

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**

“POTENCIAL ACUÍFERO MEDIANTE LA
TELEDETECCIÓN DE HUMEDALES EN LA
CUENCA CAJAMARCA - 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autores:

Kevin Walter Garcia Chaupe
Denys Ruben Herrera Chanducas

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda
<https://orcid.org/0000-0002-3676-7137>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Wilder Chuquiruna Chávez	41245114
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Daniel Alejandro Alva Huaman	43006890
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ronald Smith Mayta Rodas	42319154
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres (Roberto Garcia Chavez y Lidia Chaupe Izquierdo) por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, a mis hermanos (Imer Garcia Chaupe y Milton Omar Garcia Chaupe) que siempre estuvieron apoyándome en todo momento, impulsándome a seguir estudiando, sacrificando su tiempo y brindándome sus sabios consejos para no darme por vencidos e ir por el camino correcto.

Kevin Walter Garcia Chaupe

A mi padre Wilder Herrera Tongombol por siempre desear lo mejor para mí, por cada palabra que fueron mi guía durante mi etapa universitaria; a mi madre Rosa Marilú Chanducas Cerna por haberme forjado por la persona que soy hoy en día, gracias a ellos ya que son los pilares fundamentales en mi vida y ser los principales motores de mis sueños, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo, como reconocimiento para que yo pueda cumplir mis objetivos.

Denys Ruben Herrera Chanducas

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres quienes fueron la mejor inspiración y nos apoyaron en todo momento, enseñándonos que los sueños se logran a base de esfuerzo y dedicación, a nuestros hermanos, docentes, amigos y compañeros quienes nos han impulsado a seguir adelante y al Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico durante el desarrollo de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	20
2.1. Tipo de investigación	20
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	20
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	21
2.3.1. Técnicas	21
2.3.2. Instrumentos	21
2.3.3. Análisis de datos	21
2.4. Procedimiento	22
2.5. Aspectos Éticos	32
CAPÍTULO III: RESULTADOS	34
3.1. Aspectos Generales	34

3.2.	Unidades litoestratigráficas	38
3.3.	Hidrogeología	48
3.4.	Obtención y análisis de los parámetros superficiales para la identificación de humedales.	53
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		70
4.1.	Discusión	70
4.2.	Conclusiones	73
REFERENCIAS		75
ANEXOS		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Ficha de descripción de campo.</i>	21
Tabla 2	<i>Parámetros de calibración radiométrica Landsat 8</i>	23
Tabla 3	<i>Numero de Bandas satelitales</i>	27
Tabla 4	<i>Combinación de bandas para Landsat 8</i>	28
Tabla 5	<i>Coordenadas de referencia (UTM)</i>	34
Tabla 6	<i>Clasificación de la Cubierta vegetal en el NDVI</i>	54
Tabla 7	<i>Clasificación de materiales en NDWI</i>	58
Tabla 8	<i>Grado de infiltración según la pendiente</i>	61
Tabla 9	<i>Análisis de rango de temperatura en cubiertas</i>	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Obtención de imagen Landsat 8 OLI/TIRS</i>	22
Figura 2 <i>Corrección radiométrica, firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo</i>	24
Figura 3 <i>Corrección atmosférica, firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo</i>	26
Figura 4 <i>Árbol de decisiones</i>	32
Figura 5 <i>Delimitación Hidrográfica</i>	36
Figura 6 <i>Demarcación Política</i>	37
Figura 7 <i>Geología de la cuenca Cajamarca</i>	47
Figura 8 <i>Hidrogeología de la cuenca Cajamarca</i>	50
Figura 9 <i>Sección hidrogeológica de la cuenca Cajamarca SW - NE</i>	51
Figura 10 <i>Sección hidrogeológica de la cuenca Cajamarca NW - SE</i>	52
Figura 11 <i>NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)</i>	55
Figura 12 <i>NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) Clasificado</i>	56
Figura 13 <i>NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)</i>	59
Figura 14 <i>NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) Clasificado</i>	60
Figura 15 <i>Pendiente</i>	62
Figura 16 <i>Pendiente Clasificada</i>	63
Figura 17 <i>Temperatura superficial de la Tierra</i>	65
Figura 18 <i>Temperatura Superficial</i>	66
Figura 19 <i>Parámetros clave para la identificación de zonas de recarga hídrica mediante el clasificador en Árbol de la zona de estudio</i>	68
Figura 20 <i>Clasificador en Árbol</i>	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: <i>NDVI</i>	28
Ecuación 2: <i>NDWI</i>	29
Ecuación 3: <i>Parte superior de la atmósfera</i>	30
Ecuación 4: <i>Temperatura de brillo</i>	30
Ecuación 5: <i>Proporción de vegetación</i>	31
Ecuación 6: <i>Emisividad</i>	31
Ecuación 7: <i>Temperatura de superficie de la tierra</i>	31

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo descubrir zonas donde exista humedales como fuente potencial de acuífero en la cuenca Cajamarca al analizar imágenes Landsat. Esto involucra trabajos no muy costosos donde la tecnología (teledetección) a través de imágenes satelitales puedan realizar una prospección desde una pequeña a una gran extensión. La metodología se basa en procesar imágenes satelitales Landsat en el software Arcgis 10.8 y Envi 5.3, obteniéndose de esa manera mapas temáticos para identificar zonas con recargas hídricas y acumulación en pendientes con menor grado, adquiriendo de esa manera información de índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI), Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), pendiente, temperatura superficial. En el resultado del análisis de los mapas se puede observar extensas zonas con vegetación saludable, zonas con menor probabilidad de existencia de agua subterránea, donde ha sido influenciado por la permeabilidad de la roca y la densidad de drenajes, y en mayor proporción por la pendiente del terreno muy favorables para la infiltración y la concentración de agua subterránea, concluyendo con este estudio que si es posible identificar zonas con potencial acuífero luego de interpretar los índices obtenidos en los mapas temáticos, por tanto, estas técnicas de teledetección ayudaron a identificar zonas potenciales de humedales.

PALABRAS CLAVES: NDVI, NDWI, Pendiente y temperatura superficial.

ABSTRACT

The present research aims to discover areas where wetlands exist as a potential source of aquifers in the Cajamarca basin by analyzing Landsat images. This involves inexpensive work where the technology (remote sensing) through satellite images can perform a survey from a small to a large area. The methodology is based on processing Landsat satellite images in Arcgis 10.8 and Envi 5.3 software, thus obtaining thematic maps to identify areas with water recharge and accumulation on slopes with lower grade, thus acquiring information on normalized difference vegetation index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), slope, surface temperature. In the result of the analysis of the maps it is possible to observe extensive areas with healthy vegetation, areas with lower probability of groundwater existence, where it has been influenced by the permeability of the rock and the density of drainage, and in greater proportion by the slope of the land very favorable for infiltration and groundwater concentration, concluding with this study that if it is possible to identify areas with aquifer potential after interpreting the indices obtained in the thematic maps, therefore, these remote sensing techniques helped to identify potential wetland areas.

KEY WORDS: NDVI, NDWI, slope and surface temperature.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La necesidad de agua en el mundo puede llegar a ser uno de los problemas de recursos más apremiantes del siglo XXI. El consumo mundial de agua se multiplicó por seis entre 1900 y 1995, más del doble que el crecimiento demográfico y sigue que aumenta a un buen ritmo a medida que crecen las demandas agrícolas, industriales y domésticas. Para identificar su problemática desde el punto de vista de la escasez se consideran tres aspectos fundamentales; la disponibilidad del agua superficial en la tierra, su distribución por sector o país, y sus consumos (Rojas y Gaona, 2005, p.44).

En las últimas ediciones del Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo contemplan cómo las distintas crisis globales ocurridas recientemente, al cambio climático, energía, seguridad alimentaria, recesión económica y turbulencias financieras, están relacionadas entre sí y tienen un impacto sobre el agua (ONU, 2009). Debido a la creciente explosión demográfica la escasez y deterioro la calidad del agua está afectando la salud y el bienestar de la población en países en vías de desarrollo (Guhl, 2006). Hacia el año 2025, más de 2800 millones de habitantes, se verán afectados por la escasez de agua. Más allá del impacto del crecimiento mismo de la población, el consumo de agua dulce ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial y agrícola, por lo que la demanda creciente de la población se ha triplicado de esa manera la extracción de agua se ha visto sobreexplotada. Asimismo, es previsible que el agua se convierta en uno de los principales temas de conflicto a lo largo de este siglo; es urgente dar respuesta a la meta 10 de los objetivos del milenio, la cual se refiere a resolver el problema de escasez del agua (EdpCollegue, s.f).

En América Latina y el Caribe la población es de aproximadamente 550 millones de habitantes; en general, la región presenta buenos niveles de servicios hídricos; sin embargo, el abastecimiento de agua cubre aproximadamente al 85% de la población, mientras que el saneamiento del agua cubre el 78%; así, el 87% de la población urbana tiene buen saneamiento del agua, pero solamente el 49% de la población rural lo tiene (Anaya, 2001).

En el Perú, las problemáticas por las sequías son cada vez más frecuentes y se originan por la variación de climas. Los efectos del cambio climático conducen a un escenario de aumento general de la severidad de las sequías tanto meteorológicas como hidrológicas, debido a los efectos combinados de la reducción de las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración (López y Pulido, 2017, p.3); es por ello que se está buscando nuevas fuentes hídricas principalmente de aguas subterráneas.

En Cajamarca, uno de los problemas actuales es la falta de disposición de agua para el consumo humano y también para el sector agropecuario. Es por la misma razón que existe la falta de estudios hidrogeológicos y esta necesidad cada vez es más significativa. Sin embargo, es posible combatir esta problemática, si es estudiada de manera tecnológica recurriendo hacer un análisis de imágenes LANDSAT para la detección de fuentes probables de acuíferos en la cuenca Cajamarca.

Las aguas subterráneas forman una parte muy importante del ciclo hidrológico y están íntimamente relacionadas con el resto de los componentes del ciclo, en particular con las superficiales (Sahuquillo, 2009), además cumple una función ambiental en la naturaleza por su contribución a los caudales de ríos, manantiales, lagos, humedales y estuarios, tiene un papel importante en muchos procesos geológicos, y es un solvente activo por lo que el flujo subterráneo actúa como vehículo en el transporte de contaminantes o en el control de la intrusión de aguas salinas (Custodio, 2001; Younger, 2007).

Hernández (2009), logró analizar el comportamiento con respecto a la incidencia de la presencia de agua subterránea y distintas características a considerar en los mapas temáticos, los posibles criterios de categorización son presentados en una ficha: Litología (Tipo de roca, características de meteorización, fracturas, cotas, mapas, TIN, etc.) Forma de la Tierra (Tipo, extensión de área, vegetación asociada), Tipo de suelo (Permeabilidad, porosidad, textura), Pendiente (Porcentaje de pendientes), Uso de la Tierra (Estado y condición), Densidad del drenaje (Valores de densidad del drenaje), dependiendo de los valores que se apliquen a las distintas características tendremos diferentes resultados para la posibilidad de encontrar acuíferos: excelente, bueno, medio, pobre.

Macas y López, (2018), obtuvo que, de 288 puntos de agua existentes en la zona de estudio, 203 (70%) se encuentran en zonas de muy alto, alto y moderado potencial, y los 85 puntos de agua restantes se encuentran en las zonas de baja y muy baja potencialidad a exploración de aguas subterráneas. Esto indica una efectividad del mapa resultante del 70%. En la validación de la efectividad del método mediante el análisis de los resultados se obtiene que un 30% de los puntos de agua se encuentra en zonas no favorables para la exploración de aguas subterráneas, mientras que el 70% se encuentra en zonas favorables.

Alarcón (2018), menciona que; ha logrado identificar que el 30% de la Región Ica son consideradas zonas potenciales de agua subterráneas determinados por medio de técnicas de teledetección. Los distritos de Pachacutec, Parcona, Pueblo Nuevo, La Tinguña, San Juan Bautista, Tate y Salas son zonas muy potenciales de agua subterráneas, puesto que se encuentran prácticamente encima de un flujo fuerte de este tipo de agua. Pero para dar con certeza la información se debe utilizar más métodos de evaluación para validar con la Teledetección. Si bien no se ha determinado la cantidad de este flujo, se ha logrado verificar la extensión de este.

Mendoza y Rojas, (2013), menciona que; el análisis visual de las imágenes multiespectrales muestra que las aguas subterráneas yacen sobre la terraza de los depósitos aluviales, siendo las áreas de alta probabilidad aquellas donde hay notoriamente desarrollo de vegetación y están cerca de los ríos u otros patrones de drenajes. La temperatura de la superficial terrestre permite contrastar las zonas desérticas, de la vegetación, los suelos húmedos y depósitos lacústricos, además permite observar la descarga de las aguas subterráneas en el mar; los resultados obtenidos no son determinantes debido a que la exploración se realiza precisamente a partir de indicadores en la superficie. Por lo tanto, la exploración de aguas subterráneas por teledetección es una herramienta complementaria para otras técnicas de mayor precisión.

Barboza y Cortez, (2018), menciona que; es posible ubicar zonas con presencia de agua subterránea usando parámetros superficiales en imágenes LANDSAT 8 mediante el método de árbol de decisiones en la cuenca del río Mashcón, con una confiabilidad de 79 % de certeza en función a los pozos inventariados por ANA (2018). Además, que los índices más favorables para la recarga hídrica corresponden a vegetación sana e índices de vegetación muy saludable, con rangos multiespectrales entre 0.6 a 1, que son rasgos de vegetación característicos de zonas con abastecimiento hídrico superficial y subterráneo, se concluye también que en la identificación del NDWI se identificó corrientes de agua superficial en rangos superiores a 0.

Díaz (2018), menciona que es posible ubicar zonas potenciales de agua subterránea con una certeza de 92 %, usando el método árbol de decisiones, observando que es un nuevo método satelital de planteo de soluciones ingenieriles y dependerá del análisis que se realice a los parámetros (NDVI, NDWI, temperatura, pendiente) obtenidos, además se analizó las firmas espectrales que arrojan las imágenes satelitales para verificar la temperatura superficial media, pendiente media, así como el Índice de Vegetación de Diferencia

Normalizada e Índice de Agua de Diferencia Normalizada para reducir el porcentaje de error de la investigación.

Al contextualizar la problemática de los estudios hidrogeológicos para explorar y descubrir nuevos acuíferos, se encuentra una similitud dentro de los estudios de los antecedentes, esto implica que muchas investigaciones principalmente en la hidrogeología se requieran de utilizar las tecnologías de observación de la Tierra y la observación del ciclo del agua que pueden ayudar a llenar estos vacíos. En ese sentido, la teledetección satelital proporciona una valiosa visión global que puede monitorear los cambios en las precipitaciones, la extensión de los cuerpos de agua, la vegetación y, a un nivel más local, ayudar a identificar zonas con potencial de agua subterránea (Meijerink, 2007).

Asimismo, es muy importante abordar a partir de teorías las definiciones conceptuales, respecto a las variables de estudio.

La Teledetección, que “es la ciencia y la tecnología por medio de la cual las características de los objetos de interés pueden ser identificados, medidos o se pueden analizar sus características sin contacto directo” (Jars, 1993, p.237); El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), es un índice que representa la cantidad y el vigor de vegetación que se obtiene a través de procesamiento de imágenes satelitales y a partir de combinación de dos bandas espectrales (Alarcón, 2018, p.23). Las bandas espectrales, tiene la capacidad de contraer información en rangos definidos del espectro electromagnético de los satélites (Chuvienco, 1996, p.50); la pendiente del terreno es uno de los parámetros que se utilizan para teledetección; Afloramientos rocosos, que son las rocas expuestas sin ningún tipo de cobertura; Componentes, permite clasificar las bandas según sus pesos para de esa manera aportar información más relevante. Concluyendo, en esta etapa, las variables involucradas en el presente estudio nos permiten clarificar teóricamente cómo se presenta

una situación de la realidad y permite describirlas con un sustento teórico y científico a partir de las fuentes consultadas, para comprender la situación en su estado real y cómo debería resolverse.

Las imágenes Landsat debido a su resolución espacial y espectral permite obtener información de la superficie terrestre relacionada con la presencia de aguas subterráneas a un nivel regional. La información es obtenida a partir del análisis de las imágenes multispectrales a través de diferentes técnicas, ajuste de histogramas, combinación de colores y componentes principales que permiten identificar en forma cualitativa y cuantitativa diferentes unidades hidrogeológicas y cubiertas terrestres. Sin embargo, los resultados obtenidos no son determinantes debido a que la exploración se realiza precisamente a partir de indicadores en la superficie. Por lo tanto, la exploración de aguas subterráneas por teledetección es una herramienta complementaria para otras técnicas de mayor precisión. (Mendoza y Rojas, 2013).

Otro término que se aborda de manera relevante en el presente estudio es los acuíferos, que no hace referencia ni a la naturaleza litológica ni a la edad de unidad geológica, sino su capacidad de llevar agua. El agua almacenada en estas unidades geológicas es conocida por el nombre de agua subterránea. Se inicia aquí la fase subterránea del ciclo hidrológico comenzando a clasificar las rocas por su capacidad de almacenar y transmitir el agua y por definir los distintos tipos de acuíferos según la energía que tiene el agua almacenada en sus poros. (Martínez, Castaño y Martínez, 2006)

Una evaluación hidrogeológica requiere de un estudio de la configuración del subsuelo. Obviamente, se requieren de mapas geológicos, datos geofísicos, secciones y registros de perforación para extrapolar las características de la superficie geológica observadas en una imagen del subsuelo. Una interpretación de la imagen del mapa previa al

campo hará que el trabajo sea más eficiente. Las secciones geológicas se deben hacer en la etapa inicial del estudio hidrogeológico para aclarar donde radican las dificultades que deben inspeccionarse en el campo, mediante perforación de exploración y levantamiento geofísico. Además, la interpretación visual necesita conocimientos de situaciones del campo hidrogeológico. Los afloramientos de la misma formación pueden aparecer de manera diferente en una imagen, dependiendo de condiciones locales de intemperismo, erosión y acumulación de depósitos. Las vegetaciones en los afloramientos son perturbados por el hombre y la naturaleza. Por ello, la interpretación visual es una cuestión de filtrado visual mental, esto es de hecho un iterativo proceso; lo que pudo haber sido ignorado inicialmente, puede ser reinstalado como una característica importante en una etapa posterior y viceversa, especialmente en con evidencias de campo. (Meijerink, 2007)

La información obtenida sobre la Teledetección de humedales como fuente potencial de acuíferos en la cuenca Cajamarca, serán representadas mediante mapas temáticos que tienen relación con la presencia de humedales y agua subterránea, toda la información y metodología puede servir para proyectos a futuro que se logren planificar dentro del área de la cuenca Cajamarca, donde existe principalmente problemas de abastecimiento de agua durante las 24 horas del día en estaciones secas, también serán base para que posteriores estudios puedan tener un indicador de la presencia de aguas subterráneas relacionadas con la ocurrencia de aguas superficiales, como manantiales, lagos y humedales.

