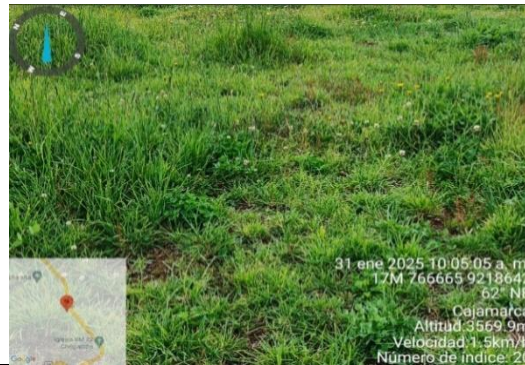
Ortofoto a 30m de altura, de la zona representativa del C.P Poblado Tual.

Nota: Obteniendo el valor ponderativo para cada variable en el C.P Tual. Fuente: Propia.

Tabla 17

Evidencias Centro Poblado Chilimpampa Alto

a) Ubicación con GPS 	Coordenadas UTM Este:764362 Norte:9216760. Cota:3596.40
b) Tipo de roca 	Tipo de roca poco permeables, poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas y en su defecto según la tabla 7 de Matus se le da una ponderación de 2.
c) Determinando la pendiente con la brújula tipo Brunton 	Terreno llano, plano o casi plano; con o sin rugosidad por ende podemos decir según la Tabla 1 de Matus tiene una pendiente de (0-6) % en su defecto de la descripción se dice que tiene una posibilidad de recarga muy alta, por lo tanto, se le da una ponderación de 5.

d) Tipo de suelo 	Suelo 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), en su defecto según la Tabla 6 se le está dando una ponderación de 2 eso quiere decir una posibilidad de recarga baja.
e) Uso de Suelo 	Uso de suelo que lo suelen dar de terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua por lo que según la Tabla 5 tiene una posibilidad de recarga regular por ende se le dará una ponderación de 3.
f) Ortofoto Chilimpampa Alto 	Chilimpampa alta vista a una altura de 30m con dron Mavic Air 2 para determinar la cobertura vegetal más a detalle y dale la ponderación más acertada de acuerdo a la tabla 4 de Matus.

g) Mapa de Cobertura vegetal NDVI

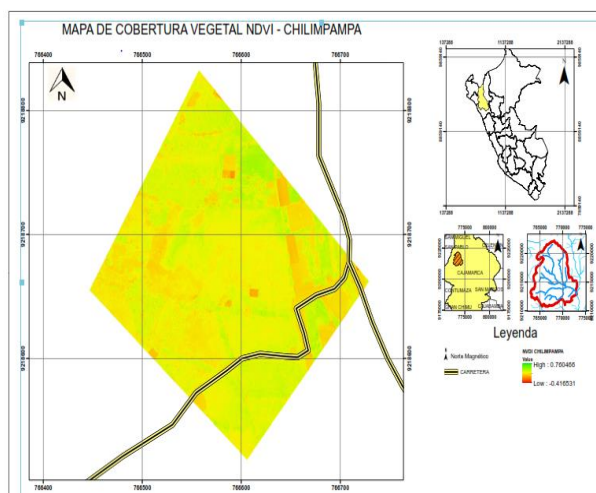
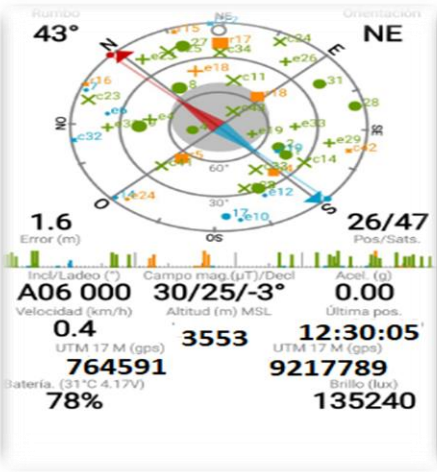


Imagen procesada en Qgis 3.42.2, dando como resultado una ponderación de **3**, ya que la cobertura vegetal es moderada y se encuentra en un rango de (50-70) % según la **Tabla 4** de Matus.

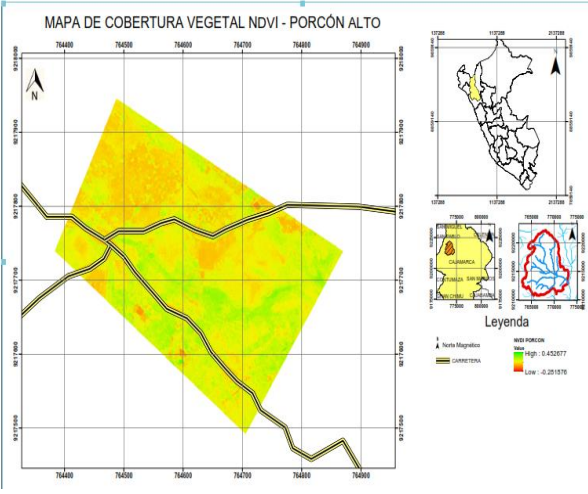
Nota: Obteniendo el valor ponderativo para cada variable en el C.P de Chilimpampa alto. Fuente: Propia.

Tabla 18

Evidencias Centro Poblado Porcón Alto

a) Ubicación GPS 	Las coordenadas UTM son: ESTE:764591 NORTE:9217789 COTA:3553
b) Centro Poblado Porcón Alto 	Lugar donde se va realizar las pruebas correspondientes para la determinación de las 5 variables (uso de suelo, tipo de suelo, cobertura vegetal, tipo de roca y pendiente) y ver si es una zona con potencial de recarga hídrica.

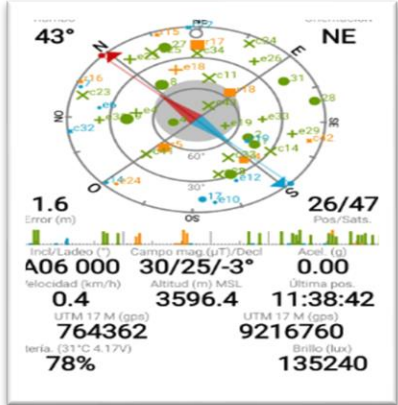
c) Tipo de roca 	Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros, por ende, según la Tabla 7 le damos una ponderación de 3.
d) Pendiente con brújula tipo brunton. 	Ubicando de manera correcta la brújula tenemos un pendiente ondulado cóncavo el cual en términos de porcentaje esta entre los rangos (15-45) % con una ponderación de 3, según la Tabla 1.
e) Tipo de suelo 	Estamos frente a un suelo franco arcilloso, 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) por ende según la Tabla 6 le damos una ponderación de 2.

f) Uso de suelo 	Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua se le da una ponderación de 3, según la Tabla 5.
g) Ortofoto 	Foto aérea tomada con un dron a una altura de 30m para tener una mejor precisión de la cobertura vegetal de la zona representativa.
a) Mapa de Cobertura Vegetal NVDI Porcón Alto. 	Imagen procesada en Qgis 3.42.2, dando como resultado una ponderación de 3, ya que la cobertura vegetal es moderada y se encuentra en un rango de (50-70) % según la Tabla 4 de Matus.

Nota: Obteniendo el valor ponderativo para cada variable en el C.P de Porcón alto.
Fuente: Propia.

Tabla 19

Evidencias Centro Poblado Uñigán

a) Ubicación con GPS 	Las coordenadas UTM son: ESTE:764362 NORTE:9216760 COTA:3596
b) Tipo de roca 	Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros lo cual le da una ponderación de 3 según la Tabla 7.
c) Pendiente 	Ubicando de manera correcta la brújula tenemos una pendiente moderadamente Ondulado/cóncavo el cual en términos de porcentaje esta entre los rangos (6-15) % con una ponderación de 4, según la Tabla 1.

d) Tipo de suelo 	Textura de un suelo franco limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración, que según la Tabla 6 de Mattus le damos una ponderación de 3.
e) Uso del suelo 	Se ve terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua por lo que se le va dar una ponderación de 3 según la Tabla 5 de Matus.
f) Ortofoto 	Zona representativa en el C.P Uñigán vista a una altura de 30 metros tomada con dron, para determinar la cobertura vegetal.

g) NDVI Uñigán

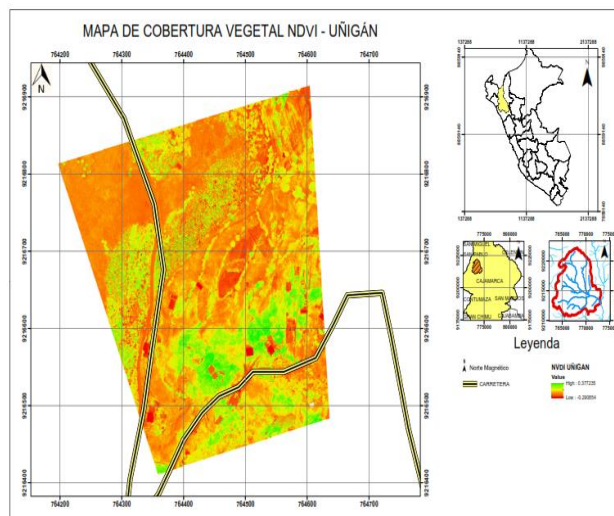


Imagen procesada en Qgis 3.42.2, dando como resultado una ponderación de **3**, ya que la cobertura vegetal es moderada y se encuentra en un rango de (50-70) % según la **Tabla 4** de Matus.

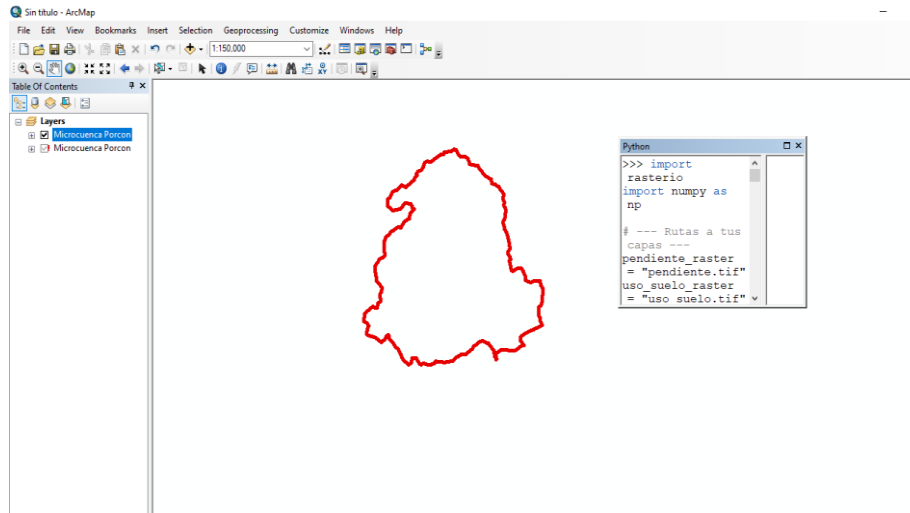
Nota. Obteniendo el valor ponderativo para cada variable en el C.P de Uñigán. Fuente: Propia.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DE LA
MICROCUEENCA PORCÓN
(VER PLANO 19 Y 20)

ANEXOS ZONAS SIMILARES CON LENGUAJE PYTHON

Figura 7

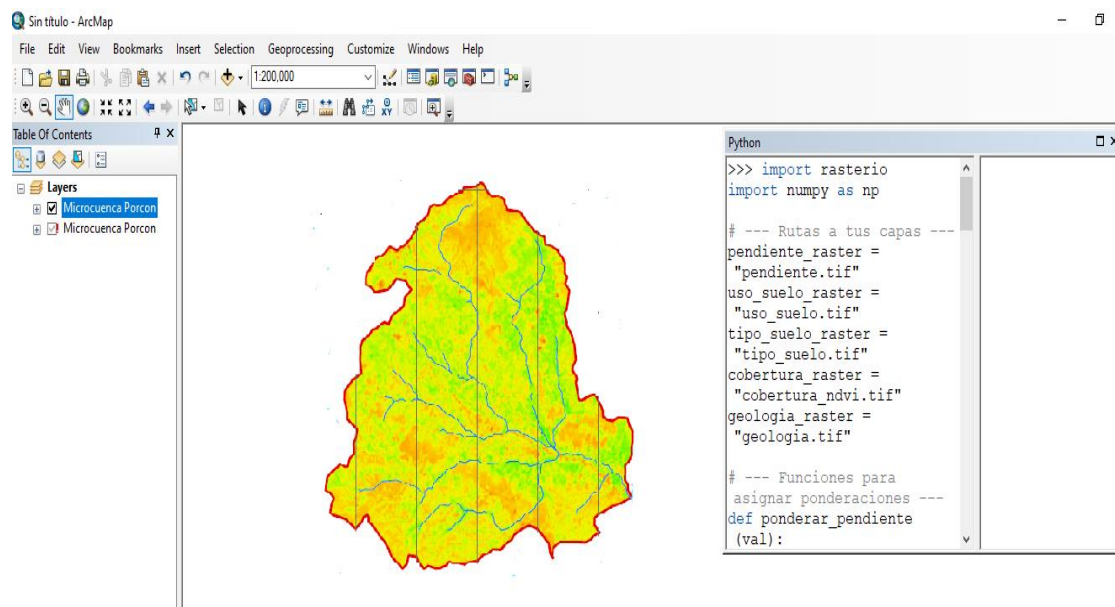
Microcuenca Hidrográfica



Nota: Interfaz Arc Map 10.8.2.

Figura 8

Microcuenca Porcón NDVI.



Nota. En la parte superior hay una ventana donde se introduce un código Python.

Figura 9

Código Python.

```
Python
>>> import rasterio
import numpy as np

# --- Rutas a tus capas ---
pendiente_raster = "pendiente.tif"
uso_suelo_raster = "uso_suelo.tif"
tipo_suelo_raster = "tipo_suelo.tif"
cobertura_raster = "cobertura_ndvi.tif"
geologia_raster = "geologia.tif"

# --- Funciones para asignar ponderaciones ---
def ponderar_pendiente(val):
    if 0 <= val < 6: return 5
    elif 6 <= val < 15: return 4
    elif 15 <= val < 45: return 3
    elif 45 <= val < 65: return 2
    else: return 1

def ponderar_uso_suelo(val):
    # Asigna ponderaciones según tu tabla de tesis
    ponderaciones = {1: 5, 2: 4, 3: 3, 4: 2} # ejemplo
    return ponderaciones.get(val, 0)

def ponderar_tipo_suelo(val):
    ponderaciones = {1: 5, 2: 4, 3: 3} # ejemplo
    return ponderaciones.get(val, 0)

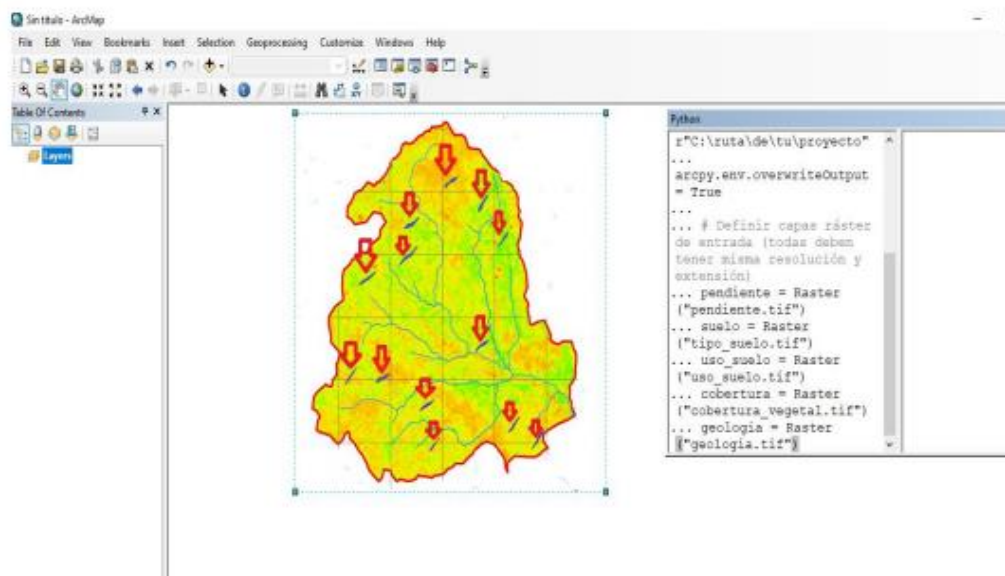
def ponderar_cobertura(val):
    if val >= 0.6: return 5
    elif val >= 0.3: return 4
    elif val >= 0.1: return 3
    else: return 1

def ponderar_geologia(val):
    ponderaciones = {1: 5, 2: 3, 3: 2} # ejemplo
    return ponderaciones.get(val, 0)
```

Nota: Código introducido para encontrar áreas similares.

Figura 10

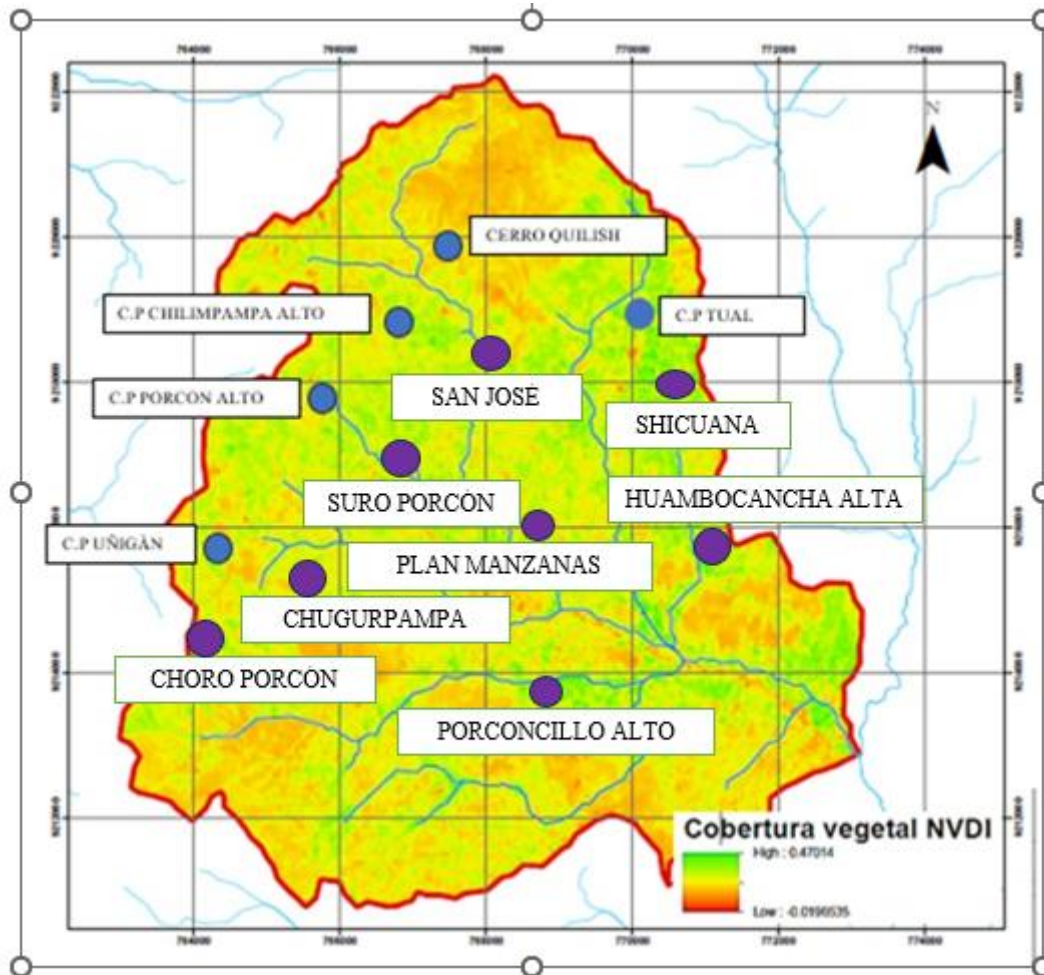
Zonas con similares características en la Microcuenca.



Nota: 9 Zonas similares con los datos de las 4 zonas representativas; Shicuna, Huanbocancha alta, Porconcillo alto, el Batán, Choro Porcón, Chugurpampa, Plan Manzanas, Suro Porcón, San José.

Figura 11

Microcuenca Porcón y zonas similares a las representativas.



Nota: Mediante el uso del lenguaje Python en ArcMap, se identificaron 9 zonas similares de recarga hídrica, clasificadas en alta, media y moderada, a partir del análisis de datos de cuatro zonas representativas: Shicuana, Huambocancha Alta, Porconcillo Alto y El Batán. Entre las áreas resultantes se encuentra Choro Porcón, considerada de alta recarga hídrica; San José y Plan Manzanas corresponden a zonas de recarga moderada; mientras que Chugurpampa se ubica en la categoría de recarga media, según los resultados encontrados previamente en las zonas representativas. Fuente Propia.

ANEXOS

EVIDENCIAS DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN DE LAS CUATRO (4)

ZONAS REPRESENTATIVAS DE RECARGA HÍDRICA

1. CENTRO POBLADO TUAL.
2. CENTRO POBLADO CHILIMPAMPA ALTO.
3. CENTRO POBLADO PORCON ALTO.
4. CENTRO POBLADO UÑIGÁN.

Tabla 20

Prueba De Infiltración Centro Poblado Tual

a) Nivelando el cilindro concéntrico  16 feb 2025 1:29:14 p. m. 17M 769822 9220814 44° NE Cajamarca Altitud: 3587.6m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 379	En primera instancia se procede hacer un hoyo de 10cm en el suelo donde abarque el diámetro de cilindro para luego con un martillo y una tabla, introducirlo golpe a golpe cuidadosamente para que a posteriori quede bien nivelado y descienda el agua uniformemente para la toma de datos.
b) Saturando el suelo.  16 feb 2025 1:30:33 p. m. 17M 769822 9220812 41° NE Cajamarca Altitud: 3585.4m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 386	Proceso de llenado de agua de los cilindros concéntricos, para luego tomar las medidas correspondientes.
b) Tomando lectura  16 feb 2025 1:31:14 p. m. 17M 769822 9220812 4° N Cajamarca Altitud: 3585.4m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 399	Tomando medidas del proceso de infiltración, en intervalos de tiempo diferentes para luego esos datos procesarlos en una tabla de Excel.

Nota: Imagen a y b de la prueba de infiltración in situ en el C.P Tual. Fuente: Propia

Tabla 21

Infiltración con datos que se tomaron en campo C.P Tual

DATOS SOBRE INFILTRACIÓN

UBICACIÓN: C.P TUAL **OBSERVADOR:** Bach. Dany Joselito Atalaya Huamán

FECHA: 16/02/2025

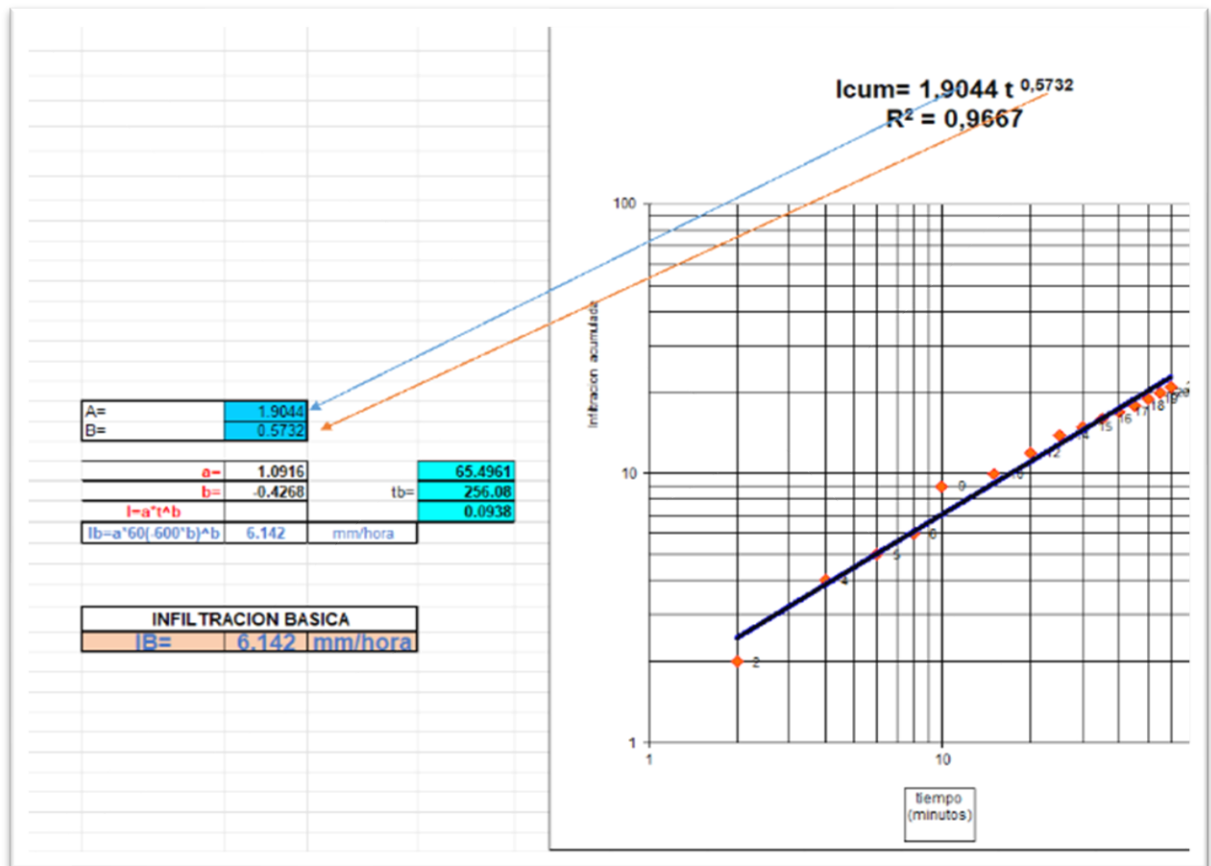
CILÍNDRO CONCÉNTRICO

TIEMPO			INFILTRACIÓN		
1	2	3	4	5	6
Hora	Diferencia	Acumulado	Lectura	Diferencia	Acumulado
H min	min	min	cm	cm	cm
10:30(a.m)	2	2	60	5	2
10:32		4	55		7
10:34	2	6	49	6	13
10:36				7	
10:38	2	8	42	7	20
10:40				5	
10:42	2	10	37	5	25
10:44				5	
10:46	2	12	32	5	30
10:48				3	
10:50	2	14	29	3	33
10:52				5	
10:54	6	20	24	5	38
11:00				7	
11:05	5	25	17	7	45
11:10				6	
11:15	5	30	11	6	51
11:20				3	
11:30	5	35	8	3	54
11:35					
11:40					

Nota. Prueba de infiltración en el C.P. de Tual. Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Figura 12

Gráfica del comportamiento de la Infiltración C.P Tual.



Nota. Analizando los datos que están en la **Tabla 22** en Excel tenemos que nos da una infiltración básica de 6.142mm/h, eso quiere decir que es propio de los suelos franco limosos. Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Tabla 22

Prueba De Infiltración C.P Chilimpampa Alto

a) Nivelando el cilindro doble anillo. 	Introducimos 10cm en el suelo el cilindro de infiltración, luego dejamos bien nivelado con el nivel de carpintero; para que el agua descienda de manera uniforme.
b) Saturando el suelo 	Llenamos con agua ambos cilindros.
c) Prueba de Infiltración 	Lectura de datos cada cierto cuando el agua se infiltra.

Nota. Imagen a, b y c correspondientes a la prueba de infiltración C.P Chilimpampa Alta. Fuente: Propia.

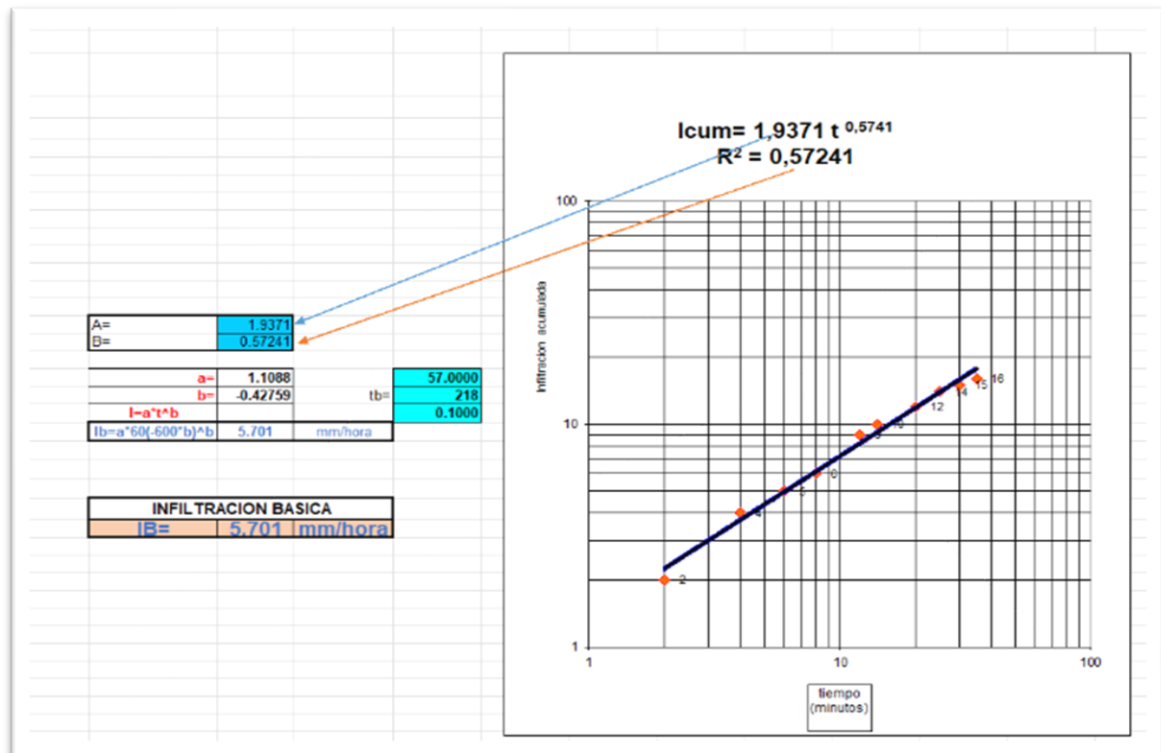
Tabla 23*Infiltración con datos que se tomaron in situ en Chilimpampa alto***DATOS SOBRE INFILTRACIÓN****UBICACIÓN:** CHILIMPAMPA **OBSERVADOR:** Bach. Dany Joselito Atalaya Huamán**ALTO****FECHA:** 17/02/2025**CILÍNDRICO CONCÉNTRICO**

TIEMPO			INFILTRACIÓN		
1	2	3	4	5	6
<i>Hora</i>	Diferencia	Acumulado	Lectura	Diferencia	Acumulado
H min	min	min	cm	cm	cm
02:30 (p.m)	2	2	55	8	2
02:32		4	47		10
02:34	2			6	
02:36		2	8		36
02:38	2			10	
02:40		2	12		27
02:42	2			14	
02:44		6	20		17
02:46	2			25	
02:48		5	30		10
02:50	5			35	
02:52					
02:54					
03:00					
03:05					
03:10					
03:15					
03:20					
03:30					
03:35					
03:40					

Nota. Prueba de infiltración en el C.P. de Chilimpampa Alto. Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Figura 13

Gráfica del comportamiento de la Infiltración Chilimpampa alto



Nota. Analizando los datos de la **Tabla 26** se graficó en una hoja logarítmica, dándonos como infiltración básica un valor de 5.701mm/h lo cual según el análisis es un resultado de una infiltración moderada para términos de recarga hídrica. Fuente: Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Tabla 24

Prueba De Infiltración Centro Poblado Porcón Alto

a) Nivelando el cilindro doble anillo.  18 feb 08:20:45 a. m 17M 764591 9217789 11° N Cajamarca Altitud: 3553.2m Velocidad: 0.3km/h Número de índice: 139	Nivelando con el nivel de carpintero el cilindro de infiltración para la prueba en la zona representativa correspondiente al C.P Porcón Alto.
b) Saturación del suelo.  18 feb 10:28:50 am 17M 764590 9217789 5° N Cajamarca Altitud: 3549.7m Velocidad: 0.0km/h Número de índice: 141	Llenando con agua el cilindro doble anillo iniciando por el cilindro de menor diámetro, luego pasamos al de mayor diámetro, luego retiramos cuidadosamente la bolsa y el agua va empezar a descender, es allí donde se empieza a tomar datos.
c) Tomando medidas  18 feb 10:50:29 am 17M 766698 9218631 7° N Cajamarca Altitud: 3569.9m Velocidad: 0.2km/h Número de índice: 235	Lectura de datos cada cierto tiempo controlados con el cronómetro.