En función a lo expuesto, se formuló la interrogante ¿Cuál es el potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca – Perú 2022? El objetivo de la investigación es determinar el potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca – Perú 2022. Los objetivos específicos fueron: a) Evaluar el potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca b) Analizar los parámetros de NDVI, NDWI, temperatura y pendiente que favorecen el

almacenamiento y presencia de agua subterránea c) Verificar en campo el estudio de aguas subterráneas mediante un análisis de Teledetección d) Analizar las posibles distribuciones de acuíferos del subsuelo mediante la sección hidrogeológica. De esta forma se planteó como hipótesis que Otuzco, Baños del Inca, Llacanora, La colpa, La Huaraclla y Jesús son las zonas con mayor potencial de acuífero mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca – Perú 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación APLICADA, porque busca la aplicación de conocimientos adquiridos en la práctica de la teledetección de humedales a fin de aplicarlas en las imágenes satelitales para su evaluación como fuente potencial de acuífero. Según el enfoque es CUANTITATIVO puesto que se basa en el uso de imágenes satelitales para el hallazgo de acuíferos, en términos más sencillos, la investigación cuantitativa es un estudio basado en la medición de cantidades o magnitudes (Kothari, 2004); de acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características un estudio de alcance EXPLICATIVO, porque a partir de las condiciones de la imagen satelital de la zona de estudio permitirá dar a conocer cuáles son las características de los humedales, manantiales y pantanos para la elaboración de la zona potencial de acuífero. Correspondiente a un diseño no experimental ya que es apropiada para variables que no pueden o deben ser manipuladas (Mertens, 2010); y de CORTE TRANSVERSAL ya que recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

Todos los humedales presentes en las imágenes Landsat de Cajamarca

Muestra

Humedales presentes en las Imágenes Landsat de la cuenca Cajamarca

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas


Las técnicas a utilizar para la recolección de datos se basan en la observación y el análisis espectral de las imágenes Landsat que describen las zonas húmedas como fuentes probables de acuíferos en la zona de estudio.

2.3.2. Instrumentos

El instrumento para la recolección de datos es la ficha de observación, en esta se anotó los datos de validación de cada punto.

Tabla 1

Ficha de descripción de campo.

TITULO DEL PROYECTO					
ESTACIÓN N°	CÓDIGO FICHA			DESCRIPCIÓN	
UBICACIÓN	<i>Departamento</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>		
DESCRITO POR:					
DATUM					
COORDENADAS UTM	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Cota</i>		
FORMACIÓN/UNIDAD					
TIPO	PANTANO	MANANTIAL	ACUÍFERO	POZO SUB.	
FOTOGRAFIA					

Nota: En la tabla se observa el tipo de descripción el cual se hará en cada punto de validación.

2.3.3. Análisis de datos

El análisis de los datos para dicho estudio se hará con los softwares: (ArcGIS, Envi 5.3 y Adobe Illustrator)

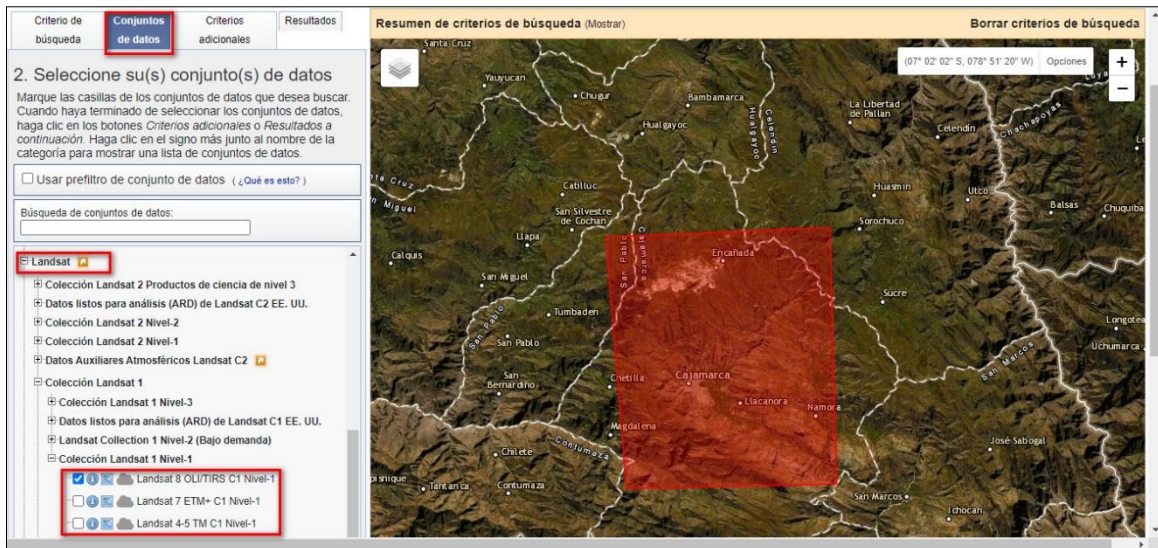
2.4. Procedimiento

Recolección de imágenes satelitales

En primer lugar, se va a delimitar la zona de estudio, luego se ingresará al portal de datos USGS Earth Explorer para obtener el conjunto de datos geospaciales de forma gratuita. En este caso se trabajará con la descarga del sensor Landsat con imágenes Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level 1.

Figura 1

Obtención de imagen Landsat 8 OLI/TIRS



Nota: En la figura se muestra como descargar la imagen Landsat 8. **Fuente:**

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Corrección de imágenes Landsat 8

Radiométrica

Para procesar correctamente los datos debemos utilizar la versión ENVI 5.3 con la actualización con archivos OLI de Landsat 8. Para abrir la imagen se accede al archivo que contiene la extensión *MTL.txt*, que corresponde al formato de imagen con metadatos

disponibles para Landsat 8, esta se abre desde la pestaña *File/Open As / Landsat / GeoTIFF with Metadata*.

El primer paso para la corrección es la conversión a radiancia. Para esto se debe ir a la opción de *Toolbox/Radiometric Correction/ Radiometric Calibration*; la imagen inicialmente se despliega dividida en 5 segmentos: multiespectral (que posee los infrarrojos), la banda cirrus, térmica, pancromática y calidad. De todas las opciones que se muestran se debe seleccionar la que termina con *MultiSpectral*, luego selecciona el área de estudio usando *Spatial Subset/subset by vector (shp.zona de estudio)* y asignar los diferentes valores de calibración radiométrica según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de calibración radiométrica Landsat 8

Campo	Valor
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	BIL
Tipos de datos de salida	Flot
Factor de escala	0.10
Directorio de salida	Nombre y dirección de salida

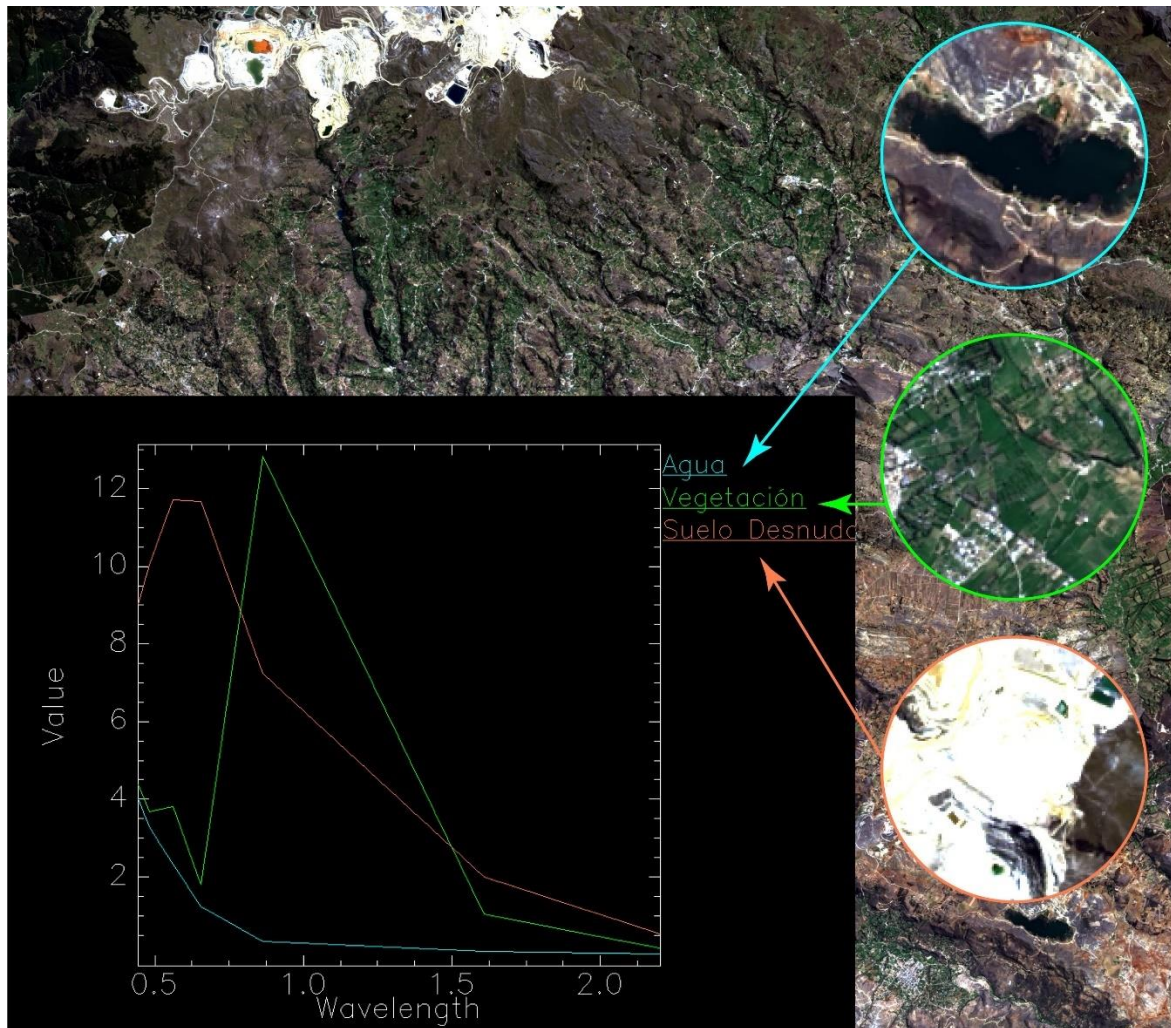
Nota: En la tabla se muestra los parámetros de calibración radiométrica para Landsat 8.

Fuente: Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R. y Vargas-Bolaños, C. (2014).

Al final se obtiene una imagen con cambio de valores de números digitales a valores de radiancia. Además, el tipo de formato de imagen en el archivo de salida es *.dat*.

Figura 2

Corrección radiométrica, firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo.



Nota: La figura muestra las firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo de la imagen corregida (corrección radiométrica).

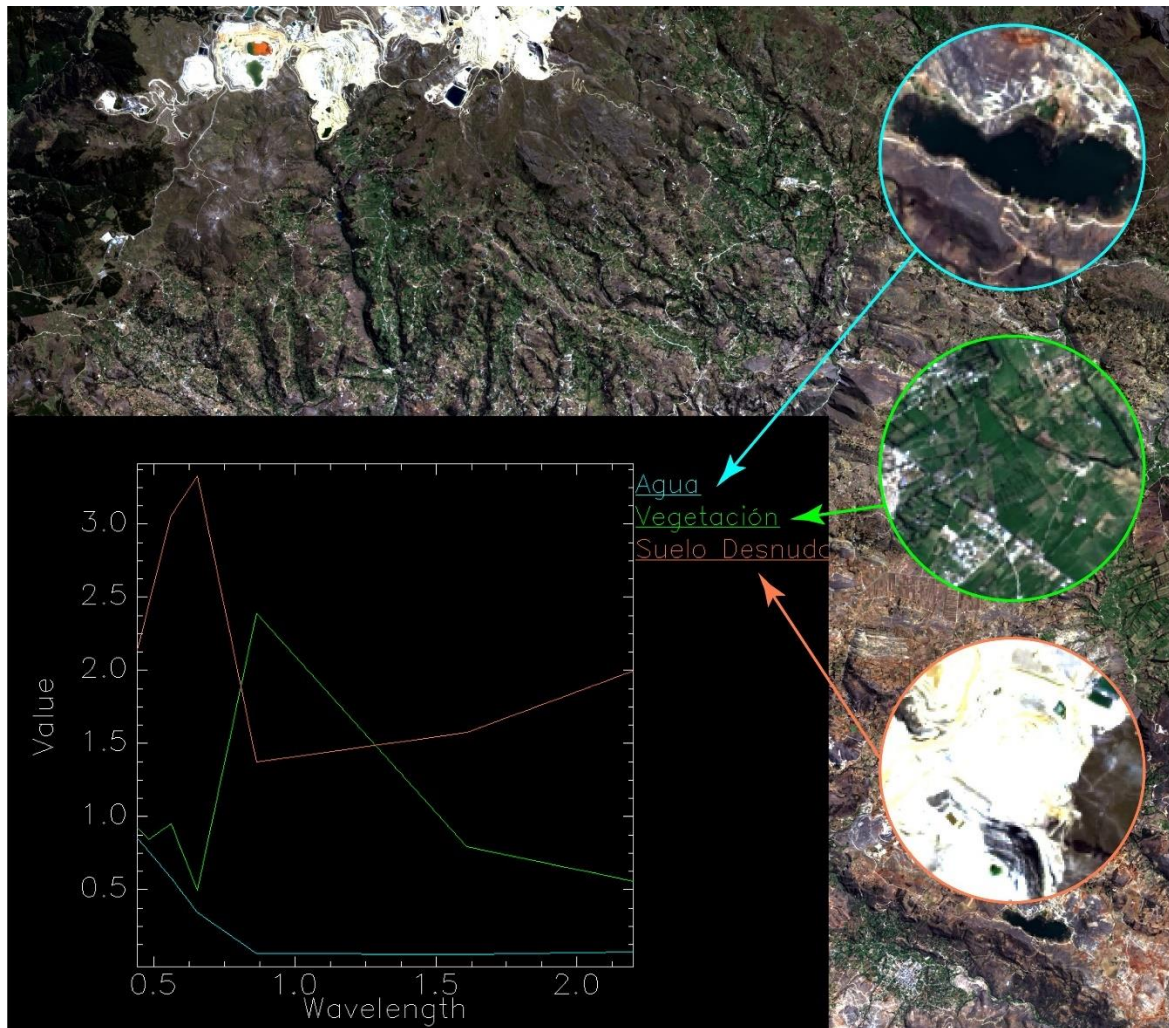
Atmosférica

Se abre el archivo de salida (el *.dat*), luego ir a la ventana de FLAASH y en el factor de escala utilizar para la calibración es 1. Automáticamente se deben leer del archivo de la imagen los valores de latitud (lat) y longitud (long). Respecto de los parámetros requeridos, en el tipo de sensor seleccionar multiespectral/ Landsat 8 OLI, en altitud del sensor se debe poner 705 km y el tamaño de píxel se coloca manualmente, al igual que los valores de lat-

long. La elevación variará en cada una de las imágenes que se vayan a calibrar. Además, la fecha del vuelo y el tiempo de vuelo se deben extraer del metadato. Las bandas de color rojo (654.6nm) e Infrarrojo de onda corta 2 (2201nm) de las imágenes de Landsat 8 pueden ser utilizadas para extracción de aerosoles por medio del método Kaufman-Tanre, de acuerdo con Aguilar, H., Mora, R., y Vargas, C. (2014). Este método sirve para estimar de forma más precisa la visibilidad presente en la imagen, por medio de la iteración de valores de visibilidad utilizando razones de cambio entre los valores de píxeles oscuros entre bandas cercanas a los 660nm (canal bajo) y 2100nm (canal alto). Para ello se debe seleccionar el método de extracción de aerosoles de dos bandas (K-T), como paso adicional se debe ir a la configuración multiespectral y en ella buscar la opción de filtro archivo de función: y colocar la siguiente dirección “Ruta de instalación de ENVI `\Files\Exelis\ENVI50\classic\filt_func\ldcm_oli.sli`”. La selección del modelo atmosférico, modelo de aerosoles y visibilidad inicial dependerá de las condiciones de la imagen. Para guardar nos vamos a: *Save/Choose* y finalmente aplicamos la corrección atmosférica, la imagen resultante contiene los datos en reflectancia espectral.

Figura 3

Corrección atmosférica, firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo.



Nota: en la figura se muestra las firmas espectrales del agua, vegetación y suelo desnudo con la imagen corregida (corrección atmosférica).

Combinación de bandas

Para la combinación de bandas utilizaremos el ENVI 5.3, para iniciar el proceso de importación, descomprimiremos las bandas de la imagen utilizando el programa *WinRAR archiver*. Luego, en el menú principal de ENVI nos dirigimos al menú principal */File/Open*. As, se desplegará una información de los satélites que deseamos utilizar en ENVI. Luego

nos vamos a Landsat/GeoTIFF with metadata, se abrirá una ventana y buscamos la ruta donde esta guardada la metadata *MTL.txt*. de la imagen Landsat 8.

A continuación, nos vamos a *Data Manager* donde visualizaremos las diferentes bandas ya corregidas anteriormente. Para combinar elegimos las diferentes bandas RGB, finalmente hacemos clic en *Load Data*, y visualizaremos la imagen combinada.

En este caso para la combinación de bandas utilizaremos los cuadros siguientes para diferentes tipos de aplicaciones:

Tabla 3

Numero de Bandas satelitales

Band Name	Bandwidth (μm)	Resolution (m)
<i>Band 1 Coastal</i>	0.43 – 0.45	30
<i>Band 2 Blue</i>	0.45 – 0.51	30
<i>Band 3 Green</i>	0.53 – 0.59	30
<i>Band 4 Red</i>	0.64 – 0.67	30
<i>Band 5 NIR</i>	0.85 – 0.88	30
<i>Band 6 SWIR 1</i>	1.57 – 1.65	30
<i>Band 7 SWIR 2</i>	2.11 – 2.29	30
<i>Band 8 Pan</i>	0.50 – 0.68	15
<i>Band 9 Cirrus</i>	1.36 – 1.38	30
<i>Band 10 TIRS 1</i>	10.6 – 11.19	100
<i>Band 11 TIRS 2</i>	11.5 – 12.51	100

Nota: La tabla muestra el ancho de banda (μm) y la resolución (m) de cada banda para Landsat 8. **Fuente:** USGS,2013

Tabla 4

Combinación de bandas para Landsat 8

Tipo de combinación	Código RGB
<i>Natural Color</i>	4 3 2
<i>False Color (urban)</i>	7 6 4
<i>Color Infrared (vegetation)</i>	5 4 3
<i>Agriculture</i>	6 5 2
<i>Atmospheric Penetration</i>	7 6 5
<i>Healthy Vegetation</i>	5 6 2
<i>Land/Water</i>	5 6 4
<i>Natural With Atmospheric Removal</i>	7 5 3
<i>Shortwave Infrared</i>	7 5 4
<i>Vegetation Analysis</i>	6 5 4

Nota: En la tabla se muestra la combinación de bandas para Landsat 8. **Fuente:** Esri.com

NDVI

Para el cálculo del NDVI utilizaremos el Envi 5.3, cargaremos las imágenes (NIR_{Band5} y RED_{Band4}) ya corregidas, luego vamos a *Toolbox/ Band Algebra/ Band Math*. Y luego aplicaremos la siguiente fórmula: $(float(b5)-float(b4))/(float(b5)+float(b4))$, en el raster de salida lo guardaremos como NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ecuación 1: NDVI

Donde:

NDVI = Índice de Vegetación Diferencial Normalizado

NIR = Reflectancia de la banda Infrarrojo cercano.

RED = Reflectancia de la banda roja.

Finalmente generamos el resultado NDVI de las imágenes corregidas, con ello identificaremos zonas de cobertura vegetal en la cuenca de Cajamarca.