Nota: Imagen a, b y c de la prueba de infiltración de C.P Porcón Alto. Fuente: Propia

Tabla 25

Infiltración con datos que se tomaron en campo Porcón Alto

DATOS SOBRE INFILTRACIÓN

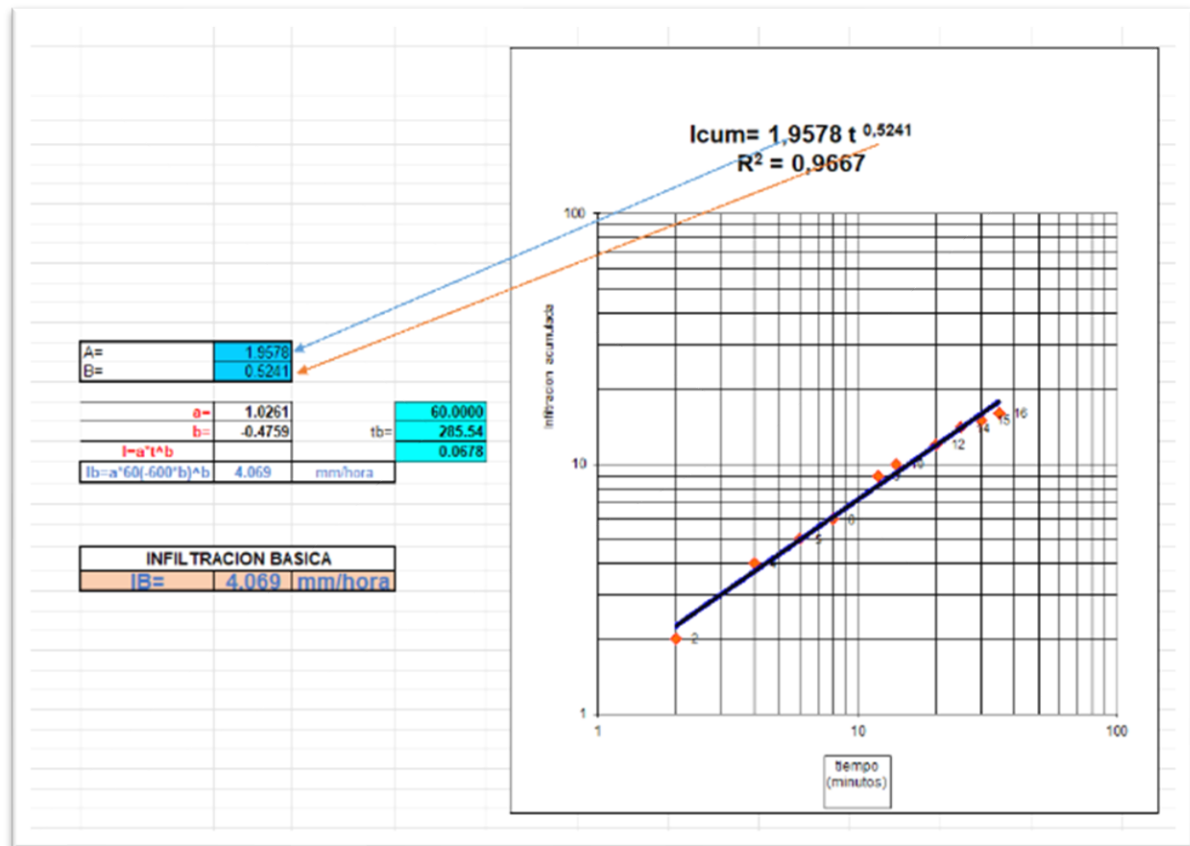
UBICACIÓN: **PORCÓN** **OBSERVADOR:** Bach. Dany Joselito Atalaya Huamán
ALTO
FECHA: 18/02/2025
CILÍNDRICO CONCÉNTRICO

TIEMPO			INFILTRACIÓN		
1	2	3	4	5	6
Hora	Diferencia	Acumulado	Lectura	Diferencia	Acumulado
H min	min	min	cm	cm	cm
08:30(a.m)	2	2	58	5	2
08:32		4	53		7
08:34	2	6	47	6	13
08:36				5	
08:38	2	8	42	5	18
08:40				6	
08:42	2	10	36	6	24
08:44				5	
08:46	2	12	31	5	29
08:48				6	
08:50	2	14	25	6	35
08:52				5	
08:54	6	20	20	5	40
09:00				4	
09:05	5	25	16	4	44
09:10					
09:15	5	30	14	2	46
09:20					
09:30	5	35	10	4	50
09:35					
09:40					

Nota. Prueba de infiltración en el C.P. de Porcón Alto. Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Figura 14

Gráfica del comportamiento de la Infiltración Porcón alto.



Nota. Datos procesados de la **Tabla 28** luego se graficó en una hoja logarítmica los datos obtenidos, dándonos como infiltración básica un valor de 4.069mm/h, un valor relativamente bajo dado que el tipo de suelo es franco arcilloso. Fuente: Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Tabla 26

Prueba De Infiltración Centro Poblado Uñigán

a) Nivelando el cilindro doble anillo. 	Cilindro concéntrico introducido 10 cm en el suelo, listo para poder realizar la prueba de infiltración en el centro poblado de Uñigán.
b) Saturando el suelo 	Llenamos los dos cilindros concéntricos con agua, para luego proceder a tomar los datos correspondientes a la prueba.
c) Nivel de agua disminuido 	Procedemos a la toma de datos, para luego analizarlos en gabinete.

Nota. Imagen a, b y c correspondientes a la prueba de infiltración C.P Uñigán. Fuente: Propia

Tabla 27

Datos que se tomaron en campo del Centro Poblado Uñigán.

DATOS SOBRE INFILTRACIÓN

UBICACIÓN: C.P UÑIGAN **OBSERVADOR:** Bach. Dany Joselito Atalaya Huamán

FECHA: 20/02/2025

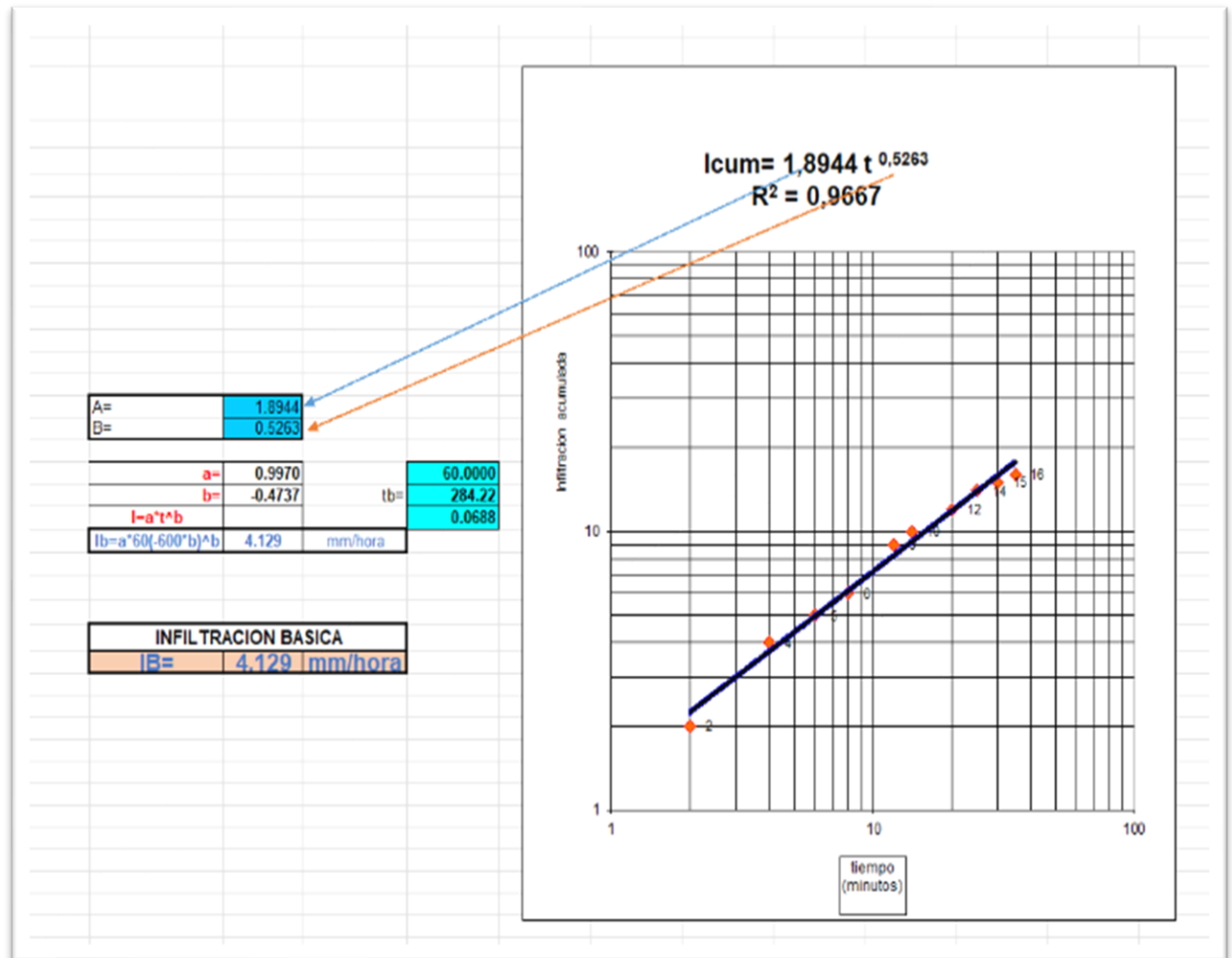
CILÍNDRRO CONCÉNTRICO

TIEMPO			INFILTRACIÓN		
1	2	3	4	5	6
<i>Hora</i>	Diferencia	Acumulado	Lectura	Diferencia	Acumulado
H min	min	min	cm	cm	cm
10:30(a.m)	2	2	52	5	2
10:32		4	47		7
10:34	2			6	
10:36		6	41		5
10:38	2			8	
10:40		2	10		30
10:42	2			12	
10:44		2	14		21
10:46	6			20	
10:48		5	25		14
10:50	2			30	
10:52		5	35		10
10:54					
11:00					
11:05					
11:10					
11:15					
11:20					
11:30					
11:35					
11:40					

Nota. Prueba de infiltración en el C.P. Uñigán Fuente: Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

Figura 15

Gráfica del comportamiento de la Infiltración Uñigán.



Nota. Datos **Tabla 30** que luego se graficó en una hoja logarítmica, dándonos como infiltración básica el valor de 4.129mm/h un valor relativamente bajo, debido a que estamos también frente a un suelo franco limoso. Datos propios procesados con la hoja de cálculo de Carlos Grassi (2014).

ANEXOS

**PERMISOS SOLICITADOS A algunas AUTORIDADES DEL ÁREA DE
INFLUENCIA PARA PODER REALIZAR LA INVESTIGACIÓN**

Figura 16

Permiso otorgado por el presidente de la Jass Tual.

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

Yo, Daniel Castrojón Herrera identificado con DNI 26675876, agente municipal de Tual y presidente de la Jass Quilish Tual, distrito y Provincia del departamento de Cajamarca, ante lo mencionado **AUTORIZO** a:

Dany Joselito Atalaya Huamán identificado con DNI N° 47193424 bachiller en Ingeniería Hidráulica, a entrar a las zonas donde el crea conveniente dentro de nuestra jurisdicción para que pueda realizar su tesis que lleva por nombre **"IDENTIFICACIÓN DE AREAS DE RECARGA HIDRICA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO PORCON, CAJAMARCA 2024"** donde realizara diversas investigaciones en el bien nuestra comunidad.

Atentamente:

Quilish, 08 de enero de 2025

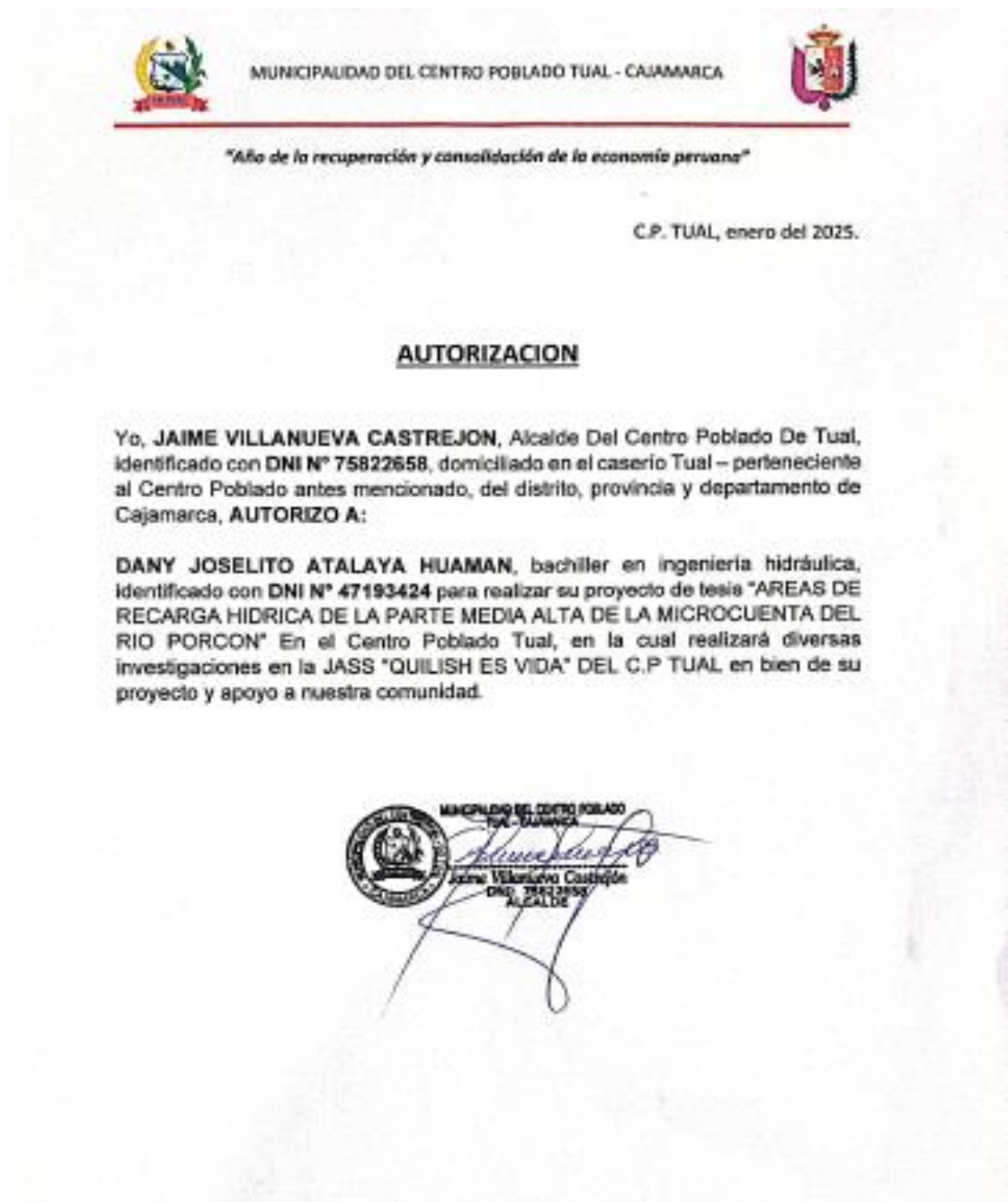

Daniel Castrojón Herrera
DNI N° 26675876
AGENTE MUNICIPAL
CASERIO TUAL



Nota: Documento acreditado con su sello y su firma.

Figura 17

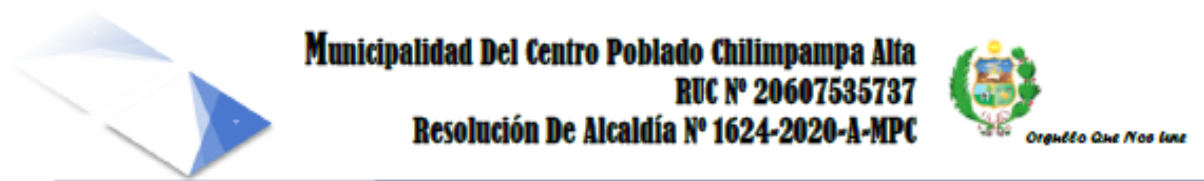
Permiso otorgado del alcalde del C.P de Tual.



Nota: Documento acreditado con su sello y su firma.

Figura 18

Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Chilimpampa Alto.



"Año Del Bicentenario, De La Consolidación De Nuestra Independencia, Y De La Conmemoración De Las Heroicas Batallas De Junín Y Ayacucho"

Chilimpampa Alta, 10 de diciembre del 2024

AUTORIZACIÓN

YO, SABINO VALDEZ AYAY, IDENTIFICADO CON DNI N.º 42996593, ALCALDE DEL CENTRO POBLADO CHILIMPAMPA ALTA, DISTRITO PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, ANTE LO MENCIONADO AUTORIZO A:

DANY JOSELITO ATALAYA HUAMÁN, IDENTIFICADO CON DNI N.º 47193424, BACHILLER EN INGENIERÍA HIDRÁULICA, REALIZAR SU PROYECTO DE TESIS: IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA PARTE MEDIA ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RIO PORCÓN, EN EL CENTRO POBLADO DE CHILIMPAMPA ALTA DONDE REALIZARA LAS DIVERSAS INVESTIGACIONES EN BIEN DE SU PROYECTO DE TESIS Y APOYO HACIA NUESTRO CENTRO POBLADO.

The block contains a blue ink signature over a circular official stamp. The stamp text includes "MUNICIPALIDAD CENTRO POBLADO CHILIMPAMPA ALTA" and "Sabino Valdez Ayay DNI: 42996593 ALCALDE".

Nota: Documento acreditado con su sello y su firma

Figura 19

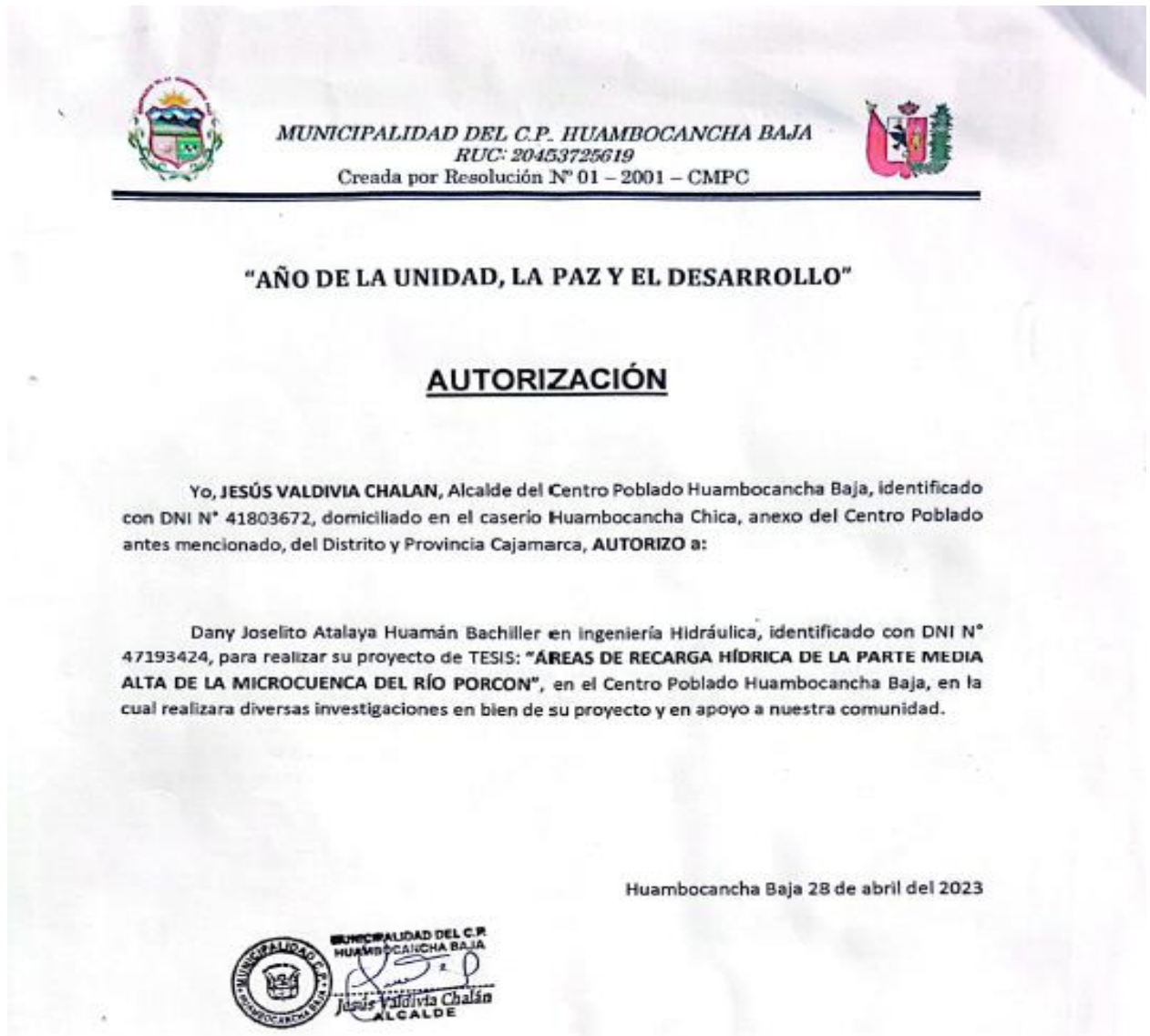
Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Huambocancha Alta.



Nota: Documento acreditado con su sello y su firma.

Figura 20

Permiso otorgado por el alcalde del C.P de Huambocancha Baja.



Nota: Documento acreditado con su sello y su firma.

ANEXOS
SOLICITUDES DE INFORMACIÓN
ENVIADOS A SENHAMI

Figura 21

a) Documento emitido por la dirección de escuela para la información meteorológica.

**Universidad Nacional de Cajamarca**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Hidráulica
Teléfono 076-5394412, ambiente 111-105



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Cajamarca, 05 de febrero de 2025.

CARTA N° 006-2025-FI-EPIH-UNC

Señor Ing. M. Cs.
IVAN VENEROS TERÁN
Director Zonal 3
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-
SENAMHI-Cajamarca.

Presente

Referencia : Solicitud.

Asunto : Información meteorológica.

De mi consideración:

Me dirijo a usted, para expresar mi saludo cordial y luego presentar al señor **ATALAYA HUAMAN DANY JOSELITO**, con DNI N° 47193424, ex alumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Hidráulica, quien está desarrollando la tesis titulada: **"IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA DE LA PARTE ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN, CAJAMARCA 2024"** y necesita obtener datos meteorológicos, como parte del desarrollo de la indicada tesis. En tal sentido, solicito su atención facilitándole dicha información.

Se adjunta documento de la referencia y copia de la Resolución de Consejo de Facultad N° 0664-2024-FI-UNC sobre aprobación del proyecto de tesis.

Es propicia la ocasión para reiterarle los sentimientos de mi especial deferencia.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
Msc. Ing. Juan Hilario Longa Alvarez
DIRECTOR

Con copia:
- Archivo

Figura 22

b) Formatos de Senamhi

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORANDOS E INVESTIGADORES

ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTE/TESISISTA - DIRECCIÓN ZONAL

Señor(a):
DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI
 Encarado:

Ing. M.C. Walter Iván Verrnos Terán
 (Nombre y Apellidos)
Director Zonal 3 - SENAMHI Cajamarca
 (Dirección)

con N° DNI: 47195424 Tel: 916-72263 E-mail: dany.alcala23@gmail.com

Universidad/Instituto: Universidad Nacional de Cajamarca
 Carrera/Profesión: Ing. Hidráulica

Ante usted me presento y expongo:

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de solicitud de los datos)

Estoy realizando mi tesis en "Áreas de Recarga Hídrica en la parte alta de la Microcuenca del río Porcón" para lo cual:

Solicito la siguiente información:

ESTACION/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS
A. Uabombay	Precipitación, Temperatura, evaporación	1985 - 2024
Jesús Ruiz	"	1985 - 2024
Porcón	"	1985 - 2024
Namora	"	1985 - 2024
San Pablo	"	1985 - 2024
Boscos del Inca	"	1985 - 2024
Rio Grande	"	1985 - 2024
Agüero	"	1985 - 2024

La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico: d.alcala23@gmail.com o dany.alcala23@gmail.com

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender la solicitud.

Cajamarca, 06 de Febrero del 2025

[Firma]
 Firma del Usuario

DIRECTIVA N° 003-2019-SENAMHI-SG-DPP-LIM
 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Figura 23

c) Declaración jurada de los datos utilizados únicamente de uso exclusivo para la tesis

DECLARACION JURADA

Yo Dany Joelito Alayo Huamán identificado (a) con DNI
N° 47193424 con domicilio en Jr. Los Pinos 405 en el Distrito de
Cajamarca Provincia de Cajamarca Departamento
Cajamarca

DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo de
mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) - "ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA
DE LA PARTE ALTA DE LA M. PORCÓN" de la Universidad/Instituto
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Cajamarca 20 de febrero del 2015


Firma del Usuario

DIRECTIVA N° 003-2015-SENAMHI-SG-OPP-UM
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Nota: De la **figura 23** se desglosa los documentos a) b) y c) los cuales se presentaron al SENAMHI con una hoja membretada de la E.A.P de Ingeniería Hidráulica para que nos proporcionen la información meteorológica requerida para su modelamiento en el HydroAccess y así poder calcular la precipitación areal.

Figura 24

Correo enviado a Senamhi para información meteorológica.



Figura 25

Correo contestado por parte de Senamhi



Nota: La información que nos facilitó Senamhi fueron 5 estaciones con los datos de precipitaciones mensuales estación meteorológica de Porcón, Namora, Jesús, Weberbauer y Magdalena.