NDWI

Para el cálculo del NDWI utilizaremos el Envi 5.3, cargaremos las imágenes (GRE_{Band3} y NIR_{Band5}) ya corregidas, luego vamos a *Toolbox/ Band Algebra/ Band Math*. Y luego aplicaremos la siguiente fórmula: $(float(b3)-float(b5))/(float(b3)+float(b5))$, en el raster de salida lo guardaremos como NDWI.

$$NDWI = \frac{pS_{GRE} - pS_{NIR}}{pS_{GRE} + pS_{NIR}}$$

Ecuación 2: NDWI

Donde:

NDWI= Índice de Agua de Diferencia Normalizada

pS_{NIR} = Reflectancia de la banda Infrarrojo cercano (NIR).

pS_{GRE} = Reflectancia de la banda verde (GRE).

Finalmente generamos el resultado NDWI de las imágenes corregidas, con ello identificaremos la visualización de humedales y cuerpos de agua en la cuenca de Cajamarca.

Pendiente

Para el cálculo de la pendiente utilizaremos el ArcGIS 10.8, cargaremos las imágenes DEM, luego vamos a *Arctoolbox/ Spatial analyst Tool/Surface/Sloop/incorporamos el DEM de la cuenca Cajamarca en Input Raster*, en *Output Raster* seleccionamos la ruta donde va

a guardar con el nombre de *Pendiente*, luego en *Output measurement*, elegimos *Percent_Riss*.

Lo demás lo dejamos por defecto y ejecutamos. Finalmente generamos el resultado de la PENDIENTE de la imagen DEM, con ello identificaremos el porcentaje de pendiente en la cuenca de Cajamarca.

Temperatura superficial de la tierra

La temperatura de la superficie terrestre lo podemos estimar o calcular usando las bandas térmicas de Landsat 8 (ArcGIS 10.8). Simplemente se requiere aplicar un conjunto de ecuaciones a través de una calculadora de imágenes ráster (*ArcMap/ Arctoolbox/ Spatial analyst Tool/ Map Algebra /Raster calculator*). Y luego aplicamos 6 formulas donde el resultado de cada formula se aplicará en las fórmulas siguientes.

1.- Calculamos el TOA (Top of Atmospheric) radiancia espectral.

$$TOA = 0.0003342 \times \text{"Band 10"} + 0.1$$

Ecuación 3: Parte superior de la atmósfera.

2.- Convertimos el TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo), para obtener los resultados en Celsius, la temperatura radiante ajustamos sumando el cero absoluto (aprox. -273.15°C).

$$BT = (1321.0789 / \ln ((774.8853 / \text{"TOA"}) + 1)) - 273.15$$

Ecuación 4: Temperatura de brillo.

3.- Calculamos el NDVI (ver ecuación 1), donde es muy importante porque posteriormente vamos a calcular la proporción de vegetación (P_v), ya que el NDVI está altamente relacionada.

4.- Calculamos la proporción de vegetación P_v .

$$P_v = \text{Square} ((NDVI - NDVI_{\text{mín}}) / (NDVI_{\text{máx}} - NDVI_{\text{mín}}))$$

Ecuación 5: *Proporción de vegetación.*

5.- Calculamos la emisividad ε .

$$\varepsilon = 0.004 \times P_v + 0.986$$

Ecuación 6: *Emisividad.*

6.- Calculamos la temperatura de superficie de la tierra.

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\varepsilon)))$$

Ecuación 7: *Temperatura de superficie de la tierra.*

Finalmente aplicamos la ecuación de LST para obtener el mapa de temperatura de superficie.

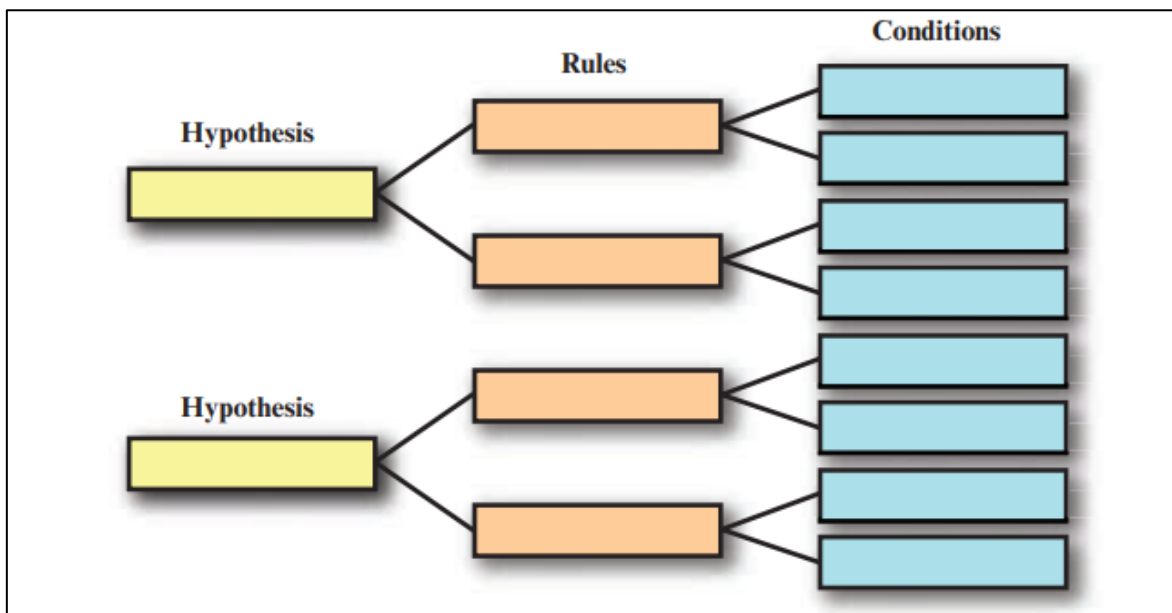
Árbol de decisiones

La mejor manera de conceptualizar un sistema experto es utilizar una estructura de árbol de decisión en la que se evalúan reglas y condiciones para comprobar las hipótesis. Cuando los árboles de decisión se organizan con hipótesis, reglas y condiciones, cada hipótesis puede considerarse el tronco de un árbol, cada regla una rama de un árbol y cada condición una hoja. Esto se conoce comúnmente como un clasificador de árbol de decisión jerárquico (Jensen, 2015, p. 433). El propósito de utilizar una estructura jerárquica para etiquetar los objetos es obtener una comprensión más completa de las relaciones entre los objetos a diferentes escalas de observación o a diferentes niveles de detalle (Tso y Mather, 2001).

Los algoritmos de los árboles de decisión permiten la resolución de problemas de mapeo cuando existen muchas fuentes de información que sirven como insumos para la ubicación de agua subterránea, estos métodos no son muy utilizados por la comunidad científica a pesar de su capacidad. (Díaz, 2018, p. 16).

Figura 4

Árbol de decisiones



Nota: En la imagen tenemos que el árbol de decisiones se compone de tres factores muy importantes (hipótesis, reglas y condiciones). **Fuente:** Jensen (2015).

2.5. Aspectos Éticos

En esta investigación es necesario aclarar que rigen aspectos éticos como el respeto a los autores y personas que nos muestran sus artículos de lectura libre y a la vez ya publicadas, eso quiere decir que son sometidas a nuestra investigación según a su consentimiento; en esta tesis consideraremos apropiado no generar algún tipo de daño, riesgo, confidencialidad, privacidad, etc. Simplemente si consideramos algunas investigaciones relacionadas a la investigación de realizará con el mayor respeto y

protección, por lo tanto, lograremos realizar una investigación con originalidad, y un alto nivel académico, en consecuencia, se prolongará una búsqueda de fuentes en bibliotecas, artículos científicos y medios electrónicos, habiéndose verificado que al presente no existe trabajo alguno similar o parecido a nivel de la cuenca de Cajamarca, lo que garantiza la originalidad del mismo. También aclarar que las descargas de las imágenes satelitales fueron de una agencia libre del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

CAPÍTULO III: RESULTADOS**3.1. Aspectos Generales****Ubicación geográfica**

La cuenca Cajamarca ocupa un área de 878.18 km², se encuentra ubicado en el norte del territorio peruano, principalmente en el departamento de Cajamarca, enmarcada a la zona 17S con Datum WGS 84, comprendida entre las coordenadas.

Tabla 5*Coordenadas de referencia (UTM)*

Vértice	Norte	Este
1	9230000	758000
2	9230000	800000
3	9180000	800000
4	9180000	758000

Nota: Esta tabla muestra área de ubicación de la zona de estudio.

Demarcación y delimitación hidrográfica

La cuenca Cajamarca comprende parte de la cuenca del Río Mashcón, cuenca del Río Chonta y cuenca del Río Cajamarquino, con un área total de 878.18 km², con un perímetro de 171.45km y una altitud media de 2800.2 msnm, presenta una pendiente promedio de 50.14%; pertenece a la Región Hidrográfica del Amazonas, a la cuenca del Río Marañón, y a la cuenca del Río Cajamarquino cuyas redes hidrográficas vierten al océano Atlántico. Tiene las siguientes delimitaciones: Ver mapa N° 01

Por el Norte: Intercuenca Alto Marañón IV

Por el Este: Cuenca Crisnejas e intercuenca Alto Marañón IV

Por el Sur: Cuenca Crisnejas

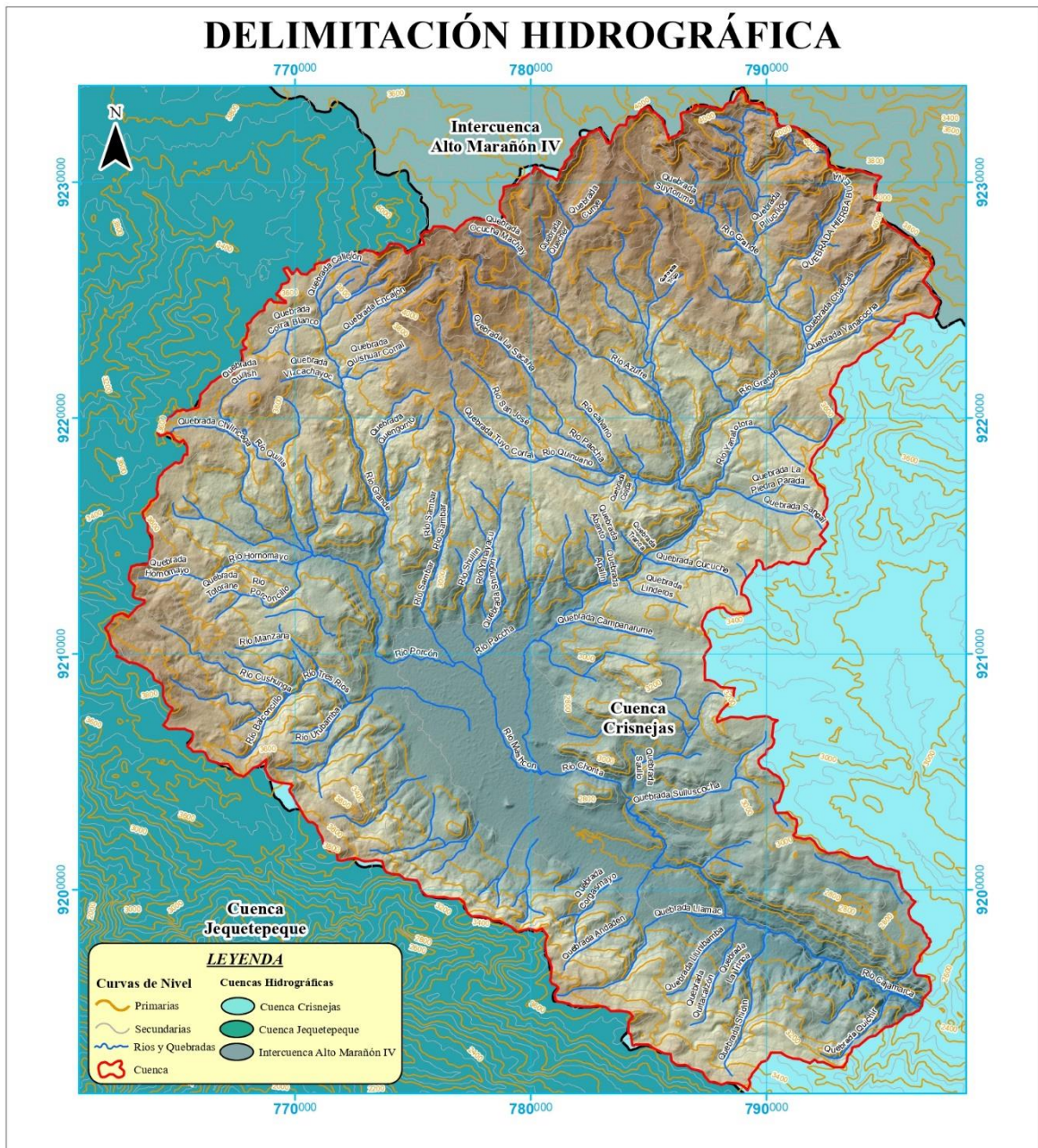
Por el Oeste: Cuenca Jequetepeque

Demarcación Política

La cuenca Cajamarca, se localiza al norte del Perú, políticamente pertenece al departamento de Cajamarca, específicamente abarca la provincia de Cajamarca y distritos como: La Encañada, Cajamarca, Baños del inca, Llacanora, y Jesús. (Ver mapa N° 02)

Figura 5

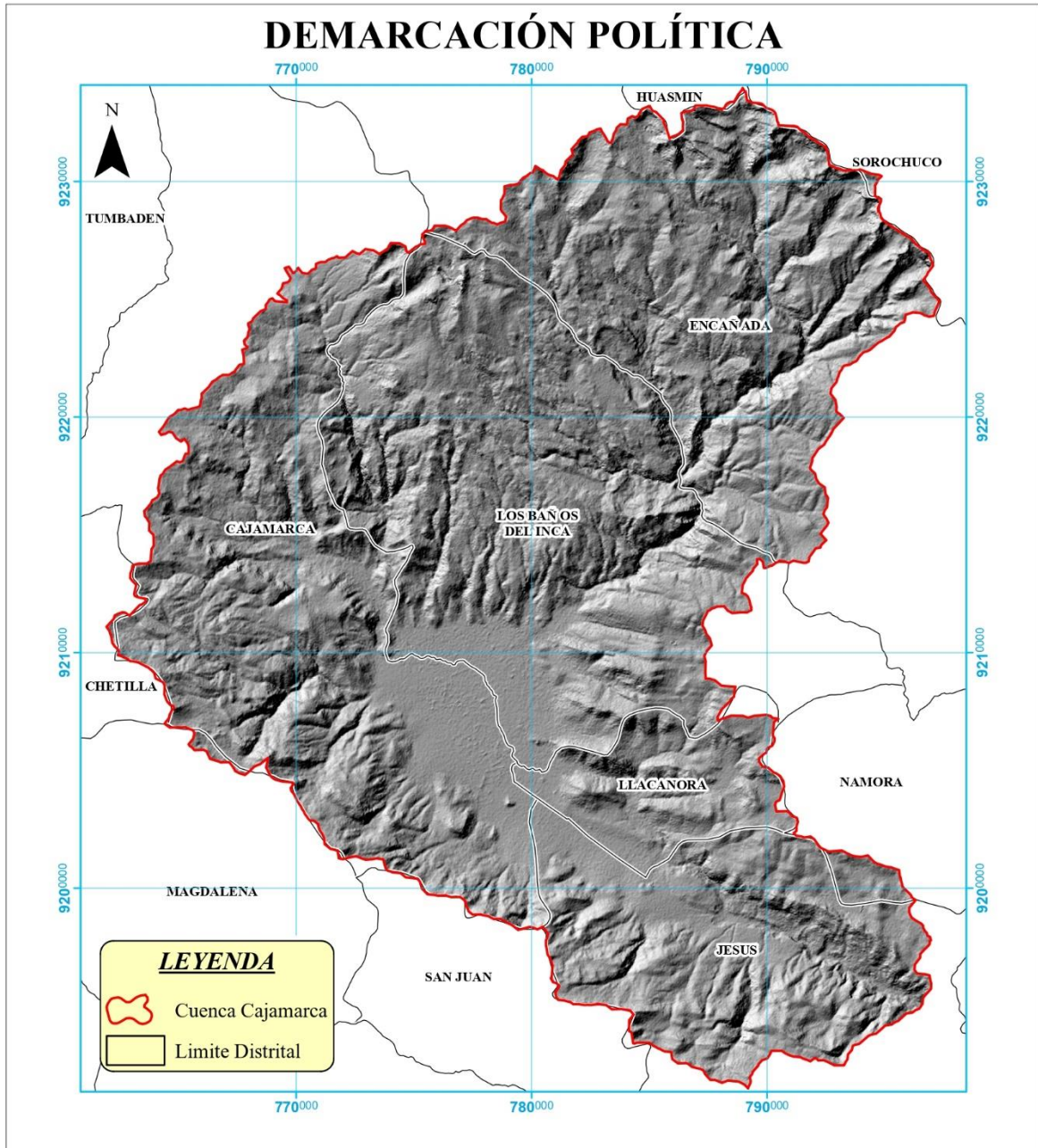
Delimitación Hidrográfica



Nota: En la figura se muestra la topografía, cuencas, quebradas y ríos de la delimitación hidrográfica.

Figura 6

Demarcación Política



Nota: En la figura se muestra los límites distritales y provinciales que abarca la zona de estudio.

3.2. Unidades litoestratigráficas

GRUPO GOYLLARISQUIZGA (Ki – g)

Este Grupo se caracteriza por presentar una secuencia de areniscas de grano medio a grueso en parte conglomeráticas, intercaladas con niveles delgados de limoarcillitas, su estratificación generalmente es sesgada, a veces presenta niveles delgados lajas y lutitas.

Esta secuencia presenta cuatro formaciones muy bien establecidas en la zona, constituidas por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, llega a constituir este grupo la base de toda la secuencia del Cretáceo.