ANEXOS

ESTACIONES METEREOLÓGICAS

CORREGIDAS Y COMPLETADAS

AUGUSTO WEBERBAUER

GRANJA PORCÓN

SAN PABLO

NAMORA

MAGDALENA

E.M AUGUSTO WEBERBAUER - PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL COMPLETADA (mm)														
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROMEDIO
1965	82.4	101.1	128.9	78.1	10.4	0.0	6.2	0.0	49.2	83.6	66.0	67.9	673.7	56.1
1966	62.7	45.9	54.5	45.9	40.0	0.0	0.0	0.7	13.1	76.8	62.7	18.7	421.0	35.1
1967	119.8	139.5	109.1	32.3	44.1	10.3	28.4	5.8	24.9	101.0	17.8	36.7	669.7	55.8
1968	58.0	81.0	67.7	26.2	31.6	1.6	1.6	16.2	50.0	66.4	54.6	70.8	525.7	43.8
1969	42.0	101.2	83.5	85.7	31.7	19.6	0.3	6.6	18.4	65.3	106.4	162.0	722.6	60.2
1970	71.0	41.8	79.9	50.8	33.8	19.9	3.2	2.5	18.2	103.0	51.4	54.1	529.6	44.1
1971	58.4	97.8	275.7	54.7	8.0	12.2	17.6	17.2	28.1	89.8	45.8	70.4	775.7	64.6
1972	55.5	67.6	113.8	70.3	31.1	4.4	3.4	9.8	32.7	31.4	66.5	50.2	536.6	44.7
1973	95.3	70.8	92.5	101.6	23.7	28.7	8.4	19.3	91.0	67.0	65.5	75.0	738.8	61.6
1974	61.6	140.0	89.1	59.0	4.6	17.3	6.5	27.3	38.7	70.7	55.1	76.6	646.5	53.9
1975	94.8	156.5	202.0	68.8	66.8	9.0	7.2	19.3	45.1	80.2	65.1	0.9	815.7	68.0
1976	130.4	62.9	81.6	34.5	43.0	23.0	0.1	4.4	12.3	32.2	71.6	44.4	540.4	45.0
1977	129.9	146.4	141.9	42.6	25.5	8.0	7.5	0.1	16.1	53.4	54.8	68.2	694.4	57.9
1978	12.7	34.4	48.8	37.0	65.6	3.9	4.4	3.8	25.0	24.4	54.0	44.8	358.8	29.9
1979	84.1	81.6	159.7	37.1	16.3	1.8	7.5	15.7	33.6	24.4	26.3	46.6	534.7	44.6
1980	34.9	42.4	65.0	29.3	6.9	15.1	3.2	6.7	2.3	130.4	111.0	106.7	553.9	46.2
1981	78.2	186.5	105.7	33.7	14.7	6.6	7.2	12.7	22.0	111.5	45.6	111.3	735.7	61.3
1982	71.7	102.9	127.3	88.7	38.2	7.8	2.1	6.6	43.9	124.8	67.3	87.4	768.7	64.1
1983	116.6	75.7	152.8	105.7	31.1	10.1	9.6	2.7	19.2	86.9	28.1	118.4	756.9	63.1
1984	24.7	233.6	123.8	80.0	69.5	25.1	23.4	18.7	36.7	68.6	97.6	104.1	905.8	75.5
1985	24.6	42.4	37.2	41.9	53.0	0.4	4.8	18.3	37.3	50.0	23.9	40.3	374.1	31.2
1986	84.4	47.8	96.8	120.2	16.2	0.6	1.2	14.6	1.3	43.6	66.2	51.8	544.7	45.4
1987	98.2	95.0	39.2	52.6	9.1	4.0	10.8	12.3	39.5	37.2	74.3	61.5	533.7	44.5
1988	109.7	105.5	44.8	95.6	10.6	5.4	0.0	0.4	32.9	69.4	65.2	63.4	602.9	50.2
1989	87.0	158.8	113.5	85.4	18.8	16.7	3.2	5.9	53.5	106.6	47.1	2.7	699.2	58.3
1990	101.8	68.5	58.3	27.4	39.5	24.6	0.8	7.1	20.1	87.6	99.1	72.3	607.1	50.6
1991	43.8	90.0	133.7	55.2	17.9	0.7	0.4	0.3	10.2	28.2	55.1	71.9	507.4	42.3
1992	52.6	31.8	66.6	46.5	18.9	21.2	4.6	10.0	40.8	64.0	32.0	34.1	423.1	35.3
1993	61.0	106.2	245.0	102.9	30.2	1.9	3.3	2.9	51.4	106.3	71.4	84.1	866.6	72.2
1994	116.9	103.1	170.2	144.9	35.3	3.3	0.0	0.2	11.9	27.2	89.8	122.6	825.4	68.8
1995	43.8	108.3	75.7	49.7	20.6	1.7	13.2	10.8	11.5	51.8	50.5	76.4	514.0	42.8
1996	65.2	124.0	120.1	50.4	7.7	0.8	0.5	15.8	13.9	76.2	68.8	34.1	577.5	48.1
1997	64.8	152.9	26.5	40.4	17.0	15.4	0.2	0.0	27.4	50.8	119.9	129.4	644.7	53.7
1998	103.0	116.5	257.0	83.9	19.6	4.8	1.3	4.7	17.8	79.9	29.1	47.9	765.5	63.8
1999	94.8	242.7	77.5	65.0	53.7	22.8	22.1	1.2	81.4	21.7	77.0	68.9	828.8	69.1
2000	46.0	162.3	126.3	77.3	40.5	15.6	2.1	13.4	56.6	9.9	44.5	122.3	716.8	59.7
2001	191.2	100.8	230.2	57.2	48.1	2.3	13.9	0.0	34.4	46.2	93.4	90.9	908.6	75.7
2002	27.0	60.0	133.1	77.2	23.0	8.8	10.7	3.4	14.6	90.3	99.9	86.1	634.1	52.8
2003	51.1	61.4	103.5	42.1	30.7	22.3	1.8	10.6	14.8	46.0	63.8	80.7	528.8	44.1
2004	36.1	102.0	56.9	44.5	42.4	2.1	13.8	29.4	19.0	63.4	92.6	123.7	625.9	52.2
2005	84.9	53.7	136.6	54.0	7.2	4.5	0.6	3.5	31.2	92.3	30.0	87.8	586.3	48.9
2006	83.2	101.6	199.3	77.6	7.7	23.9	1.8	6.1	33.6	12.7	60.4	81.7	689.6	57.5
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	29.0	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8	751.2	62.6
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	96.5	72.2	74.1	760.6	63.4
2009	180.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.9	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2	794.8	66.2
2010	49.5	112.9	154.0	88.4	31.6	8.6	2.6	1.3	28.9	43.4	52.5	70.8	644.5	53.7
2011	76.6	73.3	125.2	102.0	16.7	0.4	8.3	0.0	47.1	31.5	24.4	109.7	615.2	51.3
2012	154.2	134.7	126.4	72.8	51.5	0.8	0.0	2.5	19.1	83.3	120.3	58.3	823.9	68.7
2013	61.5	98.0	213.6	73.8	62.6	7.5	5.7	8.9	3.7	110.7	17.0	51.9	714.9	59.6
2014	75.7	67.3	143.2	78.8	26.9	5.0	2.0	3.9	27.7	26.5	45.7	114.9	617.6	51.5
2015	184.7	55.4	202.2	63.0	75.8	3.0	4.4	0.1	27.8	16.8	99.6	39.5	772.3	64.4
2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7.0	1.6	2.1	1.1	25.1	60.0	16.1	63.1	521.8	43.5
2017	77.5	72.3	138.9	78.6	47.2	12.0	2.3	20.9	21.2	65.3	63.2	168.1	767.5	64.0
2018	99.0	126.4	117.3	73.3	50.1	10.8	0.5	0.0	24.4	61.8	97.4	69.4	730.4	60.9
2019	46.9	107.3	172.7	78.1	37.4	9.1	11.8	0.0	7.6	121.8	60.4	162.7	815.8	68.0
2020	38.2	31.2	127.5	71.4	31.9	9.6	27.6	0.7	10.6	33.2	58.3	140.4	580.7	48.4
2021	100.8	54.3	138.6	129.5	38.2	10.5	4.5	12.3	23.7	108.8	58.3	45.7	725.2	60.4
2022	64.5	177.9	161.2	94.0	52.7	20.2	9.4	21.6	40.9	31.2	6.3	65.0	744.9	62.1
2023	87.6	119.8	122.6	68.6	49.4	0.0	3.5	3.3	3.1	106.5	87.8	173.4	825.6	68.8
2024	56.6	98.1	69.1	79.1	42.1	13.1	2.8	1.0	24.5	60.7	41.8	129.6	618.5	51.5
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	79.5	98.1	123.3	69.2	32.0	9.6	6.2	7.8	27.8	66.8	63.3	78.8	662.3	55.2
Desv. Estan	37.9	46.8	55.8	26.4	17.7	8.1	6.7	7.5	17.6	31.8	27.7	38.4	129.7	10.8
Prec.Max	191.2	242.7	275.7	144.9	75.8	28.7	28.4	29.4	91.0	130.4	120.3	173.4	908.6	75.7
Prec. Min	12.7	17.5	26.5	26.2	4.6	0.0	0.0	0.0	1.3	9.9	6.3	0.9	358.8	29.9

	E.M GRANJA PORCÓN - PRECIPITACION TOTAL MENSUAL COMPLETADA (mm)													
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	PROMEDIO
1965	170.5	193.5	243.3	159.1	26.4	0.0	4.0	8.2	33.0	189.0	83.0	26.0	1136.0	94.7
1966	129.8	87.9	102.9	93.5	101.6	0.0	4.0	8.2	33.0	189.0	83.0	26.0	858.8	71.6
1967	269.0	290.0	216.0	85.0	62.0	7.0	30.5	33.0	28.0	188.5	23.0	105.5	1337.5	111.5
1968	102.0	154.5	168.5	82.5	22.0	3.0	11.5	37.5	117.5	158.5	123.0	173.5	1154.0	96.2
1969	79.5	176.5	183.0	167.5	18.5	64.0	5.5	15.0	42.0	105.0	208.0	182.5	1247.0	103.9
1970	107.0	123.5	140.5	127.0	91.0	33.5	22.5	25.0	74.0	122.5	207.0	117.5	1191.0	99.3
1971	140.0	130.5	476.5	153.5	117.5	65.0	72.0	37.5	76.0	220.5	163.0	166.0	1818.0	151.5
1972	104.0	150.0	257.0	149.5	55.2	14.5	0.0	24.8	71.2	30.5	174.2	119.7	1150.6	95.9
1973	186.3	99.5	203.0	198.3	62.0	70.6	33.9	124.4	139.4	22.0	173.9	121.3	1434.6	119.6
1974	146.8	108.7	159.7	204.4	51.0	60.0	18.0	59.0	45.0	80.1	62.5	104.0	1099.2	91.6
1975	108.1	23.3	175.2	224.7	61.9	32.5	3.0	53.5	16.0	117.0	91.0	20.0	926.2	77.2
1976	189.0	135.0	185.0	61.0	58.0	30.0	0.0	12.0	27.0	62.0	26.0	79.0	864.0	72.0
1977	197.0	236.0	175.0	100.5	29.5	13.5	6.5	2.0	62.5	96.5	149.5	85.0	1153.5	96.1
1978	40.0	105.5	51.5	88.5	88.2	0.0	25.8	0.0	66.9	70.4	191.0	189.5	917.3	76.4
1979	108.7	144.8	370.2	61.5	54.0	10.8	34.0	40.4	117.3	48.2	27.3	108.1	1125.3	93.8
1980	70.0	37.3	166.9	69.6	73.6	11.8	0.0	5.7	2.2	247.2	221.1	161.0	1066.4	88.9
1981	94.1	257.3	190.0	153.1	65.6	0.0	0.0	0.0	6.5	160.6	60.3	90.8	1078.3	89.9
1982	56.8	19.2	72.2	32.6	97.1	21.3	4.8	16.7	95.6	241.8	132.7	185.0	975.8	81.3
1983	241.3	144.9	288.4	215.3	79.0	27.6	26.3	6.8	41.8	168.3	55.4	250.6	1545.9	128.8
1984	51.1	447.3	233.7	134.0	0.0	0.0	64.0	47.3	79.9	132.9	192.5	220.4	1603.1	133.6
1985	50.9	81.2	70.2	85.3	134.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.8	85.3	509.9	42.5
1986	174.7	41.0	6.0	74.2	41.2	1.6	3.3	50.0	10.9	84.5	51.8	133.2	672.3	56.0
1987	203.2	181.9	126.5	107.1	23.1	0.0	29.6	0.0	86.0	72.1	161.6	130.2	1121.3	93.4
1988	305.5	202.0	63.6	194.7	18.6	15.6	6.4	5.3	30.6	133.7	112.6	134.2	1222.8	101.9
1989	188.7	216.8	85.0	89.9	18.5	0.0	0.0	0.0	46.5	77.0	51.5	0.0	773.9	64.5
1990	29.7	85.4	110.0	127.2	100.4	35.6	0.9	0.6	139.7	262.0	250.2	103.6	1245.3	103.8
1991	94.7	172.3	509.6	248.6	287.0	6.3	1.1	0.8	78.7	54.6	222.0	152.2	1827.9	152.3
1992	108.9	60.9	137.1	119.1	48.0	58.0	12.6	25.3	88.8	124.0	63.1	72.2	918.0	76.5
1993	126.2	203.3	462.4	209.6	76.7	5.2	9.0	7.3	111.9	205.9	140.8	178.0	1736.6	144.7
1994	241.9	197.4	321.3	295.1	89.7	9.0	0.0	0.5	25.9	52.7	177.1	259.5	1670.2	139.2
1995	139.7	228.8	217.7	127.8	112.7	12.6	36.1	48.9	54.9	96.5	125.9	243.9	1445.5	120.5
1996	198.8	407.5	312.7	141.3	59.7	49.7	0.0	20.3	48.5	232.9	80.6	58.6	1610.6	134.2
1997	186.9	190.3	123.2	260.0	81.0	18.5	39.0	9.9	80.5	169.2	301.6	305.1	1765.2	147.1
1998	168.5	380.5	298.7	243.2	85.4	0.0	0.0	14.8	67.6	234.7	158.8	101.4	1753.6	146.1
1999	210.3	494.2	253.5	126.0	166.7	53.9	20.3	6.4	228.3	65.3	138.6	166.4	1929.9	160.8
2000	74.8	237.0	221.1	168.6	160.7	40.7	1.6	16.3	123.2	19.3	62.8	236.5	1362.6	113.6
2001	341.1	227.7	419.2	92.6	88.7	17.6	15.2	0.4	145.2	169.5	156.1	171.8	1845.1	153.8
2002	76.2	188.8	390.1	159.0	38.1	27.8	15.2	2.6	53.3	202.1	226.5	243.0	1622.7	135.2
2003	103.8	134.9	124.3	81.2	76.0	54.4	28.9	15.6	47.2	101.8	112.6	100.0	980.7	81.7
2004	70.3	230.4	168.2	82.4	75.4	11.7	41.0	19.1	84.8	147.0	168.0	240.9	1339.2	111.6
2005	157.8	231.2	343.3	93.1	91.6	53.7	0.0	7.1	54.4	152.8	28.6	164.8	1378.4	114.9
2006	145.5	188.1	345.7	184.7	62.8	62.0	5.1	15.7	116.6	39.8	158.5	183.6	1508.1	125.7
2007	246.6	64.5	352.3	226.3	57.7	1.1	42.6	20.1	32.8	171.8	211.1	170.4	1597.3	133.1
2008	190.6	291.2	252.4	150.3	76.0	73.3	16.0	11.0	110.9	182.6	133.2	66.4	1553.9	129.5
2009	344.8	197.5	307.3	149.6	127.4	31.3	18.1	8.0	27.0	184.0	187.9	234.8	1817.7	151.5
2010	108.0	169.7	275.7	163.5	83.1	39.4	44.3	33.6	31.2	82.7	96.5	182.6	1310.3	109.2
2011	257.0	148.9	284.6	269.4	21.2	8.5	13.7	4.8	55.4	84.5	93.0	265.4	1506.4	125.5
2012	325.9	320.0	155.7	210.7	109.6	32.4	0.0	45.8	33.7	137.7	202.5	67.6	1641.6	136.8
2013	141.0	279.9	352.4	196.2	193.4	32.8	17.7	33.8	30.4	174.5	33.2	238.5	1723.8	143.7
2014	137.4	189.9	228.0	103.4	79.3	5.1	9.6	10.5	65.8	97.4	91.4	209.3	1227.1	102.3
2015	370.6	159.6	286.4	108.9	158.4	1.7	9.7	0.4	24.6	88.4	126.3	107.8	1442.8	120.2
2016	166.5	133.4	163.5	137.1	36.8	44.9	1.1	0.0	45.7	146.9	41.4	172.9	1090.2	90.9
2017	156.0	235.8	367.0	133.3	170.7	43.9	1.2	49.9	51.7	146.8	37.7	228.9	1622.9	135.2
2018	262.5	198.3	201.7	153.0	111.3	8.2	0.0	2.5	59.0	157.1	152.9	162.3	1468.8	122.4
2019	93.6	154.3	378.2	137.3	62.8	5.8	14.1	0.0	21.6	190.2	176.5	311.7	1546.1	128.8
2020	62.9	140.0	240.7	87.8	40.2	15.5	48.0	19.0	25.3	48.2	114.2	354.4	1196.2	99.7
2021	282.3	139.4	288.6	137.7	63.7	52.6	5.9	22.6	83.2	224.4	179.3	241.5	1721.2	143.4
2022	167.1	321.6	286.5	159.0	56.2	52.7	5.0	27.5	86.2	57.3	21.8	162.4	1403.3	116.9
2023	221.0	246.8	217.1	144.9	58.5	8.4	2.7	26.2	7.1	141.5	125.4	301.2	1500.8	125.1
2024	198.7	136.6	133.8	147.0	143.1	30.0	2.2	2.2	31.7	132.0	35.4	330.0	1322.7	110.2
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	162.0	186.2	232.3	144.8	80.0	24.8	14.7	19.0	62.0	129.9	124.3	163.4	1343.6	112.0
Desv. Estan	82.0	96.8	111.1	57.7	49.9	22.3	17.0	21.6	42.5	64.9	68.4	81.0	324.9	27.1
Prec.Max	370.6	494.2	509.6	295.1	287.0	73.3	72.0	124.4	228.3	262.0	301.6	354.4	1929.9	160.8
Prec. Min	29.7	19.2	6.0	32.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.8	0.0	509.9	42.5