FORMACIÓN CHIMU (Ki - chi)

La formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600 m. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: por sus relaciones estratigráficas la formación Chimú se ubica en el Valanginiano inferior a medio, pues yace sobre la formación Chicama del Titoniano e infrayace a la formación Santa del Valanginiano superior. Se correlaciona con las areniscas cuarzosas de la formación Hualhuani (parte superior del grupo Yura) del departamento de Arequipa. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN SANTA (Ki - s)

Consiste en la intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos. El cambio de facies es notable según los lugares, en la zona de Cajamarca solamente hay lutitas y

areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado con la forma de la cuenca. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: se han hallado lamelibranquios y gasterópodos entre Llacanora y Baños del Inca, pero estos fósiles mencionados no son diagnósticos como para precisar una edad determinada. Sin embargo, a la formación Santa puede asignársele una edad del Valanginiano superior. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN CARHUAZ (Ki-ca)

Consiste en la intercalación de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la formación Farrat. Tiene un grosor aproximado de 500m. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: probablemente las edades Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación, ya que encima se encuentra la formación Farrat que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano – Albiano. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)

Esta formación aflora al noreste de San Miguel, al noreste- suroeste de San Pablo, al sur de Hualgayoc, al oeste de Celendín, al norte y al sur de San Marcos, al este y oeste de Cajabamba, en Cajamarca en casi toda la provincia, al norte y al sur de Contumazá. Esta formación consiste de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz e infrayace con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: se han encontrado especímenes correspondientes al Cretáceo inferior. Por otra parte, la formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano por lo que se le asigna una edad aptiana. La formación Farrat se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, al sur. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN INCA (Ki - i)

Su localidad típica al este de los Baños del Inca en Cajamarca. En Cutervo se localiza al noroeste- sureste, en Chota al este y al oeste, en Hualgayoc al noreste, en Celendín al este y oeste, en San Pablo al sureste, en Cajamarca aflora a lo largo de casi toda la provincia, en Contumazá aflora al noreste, en San Marcos aflora al este y oeste, en Cajabamba al este y oeste. Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza. Su grosor aproximado es de 100 m. Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: por la presencia de parahoplites, se le asigna una edad que se encuentra entre el Aptiano superior y Albiano inferior. (INGEMMET, 1980)

FORMACION CHULEC (Ki - chu)

Se localiza al suroeste de San Ignacio, al noroeste de Jaén, al noroeste y sureste de Cutervo, en chota al noreste- suroeste, en Santa Cruz al noreste y sureste, en Hualgayoc al noroeste y sureste, en Celendín al noroeste- sureste, en San Marcos al noroeste- sureste, en Cajabamba al noreste y suroeste, en Cajamarca en casi toda la provincia, en Contumazá al noroeste- sureste, en San Pablo al sur y al noreste, en San Miguel al norte. (INGEMMET, 1980)

Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos algo azulados. Su grosor varía de 200 a 250 m. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: presenta una gran variedad de fósiles como cefalópodos, lamelibranquios y equinoideos. Estos fósiles se encuentran distribuidos en la parte baja del Albiano medio y en el Albiano inferior. Se correlaciona con la parte inferior de la formación Crisnejas que aflora en el valle del Marañón y con la formación Santa Úrsula. Esta formación se extiende por los andes centrales del Perú. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN PARIATAMBO (Ki - pt)

Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Su espesor varía entre 150 a 200 m. Esta formación yace concordantemente sobre la formación Chúlec e infrayace con suave discordancia a la formación Yumagual, relación observable en la cuenca de Pulluicana, en la carretera Cajamarca- La Encañada, al este de los Baños del Inca. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: la formación Pariatambo contiene restos de moluscos, estas especies son típicamente pelágicas del Albiano medio. Se correlaciona con la parte superior de la formación Crisnejas y con la formación Yacu Ushco. Se extiende ampliamente en los andes centrales del Perú. (INGEMMET, 1980)

GRUPO PULLUICANA (Ks - pu)

La litología predominante es una caliza arcillosa, grisácea, que intemperiza a crema o marrón claro y que se presenta incapaz medianas, nodulares e irregularmente estratificadas.

Intercaladas con las calizas, hay capaz de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosas, así como algunas capas de limonitas y areniscas. En el cuadrángulo de Cutervo el grupo Pulluicana alcanza un promedio de 600 m de grosor. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: El grupo Pulluicana generalmente tiene una fauna relativamente abundante de especies de: Exogyra, Inoceramus, pero los amonites son escasos. Los cuales están comprendidos entre la parte tardía del Albiano medio y el Cenomaniano temprano. El grupo Pulluicana se correlaciona con la parte inferior de la formación Jumasha de los Andes Centrales, y con la parte inferior de la formación Copa Sombrero del noroeste del país. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN QUILQUIÑAN – MUJARRUM (Ks – qm)

La parte inferior de la secuencia (Fm. Mujarrún) descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que la parte superior (Fm. Quilquiñán), infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. La base consiste en una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género Exogyra.

Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas de color pardo amarillento, también fosilíferas. Finalmente se encuentran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles. Alcanza un espesor aproximado de 500 m. Esta unidad tiene extensa distribución en la Pampa de la Culebra cerca a La Encañada. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: la fauna identificada en la formación Mujarrún y formación Quilquiñán ubica a estas unidades entre el Cenomaniano medio y el Turoniano inferior. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN CAJAMARCA (Ks - ca)

Los afloramientos de la formación Cajamarca se ubican en el sector de la Pampa de la Culebra y hacienda Sangal.

Esta formación consiste en calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos con escasos fósiles. Esta formación yace concordantemente sobre la formación Quilquiñán y con la misma relación infrayace a la formación Celendín. Su grosor varía entre los 600 y 700 m. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: el Coilopoceras neweli asigna a la formación Cajamarca la edad perteneciente al Turoniano superior. Se correlaciona con la parte superior de la formación Jumasha, corresponde a la parte inferior de la formación Otuzco. (INGEMMET, 1980)

FORMACIÓN CELENDÍN (Ks - ce)

Esta formación está constituida por margas y lutitas de color gris azulado y amarillo rojizo, abigarradas hacia el tope, en capas cuyo grosor en la base varía entre 2 y 6 m, alcanzando hasta 8 m, en la parte superior. La formación Celendín presenta intercalaciones de calizas margosas algo nodulosas en capas delgadas, algunas son lumaquéllicas, asimismo calizas areniscosas color gris amarillento, sobre todo en la parte superior. Se observa abundantes láminas de yeso secundario distribuido en el material arcilloso, formando costras en los estratos calcáreos o también relleno de cavidades. (INGEMMET, 1980)

Su grosor aproximado es de 300 m. El contacto de la formación Celendín con la formación Cajamarca que infrayace es concordante, en cambio el contacto suprayacente con la formación Chota no es claro debido a la cobertura del material reciente. Esta formación representa el final de la sedimentación marina del cretáceo iniciándose la sedimentación continental de las capas rojas. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: esta formación es muy fosilífera, principalmente en la parte inferior y media, la fauna se encuentra tanto en los niveles limoarciliticos como en los calcáreos y corresponden a cefalópodos, equinodermos, pelecípodos pertenecientes al Coniaciano y Santoniano. (INGEMMET, 1980)

VOLCÁNICO PORCULLA (Nm - vp)

El volcánico Porculla aflora al sur de Chota, Chepén y Celendín. Generalmente se presenta en bancos gruesos subhorizontales que constituyen planicies más o menos extensas limitadas por escarpas pronunciadas; muestra diferentes colores siendo la mayoría de los afloramientos grisáceos. El volcánico Porculla presenta sills y pequeños stocks en muchas áreas. (INGEMMET, 1980)

Relaciones estratigráficas: el volcánico Porculla suprayace en discordancia angular a rocas tan diferentes como el basamento metamórfico precambriano paleozoico y el volcánico Llama. El tope del volcánico Porculla está erosionado o cubierto por piroclastos del volcánico Huambos.

Litología y grosor: el volcánico Porculla consiste de un grosor considerable de volcánicos dacíticos con intercalaciones de andesitas donde los piroclásticos son más abundantes que los derrames. Los volcánicos se presentan en capas medianas a gruesas pobremente estratificadas y dan afloramientos macizos que vistos de lejos se asemejan a rocas intrusivas. (INGEMMET, 1980)

La litología típica es una dacita compuesta por pequeños fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una matriz fina y dura de color gris verdoso. Esta misma litología caracteriza tanto a los derrames y brechas dacíticos como a los sills que están asociados con el volcánico Porculla.

En el volcánico Porculla, juntamente con los sills y stocks asociados está vinculado con una fase extensa de mineralización. Es muy común hallar pirita singenética en las dacitas, como en los alrededores de San Miguel.

Los intrusivos dacíticos que deben ser comagmáticos con el volcánico Porculla, contienen sulfuros. En el caso de Michiquillay y Sorochuco los intrusivos son cupríferos y de interés comercial. Otras áreas de interés minero como La Granja también están asociadas con cuerpos dacíticos que deben ser equivalentes intrusivos del volcánico Porculla. (INGEMMET, 1980)

Edad y correlación: el volcánico Porculla, de acuerdo a su posición estratigráfica, debe pertenecer al paleógeno, ya que infrayace al volcánico Huambos del neógeno y suprayace al volcánico Llama de posible edad del paleógeno. No es posible asignarle una edad más precisa por la falta de datos. Se correlaciona con la parte superior de la formación Calipuy y posiblemente equivale a parte del grupo Tacaza del sur del Perú. (INGEMMET, 1980)

DEPÓSITOS GLACIARES (Q - gl)

Área de extensión en el departamento de Cajamarca: 3,884.79 ha (0.12 %) Los depósitos glaciares están constituidos por una grava en matriz areno – arcillosa con abundante material anguloso. (INGEMMET, 1980)

DEPÓSITOS LAGUNARES (Q - la)

Los depósitos lagunares se encuentran en diferentes lugares y niveles, dispuestos en bancos sub horizontales constituidos por material fino arenoarcilloso, a los que algunas veces se intercalan gravas y delgados conglomerados. Estos depósitos se hallan en la Pampa de la Culebra, Pampa de Polloc, entre Cajamarca y Baños del Inca, Namora, Matara, Ichocán- San Marcos. (INGEMMET, 1980)

DEPÓSITOS FLUVIALES (Q - fl)

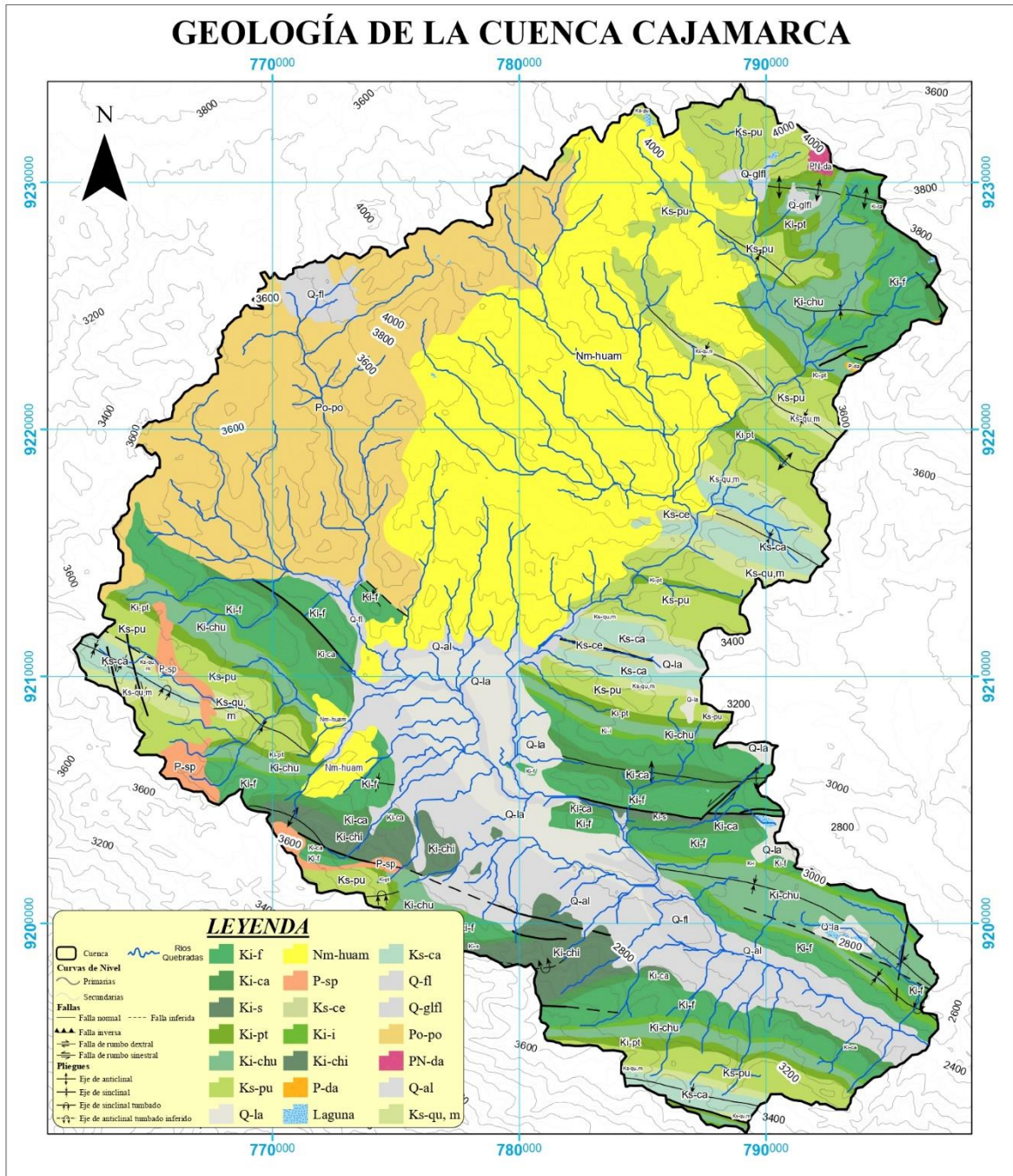
Están representados por la acumulación de materiales transportados por cursos fluviales, depositados en el fondo y riberas de los ríos. Consisten de gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limoarcillosos. Estos depósitos fluviales están localizados en el sector meridional de San Ignacio. (INGEMMET, 1980)

DEPÓSITOS ALUVIAL (Q - al)

Están representados por escombros de laderas que sin mayor transporte se ha depositado en los flancos de los valles. Están constituidos por material detrítico subanguloso, distribuido en escasa matriz limoarcillosa y arenosa, algunas veces forman depósitos de deslizamiento que varían desde superficiales hasta de mediana profundidad. Estos depósitos coluviales están localizados principalmente en el sector noroeste de San Ignacio. (INGEMMET, 1980)

Figura 7

Geología de la cuenca Cajamarca



Nota: En la figura se muestra la geología regional de la cuenca Cajamarca.

Fuente: Modificado de INGEMMET (2022)

3.3. Hidrogeología

El valle de Cajamarca formado por procesos tectónicos, glaciares, lacustres y fluviales presenta la forma de una cubeta rodeada de altos cerros, cubiertos de vegetación y con afloramientos de manantiales. Los sucesivos movimientos tectónicos, sobre todo compresivos que se tradujeron en fallamientos en bloques y estructuras ondulantes, han originado condiciones (geológicas e hidráulicas) favorables para el flujo de aguas subterráneas en las rocas precuaternarias, ampliamente distribuidas en la cuenca Crisnejas (ANA, 2015).

Acuífero detrítico poroso no consolidado

Son acuíferos con porosidad elevada y permeabilidad elevada, generalmente son continuos y extensos. Los más representativos son los depósitos aluviales y fluviales, incluyendo llanuras de inundación y terrazas aluviales. La clasificación se debe a su alta permeabilidad y porosidad primaria. Su composición litológica no consolidada facilita la libre circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas (ANA, 2015).

Acuífero detrítico poroso no consolidado pobre

Son generalmente de reducida extensión y poco espesor, con permeabilidad media-baja; depósitos glaciares y morrenas, constituidos por bloques y conglomerados en una matriz arcillo limosa, que limita la permeabilidad de los materiales y depósitos de origen lacustre, constituidos principalmente de limos y arcillas con intercalaciones arenosas. Los depósitos lacustres recientes se ubican en las pequeñas cuencas interandinas, en dimensiones reducidas. Se encuentra entre el pueblo de Cajamarca y los Baños del Inca. Constituidos por material fino arcilloso, con intercalaciones locales de lentes de gravas y delgados conglomerados (ANA, 2015).

Acuífero fisurado volcánico sedimentario

Corresponden a unidades geológicas consolidadas con permeabilidad secundaria moderada, asociada principalmente a fracturas y fallas, donde se encuentran las aguas subterráneas. Litológicamente se trata de intercalaciones de conglomerados y areniscas con lavas y piroclastos. (ANA, 2015).

Acuífero fisurado sedimentario

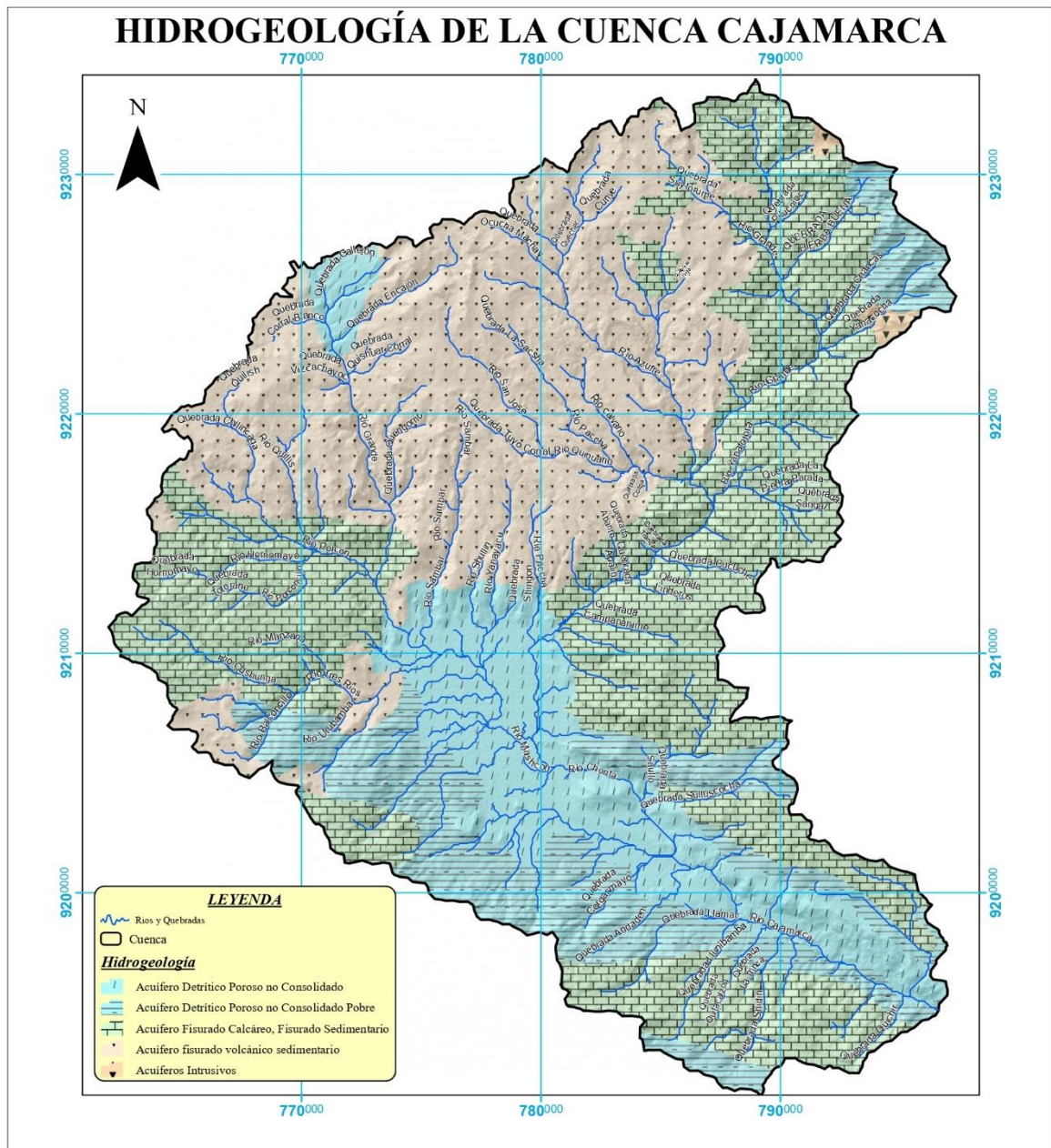
Son unidades sedimentarias que se han clasificado como: potenciales acuíferos fisurados sedimentarios son algunas formaciones del Grupo Goyllarisquiza: Inca (alternancia de areniscas calcáreas, lutitas y lechos de cuarcitas), Farrat (cuarcitas y areniscas) y Chimú (alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas). Ampliamente distribuidas en toda la cuenca, estas unidades hidrogeológicas son las predominantes en la Faja plegada Subandina. Estas formaciones aparecen intensamente falladas y plegadas Las estructuras siguen alineaciones NO-SE, con tendencia N-S en la parte oriental de la cuenca (ANA, 2015).