	E.M SAN PABLO - PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL COMPLETADA (mm)													
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROMEDIO
1965	108.4	163.7	226.5	95.6	7.9	0.0	2.7	0.0	25.0	44.3	32.9	67.6	774.7	64.6
1966	82.5	74.4	95.8	56.2	30.4	0.0	0.0	0.2	6.6	40.7	31.3	18.6	436.7	36.4
1967	157.6	226.0	191.7	39.5	33.5	5.4	12.6	1.8	12.6	53.5	8.9	36.6	779.7	65.0
1968	76.3	131.2	119.0	32.1	24.0	0.8	0.7	5.0	25.4	35.2	27.2	70.5	547.5	45.6
1969	55.3	163.9	146.7	104.9	24.1	10.3	0.1	2.0	9.3	34.6	53.1	161.4	765.7	63.8
1970	93.4	67.7	140.4	62.2	25.7	10.4	1.4	0.8	9.2	54.6	25.6	53.9	545.4	45.4
1971	76.8	158.5	484.4	67.0	6.1	6.4	7.8	5.3	14.3	47.6	22.9	70.1	967.1	80.6
1972	73.0	109.5	200.0	86.0	23.6	2.3	1.5	3.0	16.6	16.6	33.2	50.0	615.4	51.3
1973	125.4	114.7	162.5	124.4	18.0	15.0	3.7	6.0	46.2	35.5	32.7	74.7	758.8	63.2
1974	81.0	226.8	156.6	72.2	3.5	9.1	2.9	8.5	19.6	37.5	27.5	76.3	721.5	60.1
1975	124.7	253.6	354.9	84.2	50.8	4.7	3.2	6.0	22.9	42.5	32.5	0.9	980.9	81.7
1976	171.6	101.9	143.4	42.2	32.7	12.0	0.0	1.4	6.2	17.1	35.7	44.2	608.5	50.7
1977	170.9	237.2	249.3	52.2	19.4	4.2	3.3	0.0	8.2	28.3	27.3	67.9	868.3	72.4
1978	16.7	55.7	85.7	45.3	49.9	2.0	1.9	1.2	12.7	12.9	26.9	44.6	355.7	29.6
1979	110.6	132.2	280.6	45.4	12.4	0.9	3.3	4.9	17.0	12.9	13.1	46.4	679.9	56.7
1980	45.9	68.7	114.2	35.9	5.2	7.9	1.4	2.1	1.2	69.1	55.4	106.3	513.3	42.8
1981	102.9	302.2	185.7	41.3	11.2	3.5	3.2	3.9	11.2	59.1	22.8	110.9	857.7	71.5
1982	94.3	166.7	223.7	108.6	29.0	4.1	0.9	2.0	22.3	66.1	33.6	87.1	838.5	69.9
1983	153.4	122.7	268.5	129.4	23.6	5.3	4.3	0.8	9.7	46.0	14.0	118.0	895.7	74.6
1984	32.5	378.5	217.5	97.9	52.8	13.1	10.4	5.8	18.6	36.3	48.7	103.7	1016.0	84.7
1985	32.4	68.7	65.4	51.3	40.3	0.2	2.1	5.7	18.9	26.5	11.9	40.1	363.5	30.3
1986	111.0	77.4	170.1	147.2	12.3	0.3	0.5	4.5	0.7	23.1	33.0	51.6	631.8	52.7
1987	129.2	153.9	68.9	64.4	6.9	2.1	4.8	3.8	20.0	19.7	37.1	61.3	572.1	47.7
1988	144.3	170.9	78.7	117.0	8.1	2.8	0.0	0.1	16.7	36.8	32.5	63.2	671.2	55.9
1989	114.5	257.3	199.4	104.6	14.3	8.7	1.4	1.8	27.1	56.5	23.5	2.7	811.8	67.7
1990	133.9	111.0	102.4	33.5	30.0	12.9	0.4	2.2	10.2	46.4	49.5	72.0	604.4	50.4
1991	57.6	145.8	234.9	67.6	13.6	0.4	0.2	0.1	5.2	14.9	27.5	71.6	639.4	53.3
1992	69.2	51.5	117.0	56.9	14.4	11.1	2.0	3.1	20.7	33.9	16.0	34.0	429.8	35.8
1993	80.2	172.1	430.5	126.0	23.0	1.0	1.5	0.9	26.1	56.3	35.6	83.8	1036.9	86.4
1994	153.8	167.1	299.1	177.4	26.8	1.7	0.0	0.1	6.0	14.4	44.8	122.1	1013.3	84.4
1995	57.6	175.5	133.0	60.8	15.7	0.9	5.8	3.4	5.8	27.4	25.2	76.1	587.3	48.9
1996	85.8	200.9	211.0	61.7	5.9	3.7	0.8	8.9	4.5	40.3	5.4	17.9	646.8	53.9
1997	25.2	147.0	41.4	71.2	2.4	10.2	0.0	0.0	45.2	69.1	98.3	317.6	827.6	69.0
1998	285.6	300.6	527.8	151.3	25.7	1.3	0.0	1.3	8.0	31.7	12.5	38.6	1384.4	115.4
1999	120.5	303.9	96.9	85.3	53.0	22.4	23.0	0.0	46.5	12.8	14.4	49.1	827.8	69.0
2000	57.1	158.6	301.0	98.8	63.8	11.1	0.0	1.0	14.8	5.6	27.6	110.8	850.2	70.9
2001	209.9	128.9	437.9	125.1	22.1	2.4	4.1	0.0	41.3	15.4	50.6	41.8	1079.5	90.0
2002	10.7	189.7	369.2	85.9	7.8	7.0	0.0	0.0	1.0	34.9	102.5	79.0	887.7	74.0
2003	48.0	124.9	91.1	69.4	11.4	14.5	0.0	0.0	9.2	4.9	16.3	50.8	440.5	36.7
2004	18.2	137.2	102.0	55.4	14.5	5.2	10.9	0.0	19.4	40.3	24.3	61.7	489.1	40.8
2005	107.4	51.6	150.8	56.1	5.1	1.1	0.0	0.0	6.7	30.9	6.0	33.6	449.3	37.4
2006	124.4	164.6	350.2	56.8	6.9	13.1	0.0	5.6	8.0	3.3	47.1	141.6	921.6	76.8
2007	157.9	22.6	227.9	88.5	22.0	2.0	3.7	5.0	2.6	44.1	33.3	36.9	646.5	53.9
2008	148.7	291.2	253.8	79.8	11.3	2.8	0.0	0.0	17.3	47.8	38.9	25.9	917.5	76.5
2009	175.8	231.3	209.1	33.4	22.9	7.7	16.8	9.2	12.4	69.2	59.2	52.5	899.5	75.0
2010	52.0	182.0	149.6	60.3	14.7	2.4	2.3	1.3	7.3	11.7	16.7	36.4	536.7	44.7
2011	91.1	71.4	101.0	145.1	1.9	0.0	6.4	0.0	21.7	2.4	16.3	109.5	566.8	47.2
2012	178.1	282.1	207.6	134.3	37.1	1.1	0.0	4.2	7.8	49.0	67.4	62.0	1030.7	85.9
2013	65.6	185.1	243.6	39.5	46.2	0.9	0.0	4.8	0.0	48.2	0.7	74.9	709.5	59.1
2014	93.5	42.9	164.8	45.7	50.8	0.0	0.0	0.0	15.0	33.9	36.3	68.0	550.9	45.9
2015	133.7	76.9	321.8	79.3	36.0	0.0	0.0	0.0	1.5	52.5	59.9	107.8	869.4	72.5
2016	73.6	223.5	122.9	89.2	2.9	1.4	0.0	0.0	5.6	16.1	1.0	45.6	581.8	48.5
2017	179.5	234.0	432.1	104.7	26.6	2.5	0.0	1.8	8.2	77.7	19.8	35.1	1122.0	93.5
2018	79.6	101.8	133.4	112.3	48.1	2.0	0.0	0.0	25.3	27.7	16.3	75.5	622.0	51.8
2019	77.2	248.3	186.3	63.2	24.7	4.2	1.3	0.0	4.6	46.0	22.3	118.2	796.3	66.4
2020	22.2	48.5	224.1	87.4	24.3	5.0	7.3	0.0	9.7	6.2	21.9	93.0	549.6	45.8
2021	126.5	36.2	269.5	77.8	20.1	8.7	2.2	14.0	15.3	98.1	24.6	78.0	771.0	64.3
2022	59.4	147.1	141.3	67.4	34.1	5.8	0.0	7.5	26.2	9.5	0.0	60.3	558.6	46.6
2023	136.7	207.5	322.8	152.9	19.0	6.5	0.8	5.4	3.0	75.6	59.2	179.6	1169.0	97.4
2024	69.3	115.7	26.1	58.2	23.0	0.5	0.0	0.0	21.1	21.4	16.6	75.5	427.4	35.6
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Media	100.8	157.7	206.1	81.1	22.9	5.1	2.7	2.6	14.7	36.2	31.0	72.8	733.6	61.1
Desv. Estand	53.2	79.5	112.2	35.0	15.0	4.9	4.36	3.02	11.05	21.04	20.29	47.87	219.02	18.25
Prec.Max	285.6	378.5	527.8	177.4	63.8	22.4	23.0	14.0	46.5	98.1	102.5	317.6	1384.4	115.4
Prec. Min	10.7	22.6	26.1	32.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.9	355.7	29.6

	E.M NAMORA - PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL COMPLETADA (mm)														
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	PROMEDIO	
1965	45.4	67.2	130.2	70.5	27.6	0.8	4.7	7.9	45.7	103.8	51.1	85.4	640.3	53.4	
1966	39.0	35.2	24.7	29.2	42.7	0.0	14.2	0.5	41.7	101.8	43.3	14.5	386.8	32.2	
1967	137.1	149.0	111.5	39.1	30.0	4.7	8.2	6.3	15.5	132.5	52.3	49.1	735.3	61.3	
1968	67.8	68.7	33.9	26.5	34.2	0.3	1.7	17.2	39.8	81.0	12.2	65.9	449.2	37.4	
1969	21.0	137.0	90.4	83.4	13.5	16.7	3.6	17.1	28.0	69.5	57.5	80.0	617.7	51.5	
1970	56.2	23.3	53.7	52.2	34.1	23.3	8.0	0.0	21.3	126.7	52.6	94.0	545.4	45.4	
1971	31.0	35.8	132.6	7.4	12.5	11.1	19.4	13.3	31.6	84.9	24.5	73.1	477.2	39.8	
1972	9.1	27.5	105.0	117.0	25.3	4.8	2.6	6.1	38.8	55.4	54.6	71.5	517.7	43.1	
1973	120.1	82.3	54.3	161.1	5.1	45.2	2.1	2.4	76.4	50.8	99.2	84.7	783.7	65.3	
1974	102.1	103.1	72.0	24.3	5.1	16.5	0.0	39.4	102.9	74.1	33.8	39.7	613.0	51.1	
1975	80.4	99.1	225.5	59.1	67.8	0.0	23.7	17.6	38.7	44.3	53.4	7.2	716.8	59.7	
1976	90.1	170.6	56.5	59.1	43.9	8.0	1.1	6.3	5.0	53.9	22.3	106.1	622.9	51.9	
1977	133.0	168.0	114.1	30.1	18.1	15.5	2.9	0.0	28.2	57.4	79.5	103.7	750.5	62.5	
1978	23.6	73.9	40.3	79.5	85.3	4.1	24.3	4.0	24.7	46.3	47.0	101.9	554.9	46.2	
1979	69.3	167.3	115.8	45.0	20.4	1.3	18.0	23.1	35.4	10.7	37.1	54.1	597.5	49.8	
1980	38.8	17.2	124.7	30.7	30.0	3.1	0.0	8.1	4.5	238.4	149.6	22.8	667.9	55.7	
1981	107.4	156.0	29.0	19.9	41.0	7.4	0.0	23.6	14.1	122.6	19.8	94.7	635.5	53.0	
1982	78.2	23.7	77.0	60.1	45.6	0.0	9.9	0.0	70.8	143.0	154.9	157.3	820.5	68.4	
1983	176.9	41.1	138.0	196.9	65.0	32.7	7.5	15.0	0.0	101.1	28.6	37.1	839.9	70.0	
1984	9.8	225.5	75.6	93.9	38.6	9.7	14.9	16.6	0.0	155.1	82.9	43.9	766.5	63.9	
1985	24.9	46.9	48.5	192.3	38.1	8.2	51.1	19.6	30.0	23.2	40.7	86.0	609.5	50.8	
1986	124.3	63.4	85.8	141.4	36.8	0.0	2.5	7.1	3.9	51.9	78.5	88.9	684.5	57.0	
1987	119.5	124.9	86.6	91.5	16.3	4.6	10.7	12.7	52.4	45.8	83.3	76.9	725.2	60.4	
1988	150.5	106.2	52.5	160.3	11.4	6.3	0.0	0.0	26.9	63.9	86.6	79.3	743.9	62.0	
1989	105.9	144.2	126.8	104.3	24.4	18.8	3.7	6.5	36.5	131.1	52.8	3.4	758.4	63.2	
1990	123.9	78.4	65.1	33.5	51.4	27.7	0.9	7.8	21.6	107.7	111.1	90.4	719.5	60.0	
1991	38.5	99.9	149.3	48.2	43.6	2.3	0.5	0.3	10.9	34.7	61.8	89.9	580.0	48.3	
1992	64.0	36.4	74.4	56.8	22.4	23.9	5.3	10.9	43.8	78.7	35.9	44.0	496.5	41.4	
1993	94.9	176.5	273.6	125.7	39.3	2.1	3.8	3.2	55.2	130.7	80.1	136.0	1121.1	93.4	
1994	142.3	117.9	262.6	177.0	45.9	3.7	0.0	0.2	12.8	50.8	62.0	110.5	985.7	82.1	
1995	53.3	131.9	84.5	47.6	26.8	1.9	15.3	11.8	12.3	68.6	56.6	121.9	632.7	52.7	
1996	79.3	181.3	251.7	61.6	10.0	0.9	0.6	17.3	14.9	91.0	77.2	42.6	828.4	69.0	
1997	78.9	174.9	29.6	78.4	22.1	17.4	0.2	0.9	22.6	62.5	106.4	161.8	755.7	63.0	
1998	160.6	202.0	204.0	153.0	34.4	1.1	0.0	2.6	21.6	110.2	66.1	72.9	1028.5	85.7	
1999	115.9	308.7	114.5	56.8	77.8	44.7	6.6	1.0	88.2	32.0	71.2	95.9	1013.3	84.4	
2000	46.0	173.9	194.8	97.2	139.3	12.4	1.8	23.7	73.5	24.7	65.8	157.9	1011.0	84.3	
2001	258.3	109.3	238.5	52.9	61.7	0.4	2.9	0.0	24.6	91.8	106.5	125.0	1071.9	89.3	
2002	59.0	118.1	235.4	102.9	23.3	5.8	13.9	7.0	55.1	116.2	87.9	153.7	978.3	81.5	
2003	46.2	110.5	119.8	87.3	23.5	19.1	3.1	10.1	16.3	67.9	111.4	93.6	708.8	59.1	
2004	68.3	102.0	75.7	37.8	40.4	5.1	14.1	6.2	18.8	91.5	83.9	134.2	678.0	56.5	
2005	126.9	73.1	205.8	81.3	22.1	1.0	1.4	5.6	9.2	126.3	13.9	153.5	820.1	68.3	
2006	91.6	92.1	253.6	93.1	8.0	40.7	2.9	11.5	47.9	53.4	80.4	124.2	899.4	75.0	
2007	188.1	34.2	246.5	127.0	50.4	0.0	6.4	6.9	22.2	142.4	153.3	109.5	1086.9	90.6	
2008	124.5	176.0	151.9	104.2	32.3	31.1	1.9	9.5	52.3	141.3	83.0	38.4	946.4	78.9	
2009	249.5	117.0	192.8	127.9	59.5	17.9	6.9	7.8	10.8	116.2	121.5	133.8	1161.6	96.8	
2010	68.6	116.7	175.5	68.9	24.2	20.2	9.9	0.0	30.2	49.1	86.8	122.4	772.5	64.4	
2011	122.3	108.9	150.5	171.4	4.6	0.3	10.4	1.3	33.8	28.0	59.0	146.2	836.7	69.7	
2012	222.7	127.7	118.7	121.1	34.3	7.7	0.0	5.0	4.6	149.3	109.0	50.8	950.9	79.2	
2013	61.3	106.9	280.5	89.0	88.2	0.4	0.7	19.9	1.9	85.1	29.9	113.5	877.3	73.1	
2014	98.3	112.8	176.6	63.3	89.2	1.3	4.3	0.0	22.9	49.7	76.8	153.8	849.0	70.8	
2015	223.3	92.3	239.7	70.7	141.7	0.2	3.5	0.2	2.9	23.3	124.0	60.5	982.3	81.9	
2016	94.7	149.6	79.9	117.6	25.4	16.6	0.8	3.5	28.9	53.1	16.7	160.3	747.1	62.3	
2017	143.7	35.3	240.7	103.4	75.7	25.5	0.0	18.2	24.8	91.6	42.5	139.6	941.0	78.4	
2018	110.2	140.0	115.8	86.6	94.7	6.8	0.0	2.8	29.5	76.0	159.3	84.2	905.9	75.5	
2019	49.4	172.3	240.9	94.3	36.3	4.5	4.3	0.0	16.9	91.5	58.2	160.5	929.1	77.4	
2020	37.8	52.6	142.4	87.2	41.5	10.9	29.6	1.7	14.7	37.3	91.8	195.7	743.2	61.9	
2021	127.5	63.7	171.4	61.0	52.0	16.6	4.6	16.2	41.0	134.4	84.6	94.5	867.5	72.3	
2022	69.5	170.6	167.5	105.1	37.9	7.7	3.3	9.3	33.2	32.3	11.8	77.5	725.7	60.5	
2023	122.7	152.0	117.0	75.5	46.8	1.8	0.0	7.7	5.4	127.0	119.2	191.4	966.5	80.5	
2024	72.5	117.5	58.3	96.6	28.2	21.2	2.3	0.0	15.9	49.0	44.2	107.4	613.1	51.1	
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Media	96.60	111.50	135.08	85.61	41.13	10.73	6.62	8.34	29.23	83.08	70.80	111.50	135.08	85.61	
Desv. Estan	56.76	57.61	73.05	44.37	28.53	11.63	8.97	8.11	21.94	43.36	36.85	45.20	56.76	57.61	
Prec.Max	258.3	308.7	280.5	196.9	141.7	45.2	51.1	39.4	102.9	238.4	159.3	195.7	258.3	308.7	
Prec. Min	9.1	17.2	24.7	7.4	4.6	0	0	0	0	10.7	11.8	3.3768758	9.1	17.2	

	E.M MAGDALENA - PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL COMPLETADA (mm)													
AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	Promedio
1965	63.8	93.9	140.2	60.3	4.8	0.0	0.7	0.0	13.0	31.4	26.1	45.3	479.4	40.0
1966	48.6	42.6	59.3	35.5	18.5	0.0	0.0	0.1	3.4	28.9	24.8	12.5	274.1	22.8
1967	92.8	129.6	118.7	25.0	20.4	3.1	3.1	0.7	6.6	38.0	7.0	24.5	469.4	39.1
1968	44.9	75.2	73.6	20.2	14.6	0.5	0.2	1.9	13.2	25.0	21.6	47.2	338.1	28.2
1969	32.5	94.0	90.8	66.2	14.7	6.0	0.0	0.8	4.8	24.5	42.0	108.1	484.4	40.4
1970	55.0	38.8	86.9	39.2	15.7	6.1	0.4	0.3	4.8	38.7	20.3	36.1	342.2	28.5
1971	45.2	90.8	299.9	42.3	3.7	3.7	1.9	2.0	7.4	33.8	18.1	47.0	595.7	49.6
1972	43.0	62.8	123.8	54.3	14.4	1.3	0.4	1.1	8.6	11.8	26.3	33.5	381.2	31.8
1973	73.8	65.8	100.6	78.5	11.0	8.7	0.9	2.2	24.0	25.2	25.9	50.0	466.6	38.9
1974	47.7	130.0	96.9	45.6	2.1	5.3	0.7	3.1	10.2	26.6	21.8	51.1	441.1	36.8
1975	73.4	145.3	219.7	53.1	31.0	2.7	0.8	2.2	11.9	30.1	25.7	0.6	596.7	49.7
1976	101.0	58.4	88.8	26.6	19.9	7.0	0.0	0.5	3.2	12.1	28.3	29.6	375.5	31.3
1977	100.6	136.0	154.3	32.9	11.8	2.4	0.8	0.0	4.2	20.1	21.6	45.5	530.4	44.2
1978	9.8	31.9	53.1	28.6	30.4	1.2	0.5	0.4	6.6	9.2	21.3	29.9	222.9	18.6
1979	65.2	75.8	173.7	28.7	7.6	0.5	0.8	1.8	8.8	9.2	10.4	31.1	413.5	34.5
1980	27.0	39.4	70.7	22.6	3.2	4.6	0.4	0.8	0.6	49.0	43.8	71.2	333.3	27.8
1981	60.6	173.2	115.0	26.0	6.8	2.0	0.8	1.5	5.8	41.9	18.0	74.3	525.8	43.8
1982	55.5	95.6	138.5	68.5	17.7	2.4	0.2	0.8	11.6	46.9	26.6	58.3	522.5	43.5
1983	90.3	70.3	166.2	81.6	14.4	3.1	1.1	0.3	5.1	32.7	11.1	79.0	555.1	46.3
1984	19.1	217.0	134.7	61.8	32.2	7.6	2.6	2.1	9.7	25.8	38.5	69.5	620.6	51.7
1985	19.1	39.4	40.5	32.4	24.6	0.1	0.5	2.1	9.8	18.8	9.4	26.9	223.5	18.6
1986	65.4	44.4	105.3	92.8	7.5	0.2	0.1	1.7	0.3	16.4	26.1	34.6	394.8	32.9
1987	76.1	88.2	42.6	40.6	4.2	1.2	1.2	1.4	10.4	14.0	29.3	41.0	350.4	29.2
1988	85.0	98.0	48.7	73.8	4.9	1.6	0.0	0.0	8.7	26.1	25.7	42.3	414.9	34.6
1989	67.4	147.5	123.4	66.0	8.7	5.1	0.4	0.7	14.1	40.1	18.6	1.8	493.7	41.1
1990	78.9	63.6	63.4	21.2	18.3	7.5	0.1	0.8	5.3	32.9	39.1	48.2	379.4	31.6
1991	33.9	83.6	145.4	42.6	8.3	0.2	0.0	0.0	2.7	10.6	21.8	48.0	397.2	33.1
1992	40.8	29.5	72.4	35.9	8.8	6.5	0.5	1.1	10.7	24.1	12.6	22.8	265.7	22.1
1993	47.3	98.6	266.5	79.5	14.0	0.6	0.4	0.3	13.5	40.0	28.2	56.1	644.9	53.7
1994	90.6	95.8	185.1	111.9	16.4	0.0	0.0	0.0	7.1	2.7	18.7	50.6	578.8	48.2
1995	28.1	82.2	94.9	47.7	12.6	2.2	0.0	1.2	2.9	18.2	12.2	44.7	346.9	28.9
1996	65.3	103.4	123.2	61.4	1.6	3.7	0.0	0.5	6.3	17.3	8.8	0.0	391.5	32.6
1997	13.3	84.8	28.6	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	47.9	33.6	80.8	144.0	474.9	39.6
1998	125.4	192.7	283.1	65.3	13.6	0.0	0.0	0.0	7.4	19.2	10.3	6.5	723.5	60.3
1999	76.0	185.4	40.5	57.1	40.9	20.6	5.3	0.0	31.2	7.1	21.5	38.2	523.8	43.7
2000	32.6	112.5	141.0	66.0	60.9	4.8	0.0	2.2	7.0	8.2	36.3	128.2	599.7	50.0
2001	128.8	56.1	261.1	56.7	23.5	0.0	0.0	0.0	13.4	13.3	41.7	36.6	631.2	52.6
2002	27.8	77.4	155.5	47.4	0.0	3.7	0.0	0.0	7.9	40.9	74.1	65.8	500.5	41.7
2003	27.3	56.1	87.6	24.2	14.2	4.2	0.0	0.0	0.7	1.7	19.3	39.7	275.0	22.9
2004	7.1	71.7	57.2	37.5	12.2	0.0	2.7	0.6	2.9	22.5	16.5	32.9	263.8	22.0
2005	59.9	29.7	135.2	18.1	0.8	0.8	0.0	0.0	6.3	14.3	6.2	29.3	300.6	25.1
2006	83.9	111.6	228.4	66.4	0.0	8.6	0.0	4.9	8.1	0.0	22.4	79.1	613.4	51.1
2007	71.3	15.3	217.7	59.1	9.8	4.1	0.0	2.2	0.0	40.3	22.2	34.9	476.9	39.7
2008	96.0	146.5	116.6	38.8	9.8	1.7	0.9	0.0	13.6	22.7	48.5	0.0	495.1	41.3
2009	166.0	109.9	136.9	34.6	17.5	8.2	7.4	0.9	0.0	38.4	27.6	35.2	582.6	48.6
2010	28.0	117.0	122.7	47.2	8.9	0.3	0.0	0.0	2.3	8.0	18.8	25.1	378.3	31.5
2011	55.5	42.3	82.1	123.4	10.0	0.0	0.0	0.0	10.3	10.4	8.5	74.0	416.5	34.7
2012	93.9	174.6	141.9	64.8	10.4	0.7	0.0	0.0	0.6	43.0	47.7	45.4	623.0	51.9
2013	36.8	123.9	207.6	26.7	30.3	1.0	0.0	0.0	0.0	59.0	0.0	62.5	547.8	45.7
2014	35.0	61.6	126.6	30.2	21.7	3.1	0.0	0.3	5.4	45.7	26.3	72.0	427.9	35.7
2015	86.0	38.4	187.0	49.2	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	21.9	58.6	55.1	513.9	42.8
2016	33.2	67.7	132.3	54.1	1.0	4.9	0.0	0.0	0.8	10.4	1.6	23.2	329.2	27.4
2017	71.5	61.4	269.9	55.7	10.0	2.8	0.0	2.5	2.4	31.7	7.8	42.2	557.9	46.5
2018	51.3	91.4	96.3	43.1	41.6	4.1	0.0	0.0	2.8		39.3	65.8	435.7	39.6
2019	26.5	182.9	126.3	53.0	10.0	0.2	1.4	0.0	0.6	32.2	17.3	99.8	550.2	45.9
2020	17.2	24.8	45.9	50.5	13.6	0.0	3.0	0.0	8.6	7.2	10.8	78.3	259.9	21.7
2021	91.0	30.6	140.4	49.3	12.8	7.0	0.0	6.8	1.5	78.3	23.0	31.2	471.9	39.3
2022	44.7	66.1	109.2	62.8	13.0	2.4	0.4	2.6	17.4	8.7	1.0	49.7	378.0	31.5
2023	105.7	82.1	111.7	80.5	22.3	1.2	0.0	3.2	1.2	83.0	43.3	77.2	611.4	51.0
2024	55.8	82.2	19.4	56.1	7.3	0.2	0.0	0.0	10.5	13.4	3.1	63.1	311.1	25.9
N° Datos	60	60	60	60	60	60	60	60	60	59	60	60	60	60
Media	59.9	89.0	127.1	51.1	14.3	3.0	0.7	1.0	7.8	26.0	24.4	48.3	452.1	37.7
Desv. Estan	32.04	46.49	65.92	21.63	11.24	3.49	1.32	1.31	7.89	16.99	16.12	28.45	120.72	10.06
Prec.Max	166.0	217.0	299.9	123.4	60.9	20.6	7.4	6.8	47.9	83.0	80.8	144.0	723.5	60.3
Prec. Min	7.1	15.3	19.4	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	222.9	18.6

ANEXOS

PRECIPITACIÓN AREAL CON EL SOFTWARE HYDRACCCES

Figura 26

Interfaz del Software Hydraccess.

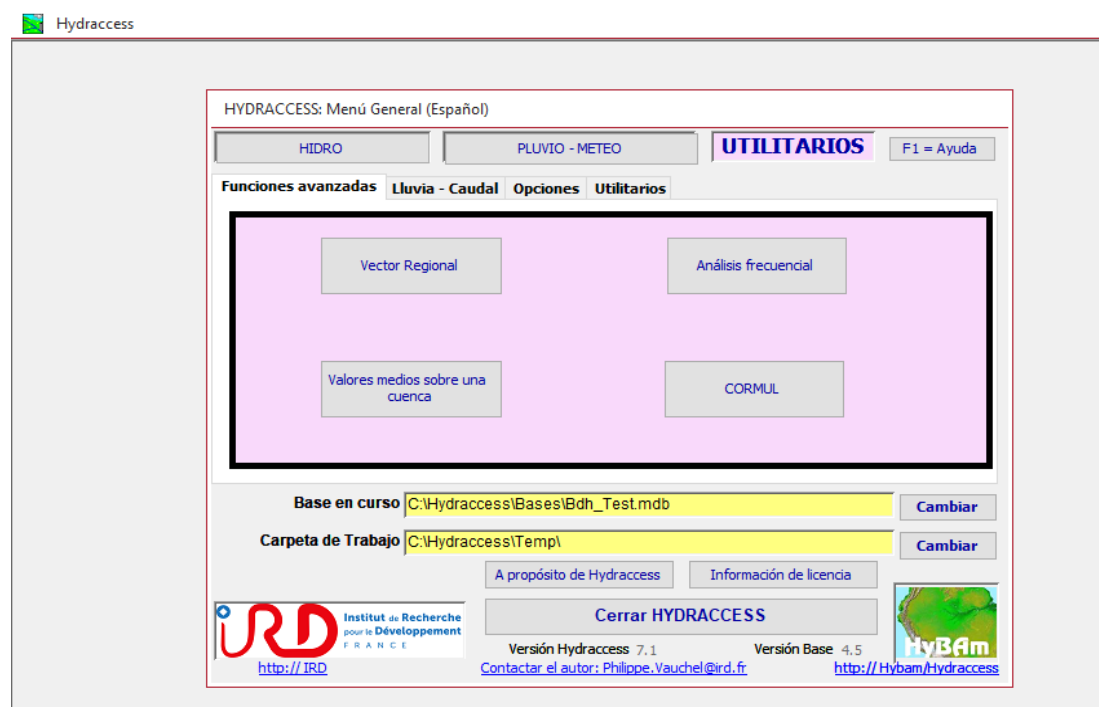


Figura 27

Microcuenca Porcón archivo Shapefile.