Acuífero fisurado calcáreo

Son fundamentalmente calizas con intercalación de margas, con permeabilidad secundaria media-alta, por fracturas o procesos de disolución, bien sea del cemento calcáreo o de las paredes de las fracturas en procesos de karstificación. Las Formaciones más representativas son La Formación Celendín y Formación Cajamarca. Estas unidades afloran entre Baños del Inca y Encañada, en Cachachi, al sur de San Marcos y al norte y este, en el tramo final del río Crisnejas en ambas márgenes (ANA, 2015)

Figura 8

Hidrogeología de la cuenca Cajamarca

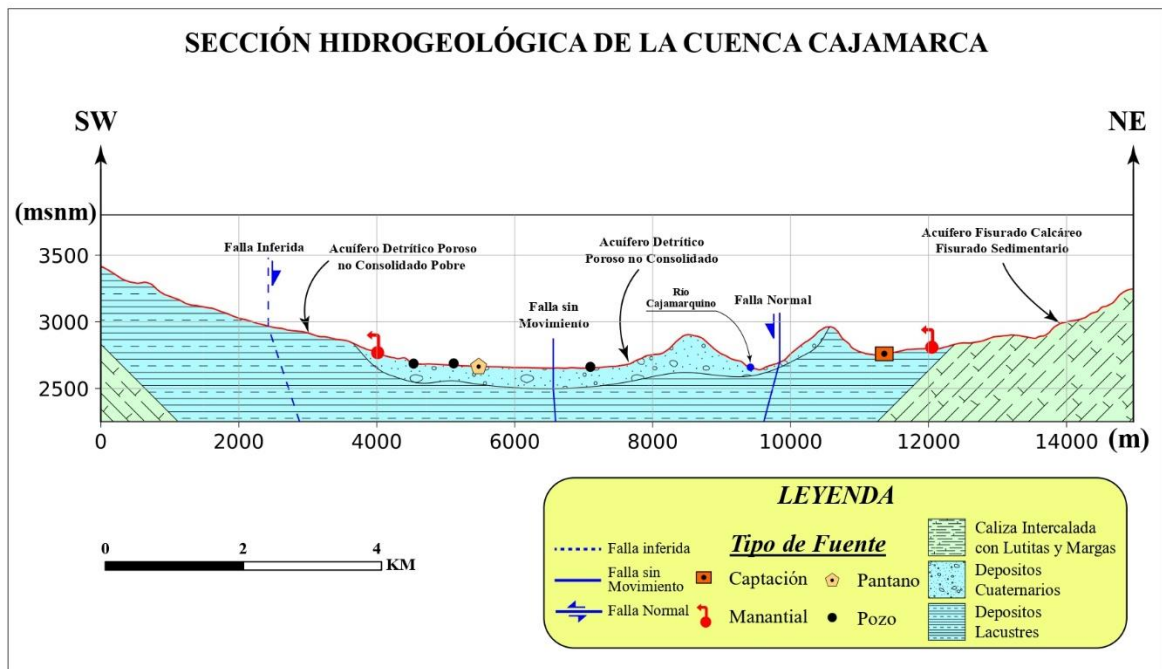


Nota: En esta figura se observa los tipos de acuíferos existentes en la cuenca Cajamarca.

Fuente: Modificado de INGEMMET (2022)

Figura 9

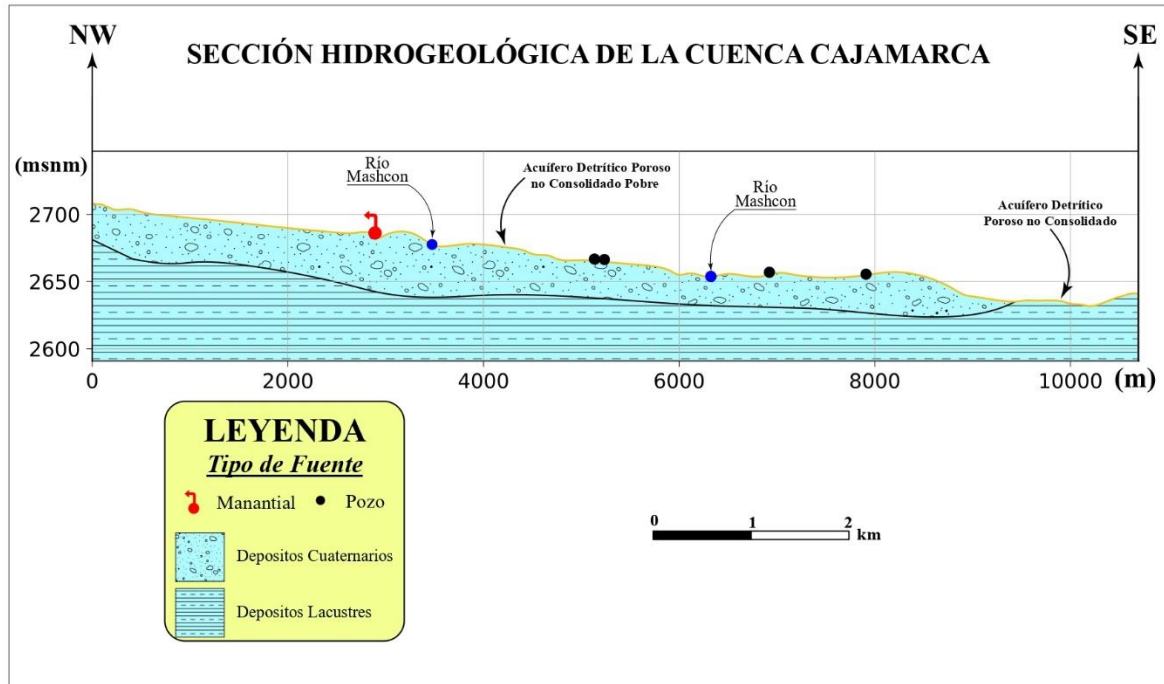
Sección hidrogeológica de la cuenca Cajamarca SW - NE



Nota: En esta sección SW - NE la cuenca Cajamarca se encuentra formado por depósitos cuaternarios, depósitos lacustres, calizas intercaladas con lutitas, margas y areniscas de la formación Farrat, está rodeada por grandes colinas y montañas el cual entre estos se ha proyectado el afloramiento de manantiales, pantanos, acuíferos que son captados por pozos subterráneos en el valle de Cajamarca. Los movimientos tectónicos han generado zonas de fallamientos y estructuras con fracturamientos, siendo estas causantes de ambientes favorables para el flujo de aguas subterráneas.

Figura 10

Sección hidrogeológica de la cuenca Cajamarca NW - SE



Nota: En la sección se observa la proyección de pozos, manantiales y las direcciones de flujo del agua de escorrentía, en este caso hacia que dirección va el flujo del Río Mashcón (NW - SE), estas se deducen por las condiciones morfológicas y topográficas por lo tanto en esa dirección también va el flujo del agua subterránea. Además, por el tipo de afloramientos observados en la formación Farrat que se encuentran en las partes altas sirven como recargas de los acuíferos del valle de Cajamarca, estas se muestran con mayor potencial de recarga en los depósitos Cuaternarios por presentar pendientes planas, depósitos no consolidados como son gravas, suelos de textura arenosa y franco arenosa.

3.4. Obtención y análisis de los parámetros superficiales para la identificación de humedales.

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)

OBTENCIÓN

El índice de vegetación es una ecuación que interactúa con las imágenes RGB y NIR. Este índice se interpreta como el resultado de la reflectancia de la luz solar por parte de la clorofila en la planta. Clorofila absorbe luz RGB y refleja la luz infrarroja. Cuando la hoja está dañada o seca esta planta absorbe más luz infrarroja (Taipale & William et al., 2017). Y gracias a ello podemos notar donde tenemos mejor vegetación (identifica donde hay más humedad.) y mala vegetación (identifica zonas áridas o secas). Los valores más altos de NDVI corresponden a las zonas con mayor vigor y densidad de vegetación, y se asocian con una acumulación de mayor humedad en el suelo (Catanha et al., 2014)

La banda RED (banda 4) presenta absorción elevada y una mayor reflectividad con mayor contraste en la NIR (banda 5), esto lo plasmamos en la firma espectral codificada a partir del grado de clorofila que se presenta en la vegetación.

ANÁLISIS

La interpretación y análisis se da a través de los valores de reflectividades donde nos indica que la vegetación sana va a reflejar mucha más radiación en la banda del infrarrojo cercano que, por el contrario, una planta que se está secando - muriendo o sufre estrés hídrico va a reflejar valores similares en las bandas del rojo e infrarrojo cercano. (Muñoz y Sobrino, 2009, p.2). Dentro del análisis resultante ya clasificado se puede observar que el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, se encuentra entre -1 y +1, es por ello que llegamos a definir los siguientes tipos de vegetación en la cuenta Cajamarca:

Tabla 6

Clasificación de la Cubierta vegetal en el NDVI

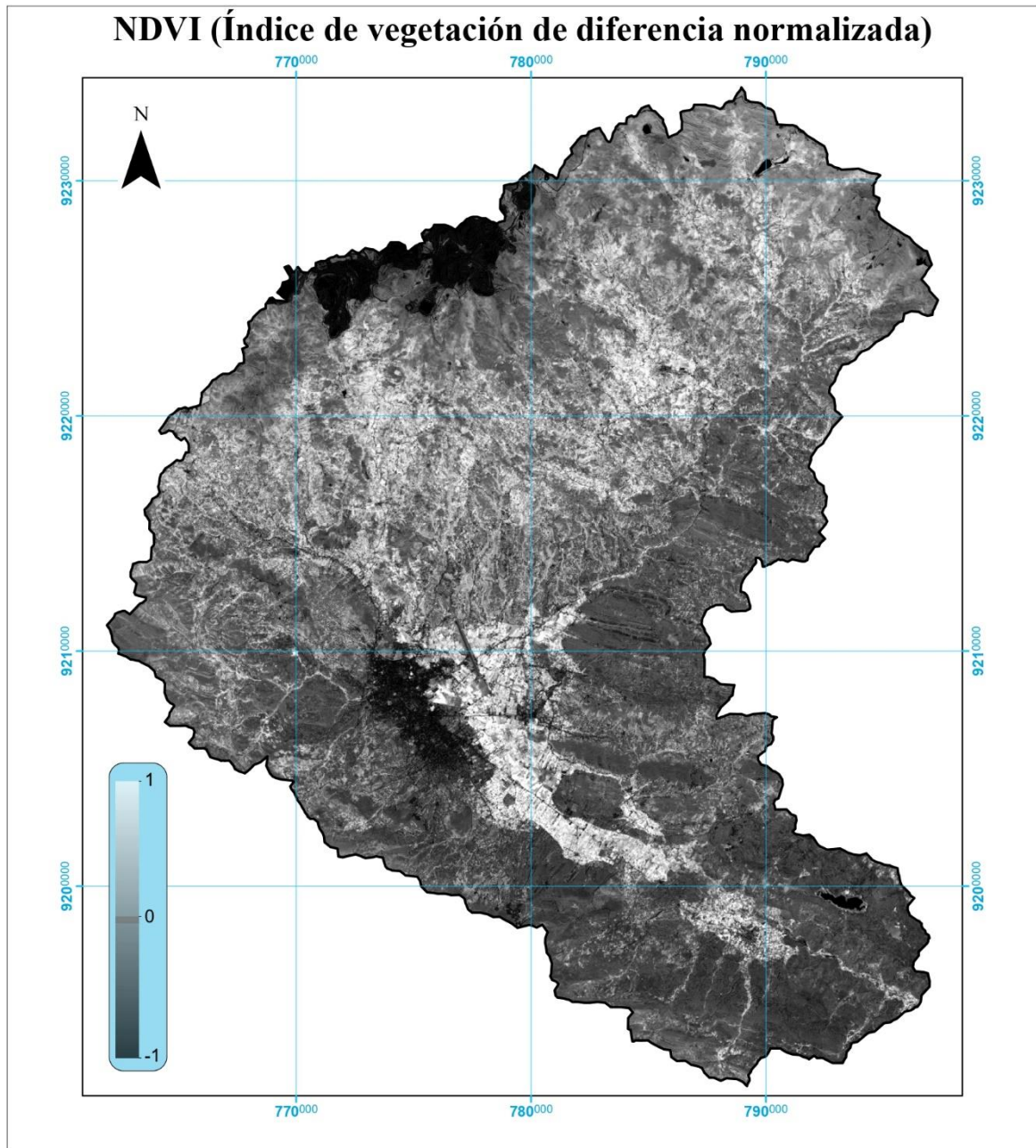
NDVI	TIPO DE CUBIERTA	COLORES RGB		
		R	G	B
+0.40 <NDVI< +1.00	Vegetación Vigorosa	38	115	0
+0.20<NDVI< +0.40	Vegetación Abundante	156	146	44
+ 0.00<NDVI< +0.20	Vegetación Dispersa	152	230	0
-0.50<NDVI< + 0.00	Deposito Cuaternario	178	178	178
-1.00 <NDVI< -0.50	Cuerpos de agua	0	169	230

Nota: En la tabla se muestra los valores de la clasificación de la cubierta vegetal para el NDVI. **Fuente:** Díaz, S. (2018)

La escala va de -1 a 1 con el valor cero representando el valor aproximado donde empieza la ausencia de vegetación. Los valores negativos representan superficies sin vegetación entre ellos están los cuerpos de agua expuestos en la superficie. Los valores muy bajos de NDVI, del orden de 0 a -1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas. Valores de 0 a +1 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales. A partir de estos valores tendremos los niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones, etc. dependiendo el valor alcanzado. (Muñoz. P, 2013), por lo tanto, la vegetación corresponde zonas húmedas.

Figura 11

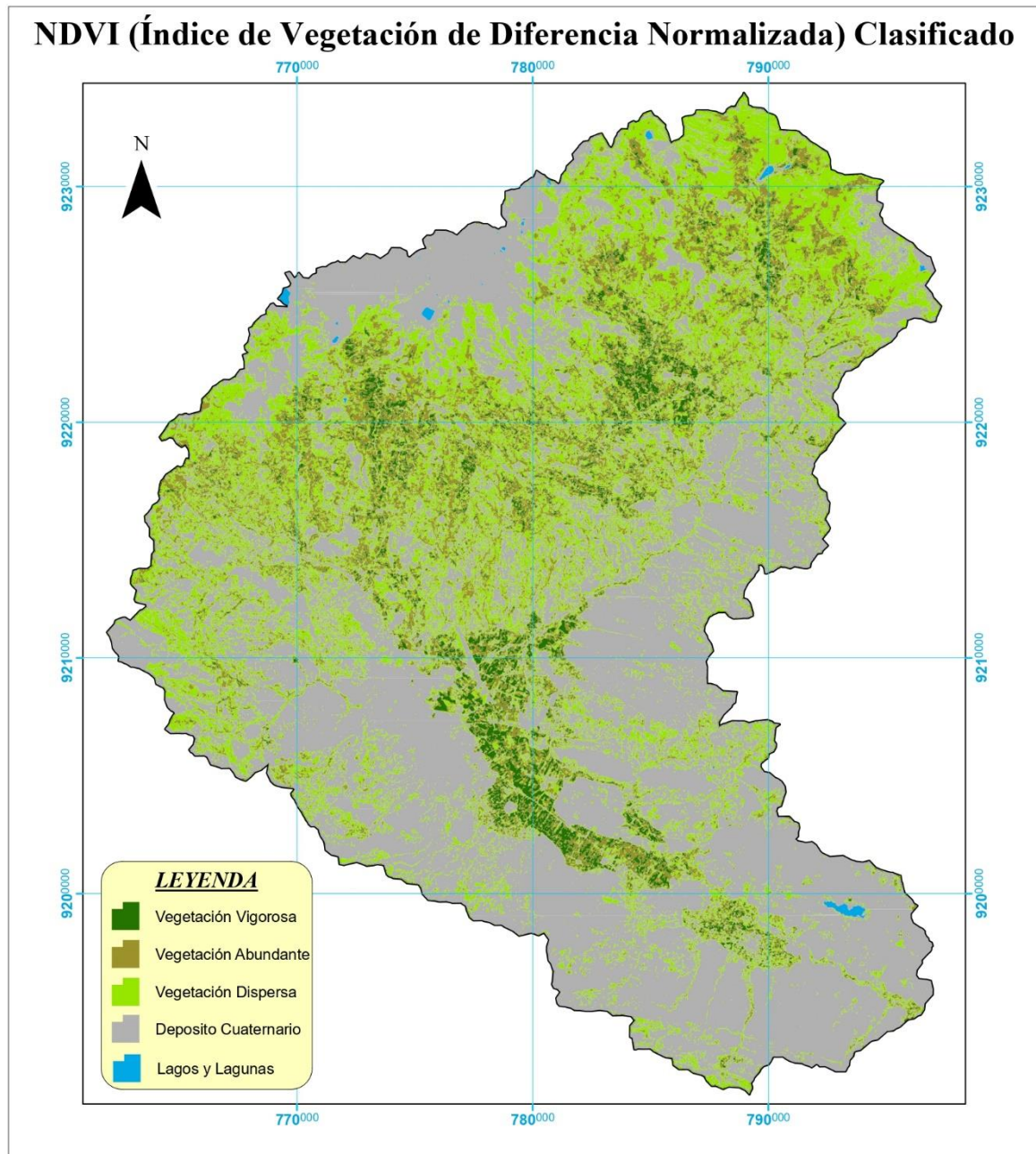
NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)



Nota: En la figura se observa el NDVI sin clasificar.

Figura 12

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) Clasificado



Nota: En esta figura se detalla el NDVI clasificado.

NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)

OBTENCIÓN

Es la obtención de un indicador numérico deriva de imágenes satelitales de Landsat 8, usando las ondas de infrarrojo cercano y corta las bandas espectrales del infrarrojo. Este índice se utiliza para medir la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. Los valores que oscilan están entre -1 y 1, para las zonas con menos humedad. NDWI es útil en muchas aplicaciones de teledetección. (Clevers. J. 1988). Las masas de agua son un elemento que verás realzado de manera reiterativa en prácticamente cualquier composición RGB a falso color.

A través del cálculo del índice NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) nosotros tendremos la oportunidad de identificar masas de agua y zonas de elevada saturación de humedad, el índice se puede emplear como una unidad de medida para determinar el estrés hídrico en vegetación, saturación de humedad en suelos y realizar delimitaciones directas con masas de agua, principalmente lagos.

ANÁLISIS

Haciendo un análisis se pudo advertir las zonas con potencial humedad, luego de una reclasificación se delimitó desde el entorno más húmedo a seco. Para lograr identificar estas potenciales zonas húmedas se debe de contar con las bandas multiespectrales específicas, luego se va a hacer el análisis visual a partir de las matemáticas de bandas 5 y 3. Luego del análisis obtuvimos la delimitación de las cubiertas con respecto a los índices espectrales para identificar la mayoría de potenciales y clasificaciones de otros materiales. La reflectancia del agua puede cambiar por el porcentaje de algas y el porcentaje de turbidez.

Esto lo vamos a poder ver en el Mapa 06, pudiendo apreciar los rangos característicos de cada material o cubierta.

Tabla 7

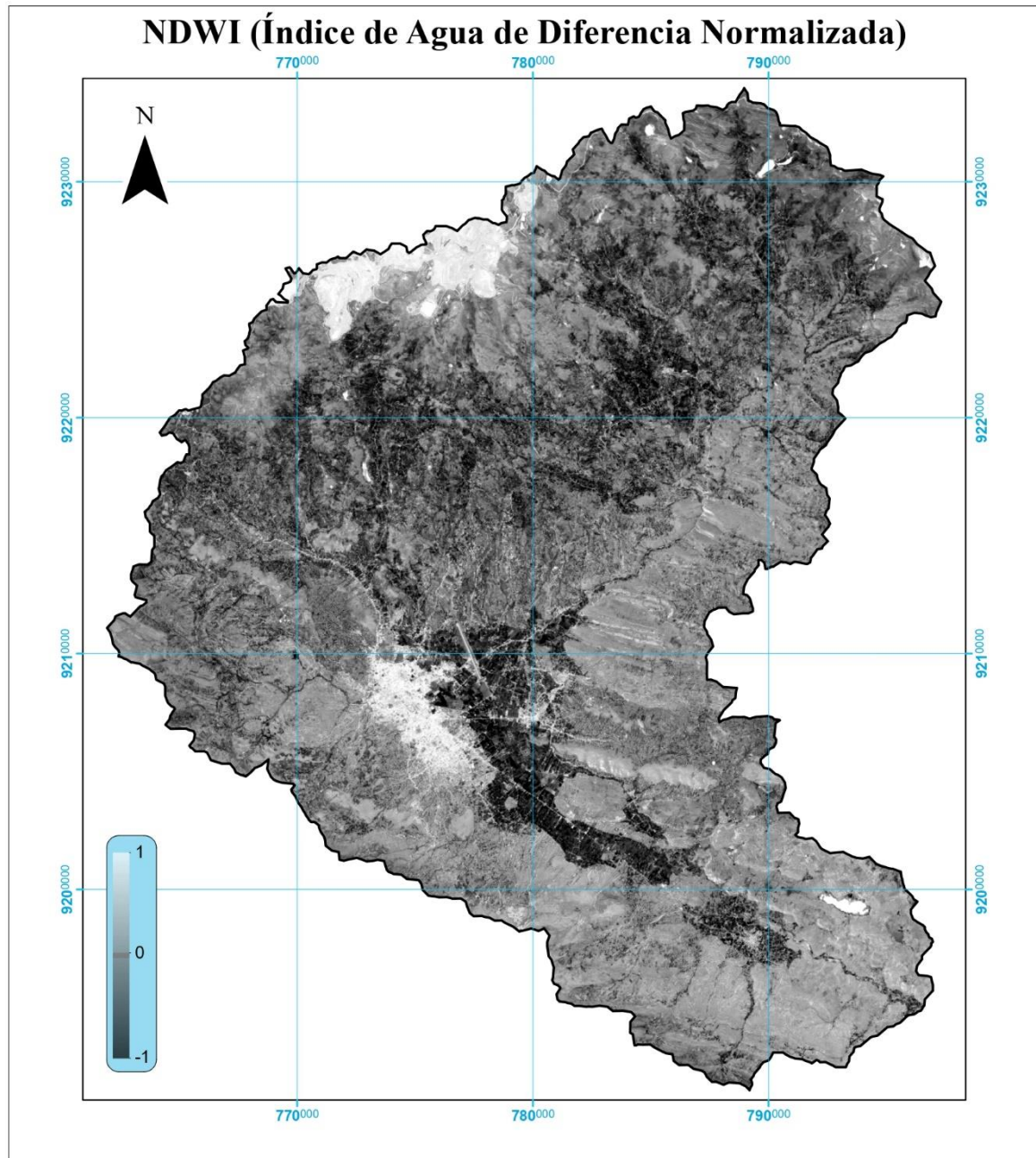
Clasificación de materiales en NDWI

NDWI	TIPO DE CUBIERTA	COLORES RGB		
		R	G	B
-0.10 < NDWI < +1.00	Lagos y Lagunas	0	205	205
-0.40 < NDWI < -0.10	Deposito Aluvial	150	150	150
-0.60 < NDWI < -0.40	Deposito Fluvial	217	217	217
-0.70 < NDWI < -0.60	Afloramiento Rocoso	205	104	57
-1.00 < NDWI < -0.70	Vegetación	0	255	0

Nota: En la tabla se muestra la clasificación de materiales para el NDWI.

Figura 13

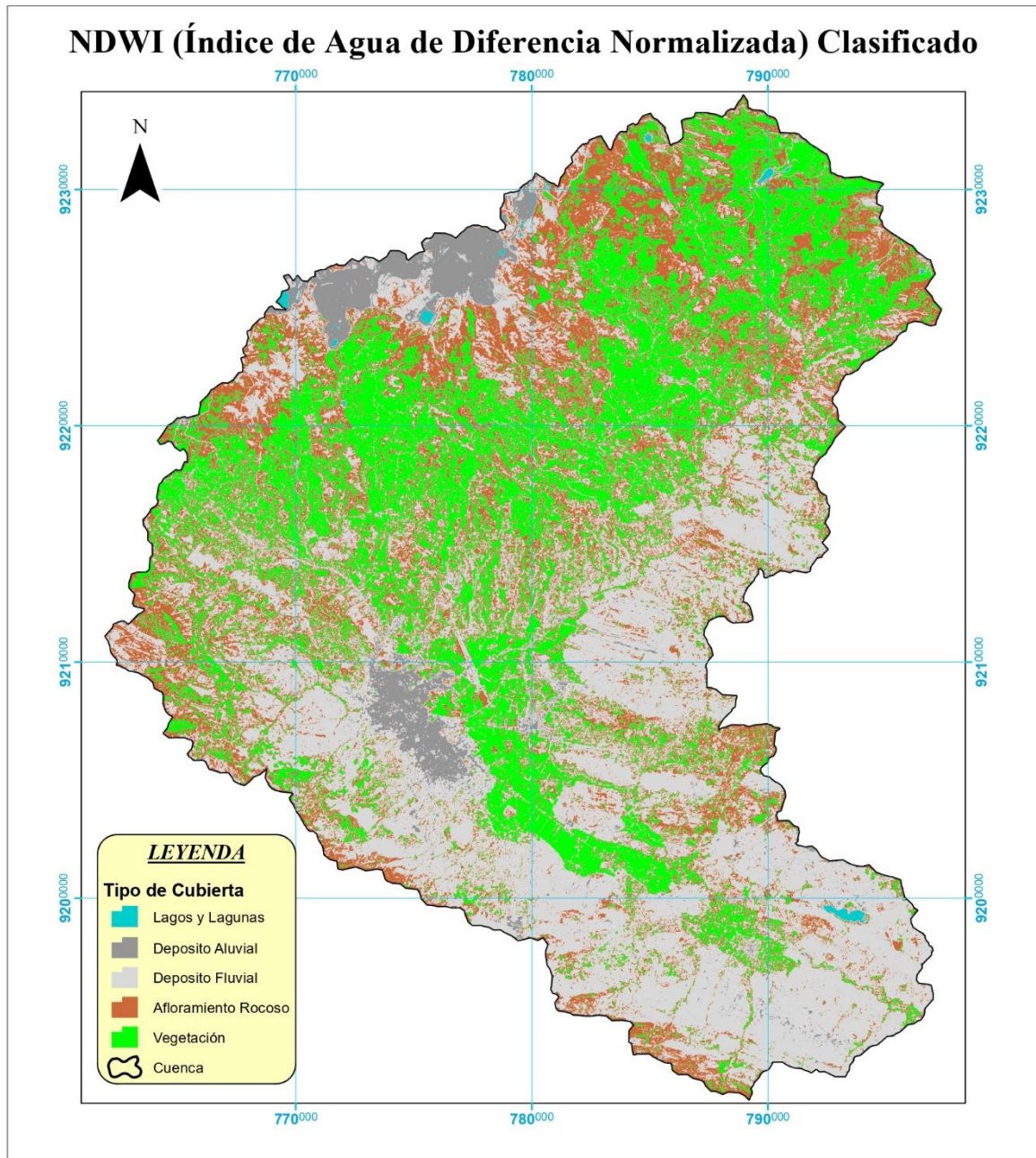
NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)



Nota: En esta figura se observa del NDWI sin clasificar.

Figura 14

NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) Clasificado



Nota: En esta figura se observa la clasificación del NDWI.

Pendiente

El coeficiente de infiltración es el factor que influye para que exista recarga hídrica, esto se da debido a la textura del suelo, la pendiente y vegetación. Así también se indica que

las zonas con menos pendiente son las más adecuadas para la recarga de aguas subterráneas (Rahmati et al., 2015; Sener et al., 2005)

Para la obtención del plano de pendientes, se generará de un DEM.

ANÁLISIS

El análisis que se logró hacer fue evaluando los grados de infiltración en función del porcentaje de inclinación, el cual favorecerá obtener parámetro de zonas favorables a la infiltración, donde la permeabilidad es un factor muy importante.

Obtuvimos una pendiente de con un rango de 0 y > 73.1%, entonces en la zona de estudio encontramos pendientes favorables para la infiltración de agua superficial.

Tabla 8

Grado de infiltración según la pendiente

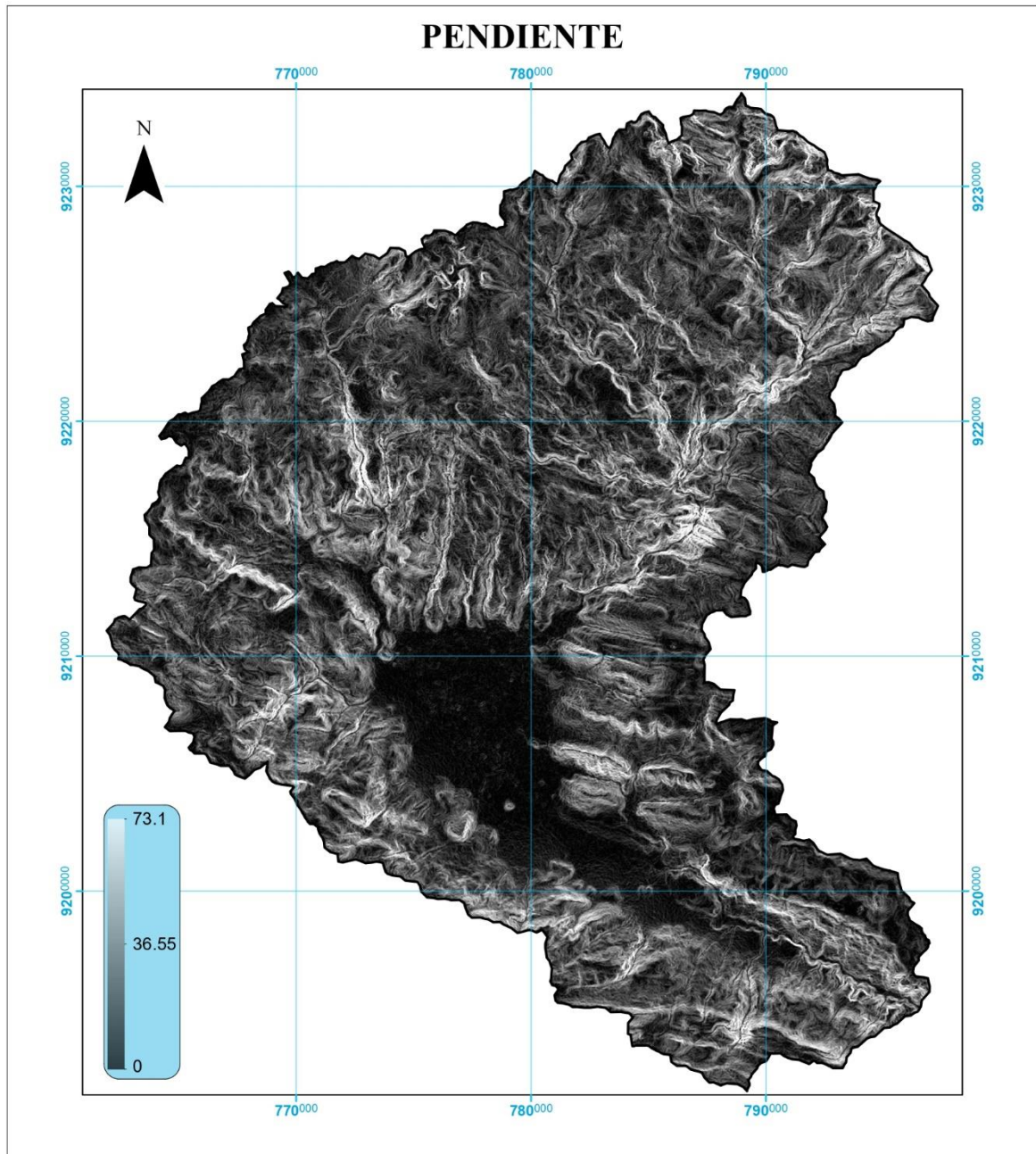
Grado de infiltración	PENDIENTE		COLORES RGB		
	Grados (°)	Porcentaje (%)	R	G	B
Favorable	0 - 13.5	0 – 15%	0	205	0
Moderada	13.5 - 27	15 – 30	255	205	0
Desfavorable	>27	>30	255	0	0

Nota: En la tabla se muestra el grado de infiltración según la inclinación de la pendiente.

Fuente: Schosinky (2001)

Figura 15

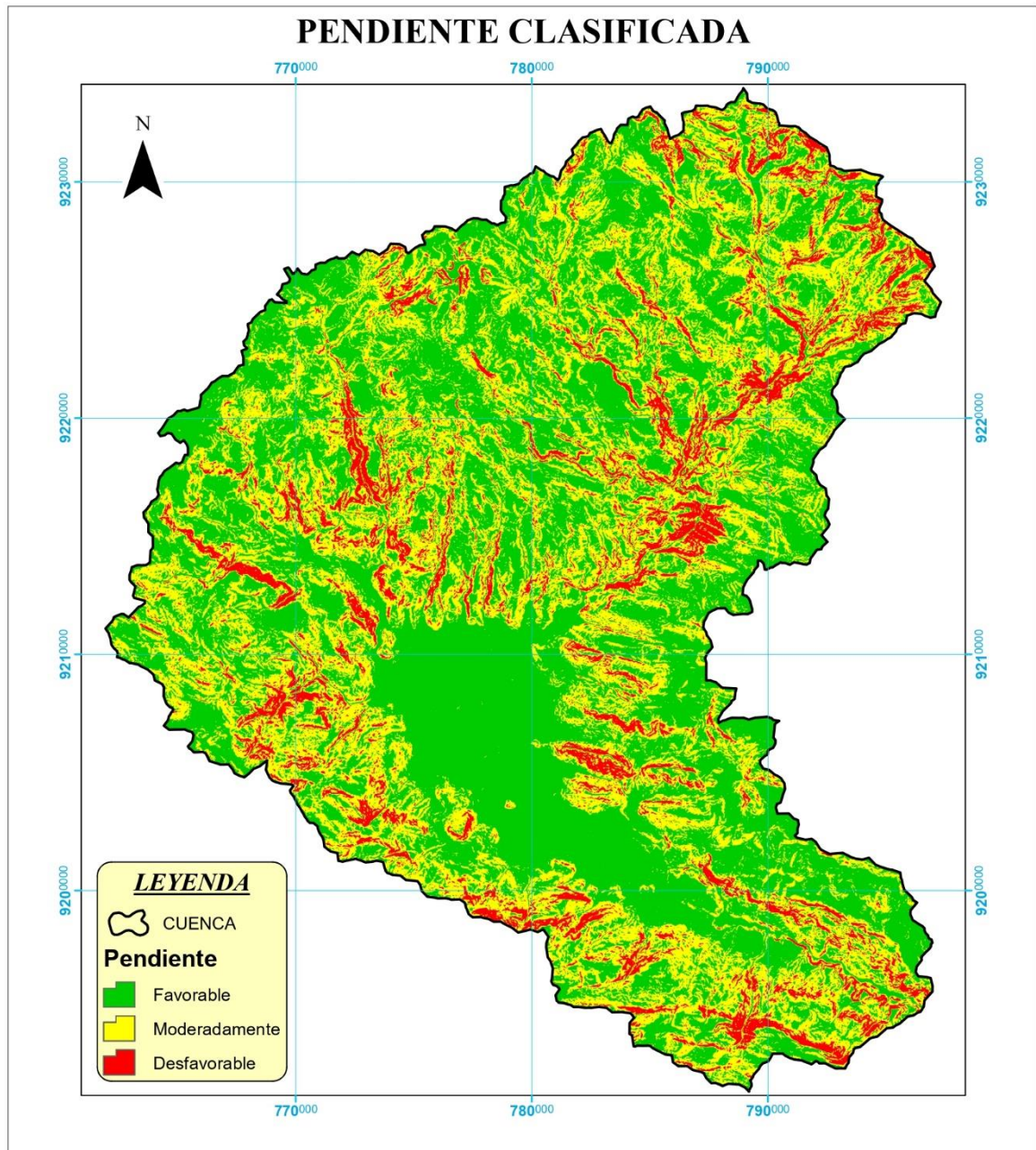
Pendiente



Nota: En la figura se observa la pendiente sin clasificar.

Figura 16

Pendiente Clasificada



Nota: En esta figura se observa la pendiente clasificada.

Temperatura superficial

Para el análisis de la temperatura superficial se obtuvo una imagen en grados Celsius, con un rango de temperatura promedio de 25.6 °C, luego con la interpretación se va a

visualizar zonas con temperaturas altas, suelos húmedos con presencia de vegetación y presencia de agua.

ANALISIS

La temperatura oscila de 9.7°C a 41.5 °C, obteniéndose una temperatura promedio de 25.6 °C, esta temperatura se clasificará con base a la evapotranspiración esto nos permitirá visualizar zonas húmedas y zonas más cálidas, por lo tanto, vamos a considerar que temperaturas menores a 25.6°C son favorables para la infiltración y temperaturas mayores a 25.6°C son desfavorables para la infiltración. Debemos conocer que pueden poseer altas temperaturas las zonas con pobre vegetación, baja elevación y afloramientos rocosos, en cambio la presencia de vegetación y presencia de agua indican una zona con temperatura baja.