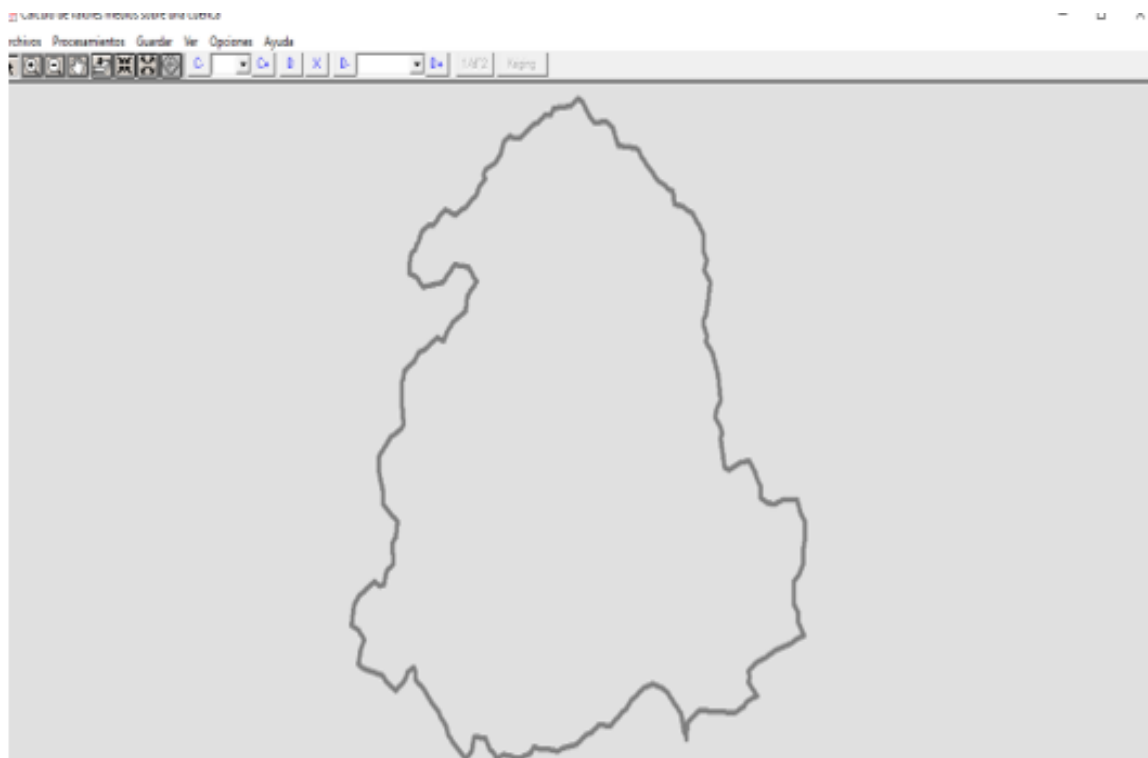


Figura 28

Estaciones meteorológicas colocadas en archivo xls al software Hydraccess.

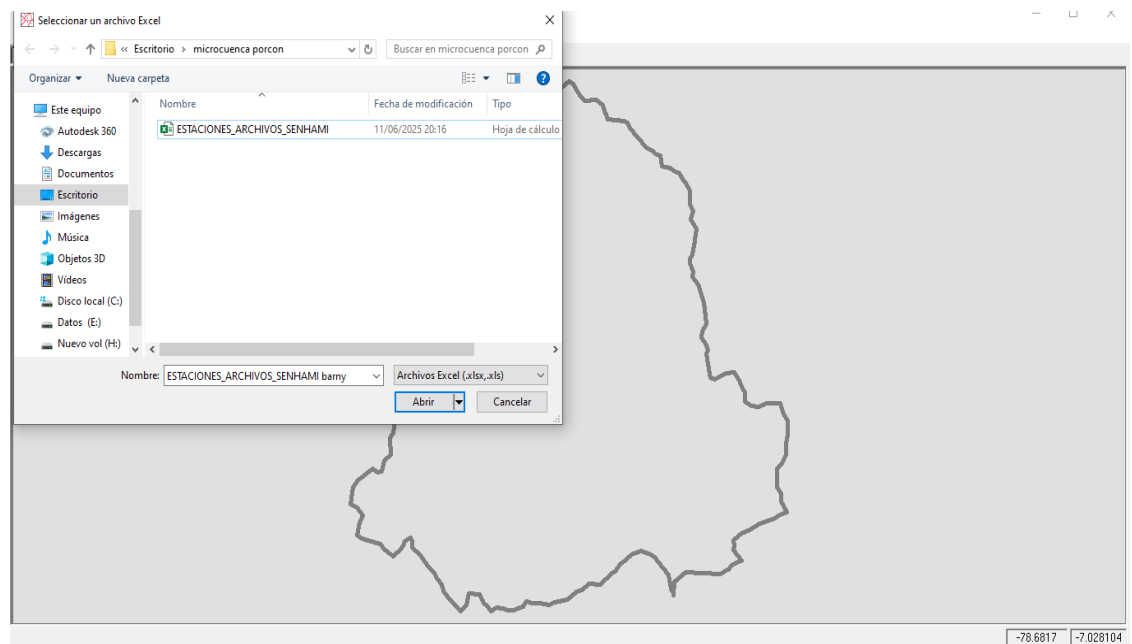


Figura 29

Estaciones meteorológicas con sus respectivas coordenadas ubicados en el Software Hydraccess.

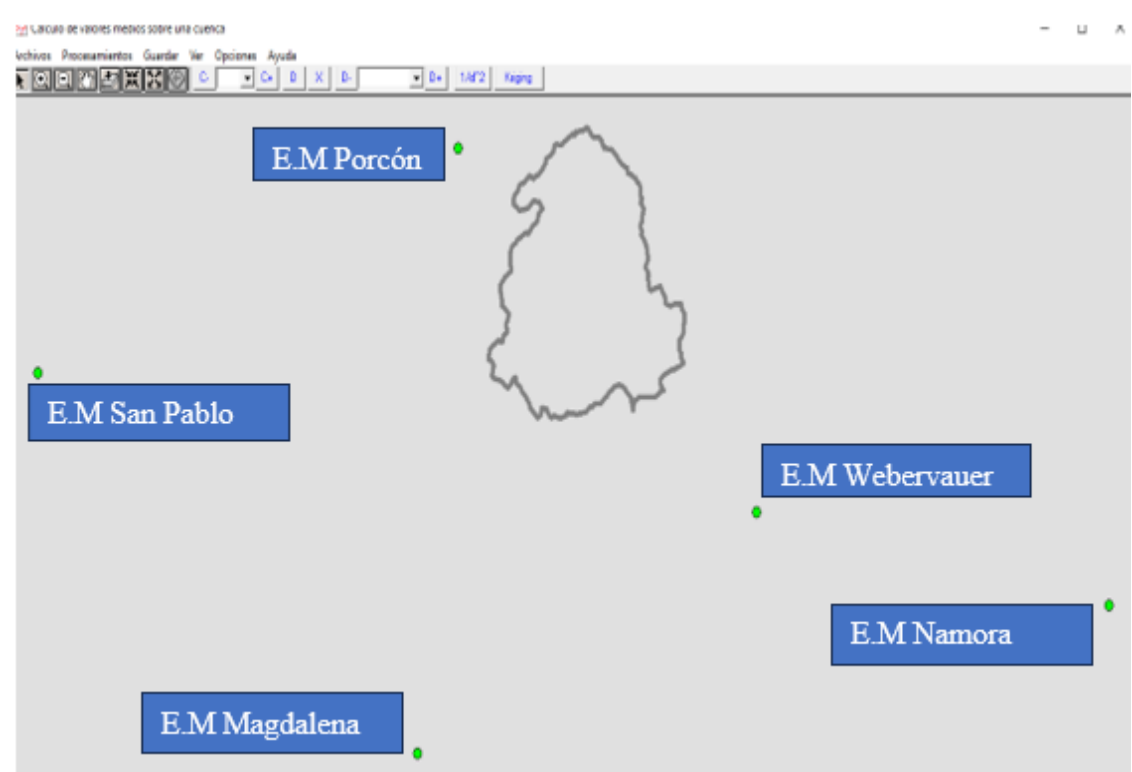
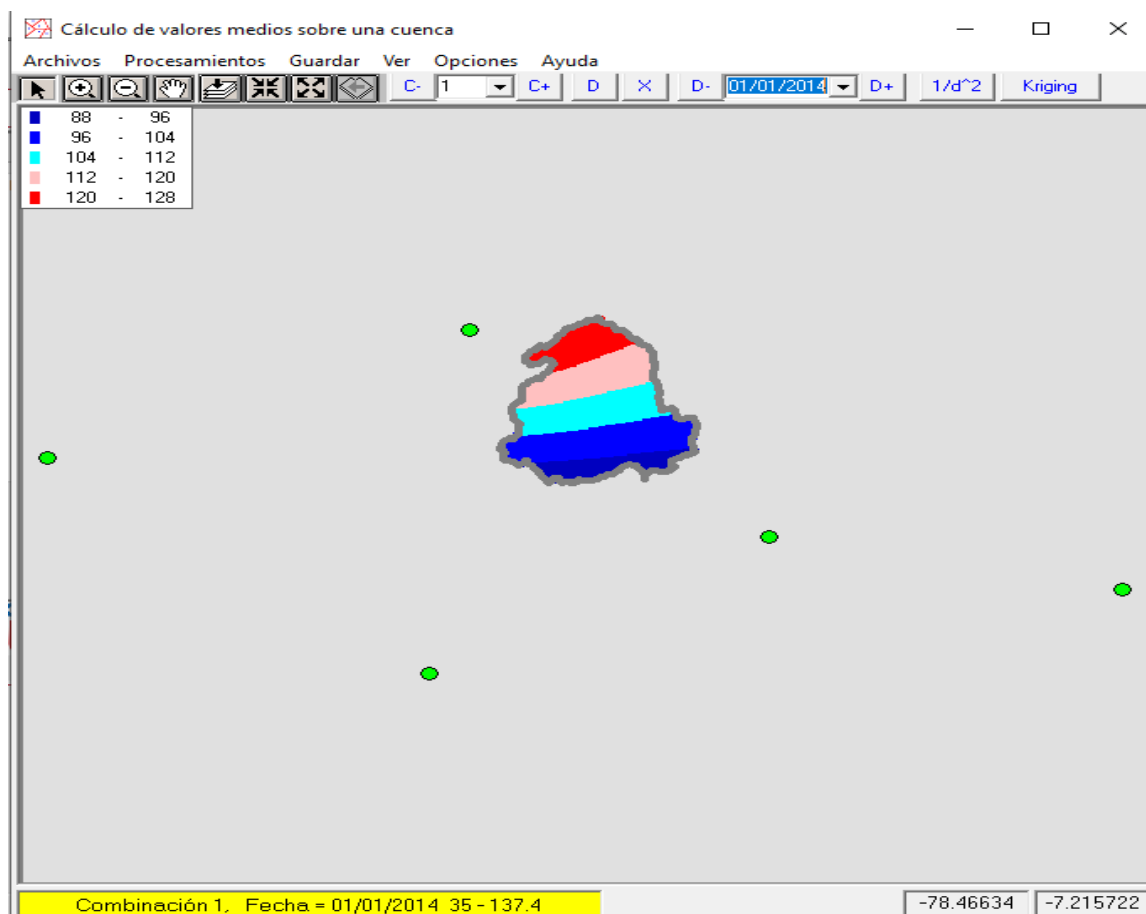


Figura 30

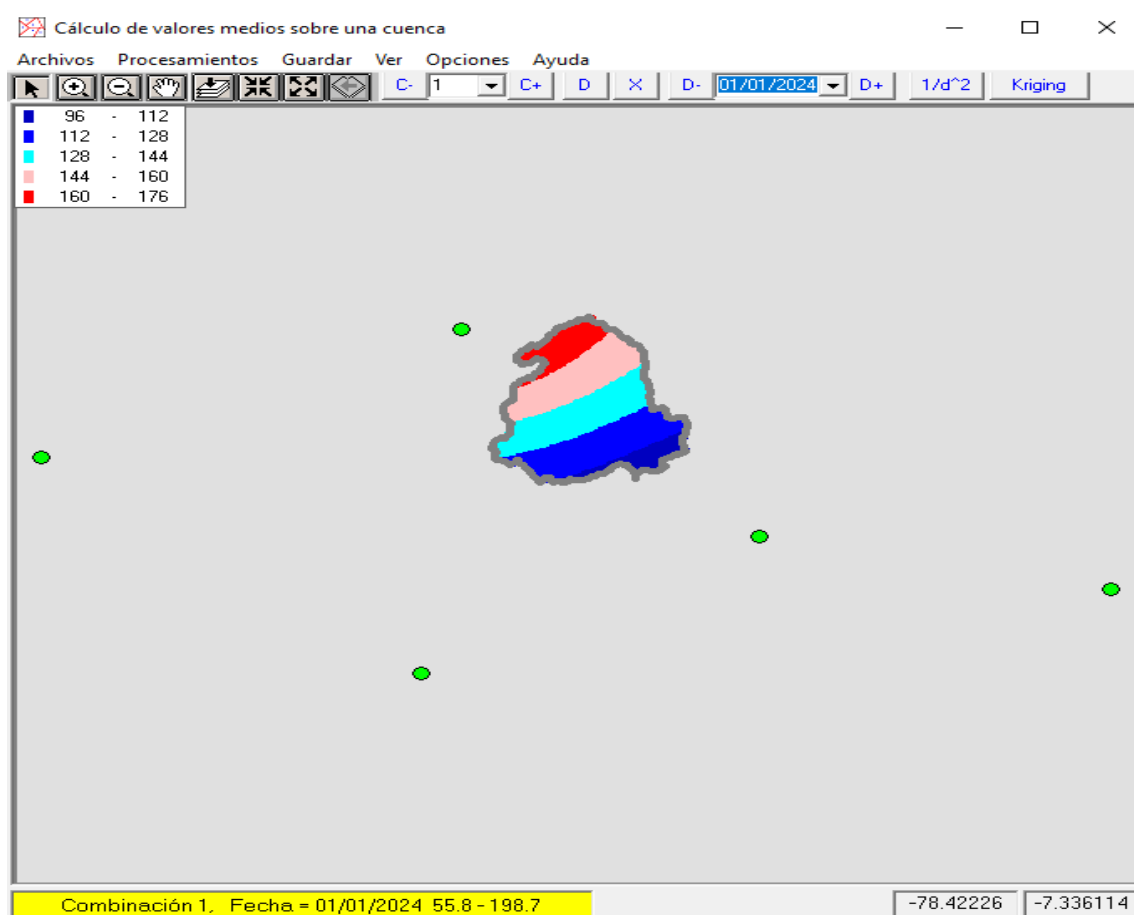
Precipitación enero 2014 con en el Software Hydraccess



Nota: Para la fecha 01/01/2014 esta que llueve (120 – 128) mm/mes en la parte alta de la microcuenca según los resultados mostrados del programa (color rojo y color beige). Fuente Propia.

Figura 31

Precipitación enero 2024 con en el Software Hydraccess



Nota: Para la fecha 01/01/2024 esta que llueve (160 – 126) mm/mes en la parte alta de la microcuenca según los resultados mostrados del programa (color rojo y color beige).
Fuente Propia.

ANEXOS - MAPAS