Tabla 9

Análisis de rango de temperatura en cubiertas

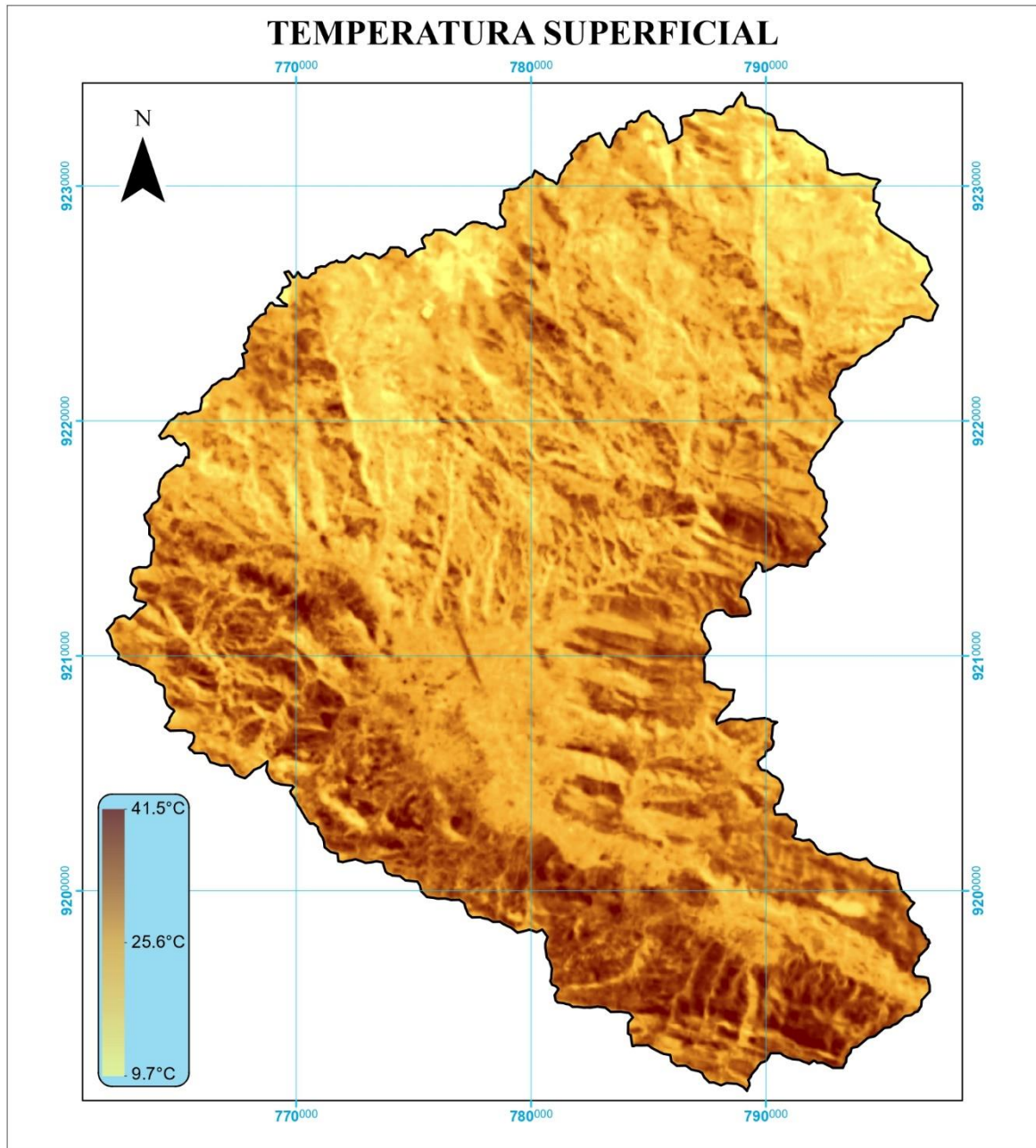
Rango de temperatura (°C)	Tipo de cubierta
29 – 39	Zonas detríticas y afloramientos
24 – 28	Depósitos cuaternarios
5 – 23	Vegetación

Nota: En la tabla se muestra el rango de temperatura y el tipo de cubierta para el análisis.

Fuente: Díaz, S. (2018)

Figura 17

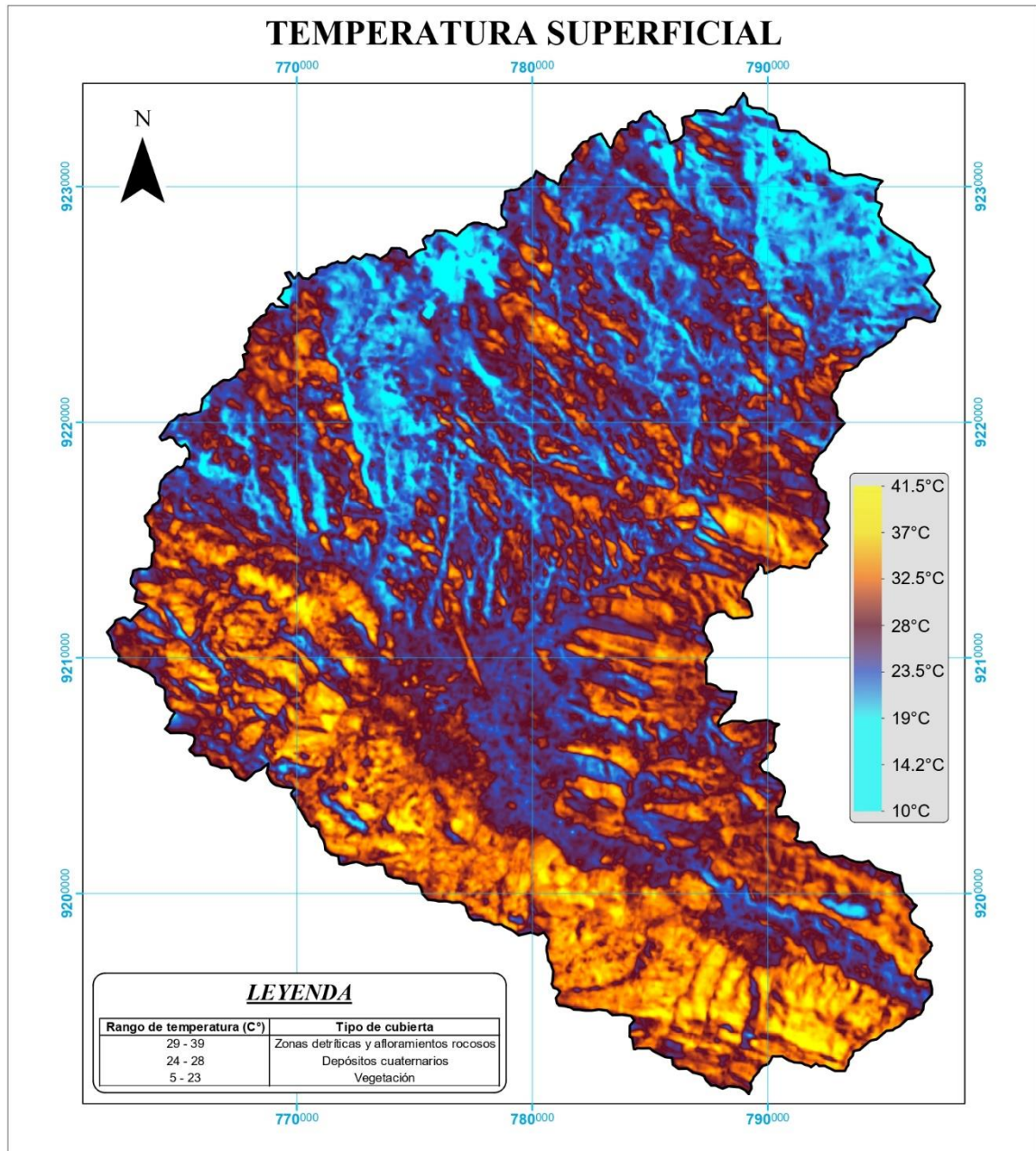
Temperatura superficial de la Tierra



Nota: En la figura se observa la temperatura superficial sin clasificar.

Figura 18

Temperatura Superficial



Nota: En esta figura tenemos la temperatura superficial clasificada.

Árbol de decisiones

Para el análisis del árbol de decisiones se determinó varios parámetros (Pendiente, Temperatura superficial, NDVI y NDWI) lo cual estos servirán para determinar las posibles zonas de agua subterránea.

Para ello consideramos en el árbol de decisiones ciertos parámetros que realiza un intérprete en la búsqueda de zonas de recarga hídrica, teniendo como principales reglas lo siguiente; pendiente (Pen) menor a 27° , pendiente (Pen) favorable menor de 13.5° , temperatura superficial de la tierra (Ts) menor a 25.6°C , NDWI menores a 0 y mayores a 0.6, NDVI mayores a 0 y mayores a -0.4, todos estos datos se trabajaron en el software ENVI 5.3.

Donde:

Pen: Pendiente

Ts: Temperatura Superficial

NDWI: Índice de Agua de Diferencia Normalizada

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Q: Cuaternario

Q - fl: Cuaternario Fluvial

Q - al: Cuaternario Aluvial

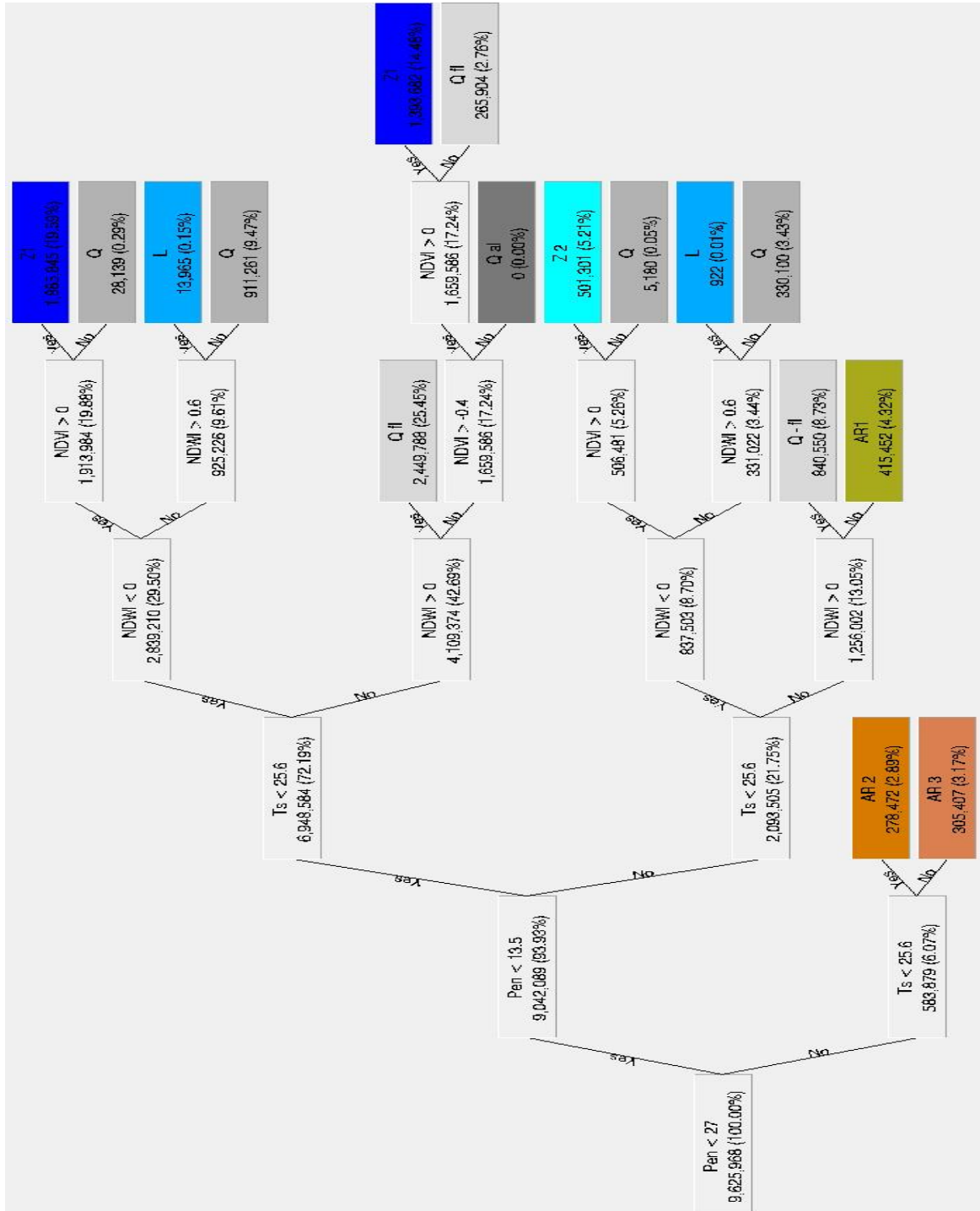
Z: Zona de recarga Hídrica

AR: Afloramiento Rocoso

L: Lagos y Lagunas

Figura 19

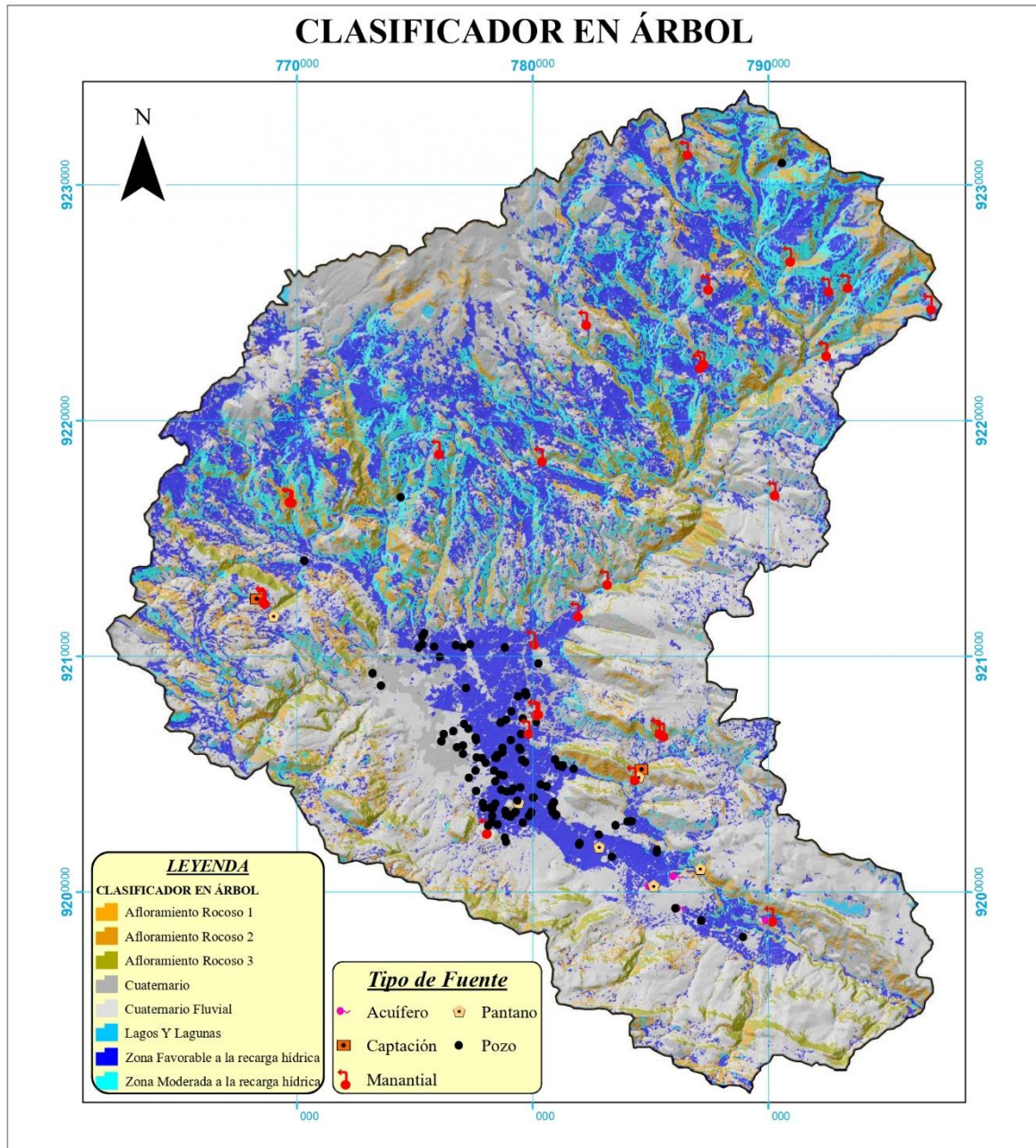
Parámetros clave para la identificación de zonas de recarga hídrica mediante el clasificador en Árbol de la zona de estudio.



Nota: En la imagen tenemos el clasificador en árbol con sus componentes de factores muy importantes (hipótesis, reglas y condiciones).

Figura 20

Clasificador en Árbol



Nota: En esta figura tenemos el árbol clasificador, donde se puede observar que las zonas favorables de recarga hídrica o favorables para tener acuíferos se encuentran en los depósitos cuaternarios no consolidados. Además, se observa los tipos de fuente verificados en campo también los pozos inventariados por el ANA (2015).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En el presente estudio se evidencia que a partir de los resultados es posible identificar zonas con potencial acuífero utilizando las imágenes LANDSAT 8 mediante los análisis de (NDVI, NDWI, TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA TIERRA Y PEDIENTE) por lo que se acepta la hipótesis de que Otuzco, Baños del Inca, Llacanora, La colpa, La Huaraclla y Jesús son las zonas con mayor potencial de acuífero mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca – Perú 2022.

Los mapas obtenidos permitieron observar que la temperatura superficial terrestre nos permite contrastar zonas húmedas con presencia de vegetación y presencia de agua superficial obteniéndose una temperatura generalmente baja, favorable para la infiltración. Lo que guarda relación con lo que menciona, (Mendoza y Rojas, 2013) en dicho estudio, donde siguió una metodología de los DEM - ASTER GDEM obteniendo como resultados del procesamiento los parámetros de estudio de temperatura de la superficie, la pendiente, la red de drenajes y el NDVI, parámetros que varían dependiendo las zonas el análisis visual de las imágenes multiespectrales donde muestra que las aguas subterráneas yacen sobre la terraza de los depósitos aluviales, siendo las áreas de alta probabilidad aquellas donde hay notoriamente desarrollo de vegetación y están cerca de los ríos u otros patrones de drenajes.

Según el resultado del mapa de pendientes si es posible ubicar zonas con presencia de agua subterránea usando parámetros superficiales del DEM donde la Pendiente $> 27^\circ$ es favorable para la infiltración de las zonas de recarga y para el almacenamiento con una pendiente de $> 13.5^\circ$, estos resultados son respaldados por (Barboza y Cortez, 2018), nos dicen que tiene una confiabilidad de 79% de certeza en función a los pozos inventariados por ANA (2018). ya que los índices son favorables para la recarga hídrica. En este proyecto

existe un factor que influye para que exista zonas de recarga ya que esto se debe a la textura que presenta el suelo donde la pendiente con un porcentaje menor de 24° es favorable para la infiltración, donde en las partes llanas están las zonas que presentan acuíferos y aguas subterráneas.

De acuerdo al mapa del NDVI los valores que estén más cercanos a +1 nos muestra una mayor concentración en el porcentaje de agua subterránea, nuestro estudio se hizo con una imagen Landsat con fecha 07 de agosto del 2021, en temporada de escasa precipitación. En el análisis de los mapas se puede observar extensas zonas con vegetación saludable, zonas con menor probabilidad de existencia de agua subterránea, donde ha sido influenciado por la permeabilidad de la roca, la densidad de drenajes y en mayor proporción por la pendiente del terreno muy favorable para la infiltración y la concentración de agua subterránea. Este resultado guarda relación con lo que menciona Hernández (2009), donde logró analizar el comportamiento con respecto a la incidencia de la presencia de agua subterránea y distintas características a considerar en los mapas temáticos, los posibles criterios de categorización: Litología, Forma de la Tierra (Tipo, extensión de área, vegetación asociada), Tipo de suelo (Permeabilidad, porosidad, textura), Pendiente (Porcentaje de pendientes), dependiendo de los valores que se apliquen a las distintas características tendremos diferentes resultados para la posibilidad de encontrar acuíferos: excelente, bueno, medio, pobre.

Según el mapa geológico, utilizando los medios accesibles de forma gratuita como son las imágenes de satélites LANDSAT 8 y DEM nos muestran las unidades litológicas que predominan en el área de estudio con cierta permeabilidad y lineamientos que es un factor principal que permite la infiltración y almacenamiento de agua subterránea, este resultado es coherente con lo que, Macas y López (2018) mencionan que las zonas con mayor densidad de lineamientos, poseen un mayor grado de fracturamiento, y permiten una mayor infiltración del agua, por lo tanto a mayor densidad de lineamientos existe una mayor

probabilidad de recarga (Tapia et al., 2015). Esto se consideró para asignar mayor permeabilidad a la litología donde se verifica una mayor densidad de lineamientos, En la validación del mapa resultante se obtuvo que, de 288 puntos de agua existentes en la zona de estudio, 203 (70%) se encuentran en zonas de muy alto, alto y moderado potencial, y los 85 puntos de agua restantes se encuentran en las zonas de baja y muy baja potencialidad a exploración de aguas subterráneas.

De acuerdo al mapa clasificado de la temperatura superficial, los valores favorables para el almacenamiento de agua subterránea son las zonas húmedas y/o vegetación con una temperatura menor a 25.6°C y mayores a estas se consideran desfavorables para la infiltración ya que son consideradas zonas cálidas o desérticas, este resultado tiene un vínculo con Alarcon (2018) contrastando en su tesis que, los valores obtenidos en el procesamiento de la temperatura superficial datan que existen zonas de aguas subterráneas donde de temperatura elevan los 300 K (26.85°C). Cabe añadir, que la temperatura superficial nos permite visualizar las zonas desérticas y los suelos húmedos.

En el árbol de decisiones obtenido nos indica que para determinar las posibles zonas de recarga o acuíferos consideramos ciertos parámetros; pendiente (Pen) menor a 27° , pendiente (Pen) favorable menor de 13.5° , temperatura superficial de la tierra (Ts) menor a 25.6°C , NDWI menores a 0 y mayores a 0.6, NDVI mayores a 0 y mayores a -0.4, esto guarda relación con lo mencionado por Diaz (2018), que de acuerdo al análisis visual y estadístico de las imágenes mediante el método de árbol de decisiones trabajado en el software ENVI 5.3 se procedió a una ubicación de las zonas potencialmente con agua subterránea (as), usando las imágenes de modelo de pendientes (PEN), temperatura de suelos (TS), NDWI y NDVI. Obteniéndose la zona potencial con agua subterránea.

Algunas de las limitaciones existentes en la presente investigación es que algunas imágenes satelitales tienen un alto porcentaje de nubosidad el cual nos complica hacer un trabajo más detallado y real; por otro lado, la resolución espectral de cada banda es de 30 metros por lo que no nos permite acercarnos mucho a la realidad el cual se tiene que combinar diferentes imágenes con más resolución.

4.2. Conclusiones

Del presente estudio se concluye que las zonas de Otuzco, Baños del Inca, Llacanora, La colpa, La Huaracalla y Jesús son las zonas con mayor potencial de acuífero analizado mediante la teledetección de humedales en la cuenca Cajamarca – 2022.

Se concluyó que la aplicación de la teledetección en el estudio de los humedales ha permitido detectar la presencia de acuíferos y agua subterránea, donde el NDVI es el índice con mayor porcentaje de acierto y los valores más cercanos a +1 son los que contienen mayor porcentaje de agua subterránea; respecto al NDWI los valores más cercanos a -1 son los que tienen mayor porcentaje de agua subterránea, además se concluyó que para encontrar acuíferos es importante tener una pendiente máxima de 27° para favorecer la infiltración y una temperatura superficial máxima de 25.6° C para que no pueda haber una pérdida de agua por evapotranspiración.

Mediante el análisis de teledetección de imágenes Landsat se pudo obtener mapas temáticos y en campo se pudo contrastar que los humedales son zonas potenciales de acuíferos, además se corroboró con los pozos inventariados por el ANA (2015), por lo que se concluye que la exploración de agua subterránea por medio de imágenes satelitales es un técnica que permite realizar estudios de gran amplitud y en muchos casos debe ser complementada con estudios geofísicos o corroborando en campo, logrando así detallar posiblemente la profundidad de la que se encuentra el nivel freático del acuífero.

A partir de la sección hidrogeológica se concluyó que las posibles distribuciones de acuíferos se ubican en suelos no consolidados, también las estructuras geológicas sirven como inyectores para la recarga y zonificación de acuíferos.

Recomendaciones

En la presente investigación se recomienda finalizar el estudio aplicando un cartografiado hidrogeológico a detalle en las zonas detectadas.

Se recomienda realizar las correcciones atmosférica, geométrica y radiométrica de las imágenes satelitales para no perder mucha información espacial y espectral, lo cual el no hacerlo nos conlleva a un margen de error.

Se recomienda complementar con técnicas de prospección directos (perforación) e indirectos (geofísicas) para reducir el margen de error a cero y así determinar la profundidad del acuífero.

REFERENCIAS

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora., R. y Vargas-Bolaños, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo flaash del software envi. Revista Geográfica De América Central, 2(53), 39-59.
<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alcantara, K. (2018). *“Aplicación de las técnicas de teledetección pasiva para la determinación de aguas subterráneas en la Región Ica durante el periodo 2017 al 2018”*. [Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
- ANA (2015). Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de Crisnejas. repositorio.ana.gob.pe. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/38>
- Avdan, U., y Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. Journal of Sensors, 2016.
- Cabrera, E., G. Galindo y D.M. Vargas. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 44 p
- Castaño, S. (s.f). Aplicaciones de la teledetección y SIG al control y cuantificación de las extracciones de agua subterránea. Aguas.igme.es.
http://aguas.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/art2/pdf/aplicacion.pdf
- Chander, G., Markham, B. L. y Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote sensing of environment 113: 893-903.

- Colorado, Y. y Valera, R (2018). *“Análisis multiespectral mediante parámetros superficiales con la plataforma Landsat 8 para identificar agua subterránea en la cuenca del río Mashcon”* [Tesis pregrado, Universidad Privada del Norte]
- Delgado, C. (2008). *“Hidrogeología y modelación del acuífero Pifo – El Quinche”* [Tesis pregrado]. Escuela Politécnica Nacional – Quito
- Díaz, F. (2018). *“Prospección de aguas subterráneas usando imágenes LANDSAT 8 y ASTER GDEM mediante el método de árbol de decisiones en el cuadrángulo 15 G-San Marcos – Cajamarca”* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca.]
- Díaz, S. (2018). *“Análisis multiespectral mediante imágenes satelitales para identificar zonas de recarga hídrica subterránea en la cuenca Jequetepeque”* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]
- Gebhard, J. (1997) *Técnicas de teledetección. Curso de Posgrado Hidrogeología de las Regiones Áridas*. Facultad de Ciencias Nat. y Museo. UNLP. La Plata (inédito)
- González, N., Gebhard, J. y Hernández, M., (1998). *La teledetección en la investigación geohidrológica. Bolsón de Mazán. Provincia de La Rioja. Argentina*.
Aguassubterraneeas.abas.org.
<https://aguassubterraneeas.abas.org/asubterraneeas/article/viewFile/23495/15581>
- Gu, D. y Gillespie, A. (1998). “Topographic Normalization of Landsat TM Images of Forest Based on Subpíxel Sun–Canopy–Sensor Geometry”, *Remote Sensing Environment*. Vol.64, p.p. 166 – 175.
- Gutiérrez, J., Fabregat, V., Ramos, G., Sánchez, E. y Antón-Pacheco, C., (1999). *Clasificación De Imágenes LANDSAT-TM Para La Estimación De*

*Superficie De Regadío En La Vega Baja Y Campo De Elche, Unidad Hidrogeológica
07.24 (Alicante).* Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=942723>

H.-Q. Xu y B.-Q. Chen. (2004). "Teledetección de la isla de calor urbana y sus cambios en la ciudad de Xiamen, en el sudeste de China", *Journal of Environmental Sciences* , vol. 16, no. 2, págs. 276–281.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Hernández, M. (2010). *Metología Para La Prospección De Agua Subterránea Utilizando Información Satelital Y Datos Obtenidos En Forma Tradicional.* [online] Revistapolitecnica.epn.edu.ec.

Herraiz, A. S. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *La Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114.

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/271

<https://www.redalyc.org/pdf/4517/4517445444002.pdf>

<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/5987>

INGEMMET, (2015). *Boletín Serie H: Hidrogeología, Hidrogeología de las cuencas de los ríos Jequetepeque (13774) y Chamán (137752) Regiones Cajamarca, La libertad y Lambayeque.*

Meijerink, A (2007), *Remote sensing applications to groundwater.* [Archivo PDF]. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/manual-teledeteccion-aplicado-aguas-subterraneas/>

- Mertens, D. M. (2019). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. Sage publications.
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*. Edit. Ra-ma Madrid. España.
- Poveda Jaramillo, G., Salazar, J. y Carvajal, L., (1998). *Predicción Hidrológica En Colombia Mediante Analisis Espectral Singular Y Maxima Entropia*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ramírez-Granados, P., (2013). *Determinación de la recarga acuífera potencial mediante un sistema de información geográfica para la cuenca del río Frío, Costa Rica*.
Revistas.una.ac.cr.
- Rojas Caldelas, R., Gaona Arredondo, T., Arredondo Vega, J., Peña Salmón, C., Corona Zambrano, E. y Baeza Herrera, O. (2005). *Planeación Urbana Y Regional*.
https://books.google.com.pe/books?id=CWkrE8RVM4QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sartajvir, S., y Rajneesh, T. (2013). “A Systematic Survey on Different Topographic Correction Techniques for Rugged Terrain Satellite Imagery”, *International Journal of Electronics & Communication Technology*, Vol.4 No. Spl-5, p.p. 14-18.
- Soenen, S.A., Peddle, D.R. y Coburn, C.A. (2005). “SCS+C: A Modified Sun-Canopy-Sensor Topographic Correction in Forested Terrain”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.43, No.9, pp. 2148 - 2159.
- Taranik, V., Moore, K. y Sheehan, A. (1976). *Workshop exercise on groundwater exploration in South – Central Arizona using Landsat imagery*, U.S. Geological Survey

USGS (2020). Número especial abril 2020: Resumen de la Colección Landsat 2.

<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/special-issue-april-2020-landsat-collection-2-overview>

ANEXOS

Ficha de descripción

Anexo 1

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 01

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**



ESTACIÓN N° 01	FICHA			E001	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA		En este punto el manantial que aflora en superficie se encuentra en areniscas de la Formación Farrat, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios donde estas vierten a una quebrada, es de uso agrícola y agropecuario.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	785364	9206704	2867.9		
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)		ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
		M			
FOTOGRAFIA					



Anexo 2

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 02

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 02	FICHA			E002	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA		En este punto el manantial que aflora en superficie se encuentra en areniscas de la Formación Farrat, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua de dicho manantial es recolectado, para que luego pueda ser transportada para el uso poblacional.
DESCRITO POR:	Bach. García, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	785535	9206585	2857.9		
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)		ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
		M			
FOTOGRAFIA					



Anexo 3

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 03

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 03	FICHA			E003	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA		En este punto la captación se encuentra en areniscas de estratificación laminar con un alto grado de fracturamiento de la Formación Farrat, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua de dicho manantial es recolectado para que luego pueda ser transportada para el uso poblacional.
DESCRITO POR:	Bach. García, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	784615	9205209	2711.8		
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M)	CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
			C		

FOTOGRAFIA



Anexo 4

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 04

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 04	FICHA E004			DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA	En este punto el pantano que aflora en superficie se encuentra en areniscas de la Formación Farrat, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua es estancada por una capa impermeable.
DESCRITO POR:	Bach. García, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	784496	9204878	2644.9	
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
	PT	CAPTACIÓN (C)		
FOTOGRAFIA				



Anexo 5

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 05

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 05	FICHA			E005	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA		En este punto el manantial que aflora en superficie se encuentra en una zona de falla comportándose como conductores o barreras hidráulicas cambiando el sentido del flujo ubicándose en areniscas de la Formación Farrat, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua de dicho manantial se vierte hacia un canal que es aprovechado para la agricultura y la ganadería.
DESCRITO POR:	Bach. García, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	784319	9204709	2591.9		
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)		ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
		M			
FOTOGRAFIA					



Anexo 6

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 06

Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022

ESTACIÓN N° 06	FICHA		E006	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	JESUS	En este punto encontramos un acuífero colgado que pertenece a los acuíferos porosos no consolidados que se encuentra en depósitos aluviales, este contiene agua libre por encima del cuerpo principal de agua subterránea y que está separado de ésta por un estrato poco permeable y por una zona no saturada.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	790043	9198786	2582	
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS ALUVIAL (Q - al)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
			A	

FOTOGRAFIA



Anexo 7

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 07

Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022

ESTACIÓN N° 07	FICHA			E007	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	PARIAMARCA		Se observó un pozo en depósitos aluviales perteneciente a los acuíferos porosos no consolidados, construido de manera manual con anillos de concreto de donde se obtiene agua para consumo humano, a lado del pozo se encuentra una estructura de cemento construida con gran altura que retiene un tanque para acumular agua y poder utilizarla en los momentos que sea necesario.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	778527	9202871	2680		
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS ALUVIAL (Q - al)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)	
		CAPTACIÓN (C)			PZ
FOTOGRAFIA					



Anexo 8

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 08

Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022

ESTACIÓN N° 08	FICHA			E008	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	LLACANORA		Se observó un pozo en depósitos fluviales, arenas y arenas gravosas perteneciente a los acuíferos porosos no consolidados, construido de manera manual con anillos de concreto de donde se obtiene agua para consumo humano.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	785272	9201812	2618		
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS FLUVIALES (Q - fl)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)		ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
					PZ

FOTOGRAFIA

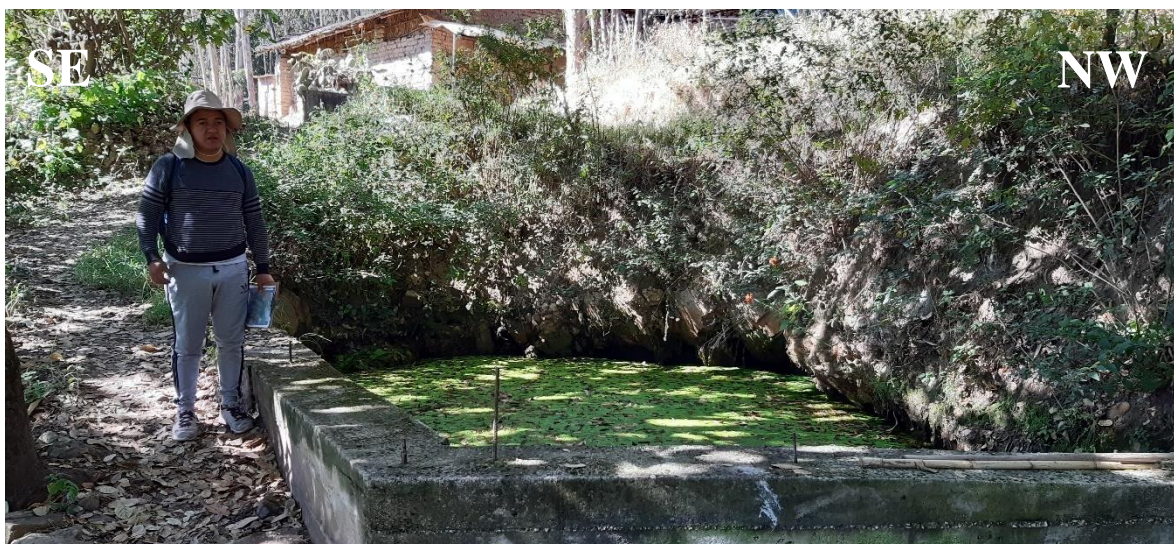


Anexo 9

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 09

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 09	FICHA			E009	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	HUARACLLA		En este punto encontramos un acuífero colgado que pertenece a los acuíferos porosos no consolidados que se encuentra en depósitos aluviales, este contiene agua libre por encima del cuerpo principal de agua subterránea y que está separado de ésta por un estrato poco permeable y por una zona no saturada, se puede observar que ha sido construido muros para poder tener un mejor almacenamiento de agua.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	785073	9200234	2665		
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS ALUVIAL (Q - al)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)	
		CAPTACIÓN (C)			A
FOTOGRAFIA					



Anexo 10

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 10

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 10	FICHA		E010	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	HUARACLLA	En este punto encontramos un acuífero colgado que pertenece a los acuíferos porosos no consolidados que se encuentra en depósitos fluviales, con afloramientos de la formación Farrat a 100 metros al SE. Este contiene agua libre por encima del cuerpo principal de agua subterránea y que está separado de ésta por un estrato poco permeable y por una zona no saturada.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	786095	9200667	2649	
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS FLUVIALES (Q - fl)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
			A	
FOTOGRAFIA				



Anexo 11

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 11

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 11	FICHA		E011	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	COLPA	En este punto el pantano se encuentra en depósitos aluvial, la cual pertenece a los acuíferos porosos no consolidados, el agua es estancada por una capa impermeable, observándose en dicha imagen que el nivel freático esta aflorando en superficie.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	782825	9201906	2630	
FORMACIÓN/UNIDAD	DEPÓSITOS ALUVIAL (Q - al)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
	PT			
FOTOGRAFIA				



Anexo 12

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 12

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 12	FICHA		E012	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CHAMIS	En este punto el manantial que aflora en superficie se encuentra en una zona de contacto entre la formación Farrat y la formación Chulec, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua de dicho manantial se vierte hacia el río Porconcillo que es aprovechado para la agricultura y la ganadería.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	768300	9212437	3293	
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
		M		

FOTOGRAFIA



Anexo 13

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 13

**Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la
Cuenca Cajamarca - 2022**

ESTACIÓN N° 13	FICHA		E013	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CHAMIS	En este punto el manantial que aflora en superficie se encuentra en una zona de contacto entre la formación Farrat y la formación Chulec, la cual pertenece a los acuíferos fisurados sedimentarios, el agua de dicho manantial se vierte hacia el río Porconcillo que es aprovechado para la agricultura y la ganadería.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D			
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S			
COORDENADAS UTM	768620	9212214	3266	
FORMACIÓN/UNIDAD	FORMACIÓN FARRAT (Ki - f)			
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)	ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
		M		

FOTOGRAFIA



Anexo 14

Ficha de descripción de tipo de fuente N° 14

Potencial acuífero mediante la teledetección de humedales en la Cuenca
Cajamarca - 2022

ESTACIÓN N° 14	FICHA			E014	DESCRIPCIÓN
UBICACIÓN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	HUAMBOCANCHA		En este punto se encontró un pozo que pertenece a un Acuitardo Volcánico Sedimentario, encontrándose en una <u>zona</u> de contacto entre la formación Farrat y el Volcánico Llama, siendo utilizado para el consumo humano.
DESCRITO POR:	Bach. Garcia, K; Bach. Herrera, D				
DATUM	WGS 1984 UTM ZONA 17S				
COORDENADAS UTM	770301	9214055	2912		
FORMACIÓN/UNIDAD	VOLCÁNICO PORCULLA (Nm - vp)				
TIPO	PANTANO (PT)	MANANTIAL (M) CAPTACIÓN (C)		ACUÍFERO (A)	POZO SUB. (PZ)
					PZ

FOTOGRAFIA

