

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE “INGENIERÍA AGRÍCOLA”**



**“ZONIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PARA**  
**CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA**  
**SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020”**

Presentado por:

**Bach. Lenin Bruce, ROSALES TARAZONA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AGRÍCOLA**

ASESOR:

**PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS**

**HUARAZ, PERÚ**

**2020**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de Ingeniería Agrícola **LENIN BRUCE ROSALES TARAZONA**, denominada: **"ZONIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY ANCASH-HUARAZ-2020"** Escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO (\*)

QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condición de ser calificada APTO por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de INGENIERO AGRÍCOLA, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 23 de febrero de 2023.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA

PRESIDENTE

Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY

SECRETARIO

Mag. JAVIER ALBERTO COTOS VERA

VOCAL

Phd. ABELARDO MANRIQUE DÍAZ SALAS

ASESOR

(\*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18), APROBADO (14 - 16), DESAPROBADO (00 - 13).





UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



### ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada "ZONIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY ANCASH-HUARAZ-2020", presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **LENIN BRUCE ROSALES TARAZONA**, y sustentado el día 23 de febrero del 2023, con Resolución Decanatural N° 066-2023-UNASAM-FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 23 de febrero de 2023.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA

**PRESIDENTE**

Dr. TITO MONER TINOCO MEYHUAY

**SECRETARIO**

Mag. JAVIER ALBERTO COTOS VERA

**VOCAL**

Phd. ABELARDO MANRIQUE DIAZ SALAS

**ASESOR**



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por:

con DNI N°:

para optar el Título Profesional de:

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : ..... de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,



FIRMA

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

DNI N°: \_\_\_\_\_

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS RTLB11 FINAL 4.docx**

AUTOR

**Lenin Rosales Tarazona**

RECUENTO DE PALABRAS

**9720 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**51499 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**80 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 6, 2023 9:52 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 6, 2023 9:53 PM GMT-5****● 15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación con cariño muy especial a mis padres: Rosales Julca Claudio y Tarazona Cabello Silvia, por haberme brindado siempre su apoyo, de igual forma a mis hermanos, quienes me han brindado su apoyo en mis estudios sin el cual no hubiese podido culminar con esta etapa de mi vida, y a todos aquellos familiares y amigos que siempre estuvieron alentando durante mis estudios.



## AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor y bondad no tiene fin, me haces sonreír con mis logros, gracias por ayudarme. Cada momento vivido a través de los años es especial, cada oportunidad para enmendarse, cada mañana para empezar de nuevo, sin importar cuántos errores haya cometido el día anterior. Un agradecimiento especial al patrocinador de mi tesis el, PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS por planear, dirigir y mantener el desarrollo del proyecto de investigación.



## LISTA DE CONTENIDO

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ii
ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICES DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv



## ÍNDICE GENERAL

I. Problema de investigación	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Identificación del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación	2
1.4. Delimitación	3
II. Marco teórico	4
2.1. Antecedentes de investigación	4
2.1.1. Antecedentes locales	4
2.1.2. Antecedentes nacionales	5
2.1.3. Antecedentes internacionales	5
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Escorrentía superficial.	7
2.2.2. Coeficiente de escorrentía	7
2.2.3. Cálculo del coeficiente de escorrentía.	7
2.2.4. Método del número curva	9
2.2.5. Clasificación hidrológica de los suelos	11
2.2.6. Usos del suelo y tratamiento	12
2.2.7. Condición Hidrológica de los Suelos	13
2.2.8. Sistema de información geográfica SIG	14
2.2.9. Software Google Earth Pro	15
2.2.10. Muestreo aleatorio estratificado	15
2.2.11. Metodología Corine Land Cover	16
2.3. Definición de términos	17

2.4. Hipótesis	19
2.4.1. Hipótesis general	19
2.5. Variables	19
III. Materiales y métodos.	20
3.1. Descripción de la zona de estudio	20
3.2. Materiales, equipos y herramientas utilizados.	20
3.2.1. Informaciones básicas	21
3.3. Métodos	22
IV. Resultados y discusión	28
4.1.1. Mapa cobertura	28
4.1.2. Asignación de grupos hidrológicos de suelos	31
4.1.3. Determinación del Número de Curva.	33
V. Conclusiones	40
VI. Recomendaciones	42
VII. Referencia bibliográfica	43
VIII. Anexo	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Descripción de los grupos hidrológicos	11
<b>Tabla 2</b> Límites estacionales para los CAH	13
<b>Tabla 3</b> Números las clases designadas para el modelo	29
<b>Tabla 4</b> Matriz de confusión: puntos obtenidos por fotointerpretación visual.	29
<b>Tabla 5</b> Número de curva en función de cobertura	31
<b>Tabla 6</b> Tabla de clasificación propuesta de grupos hidrológicos de suelos	32
<b>Tabla 7</b> Número curva en función a GHS.	32
<b>Tabla 8</b> Tabla de uso de suelos y grupos hidrológicos reclasificados	33
<b>Tabla 9</b> Número de curva en función de grupo hidrológico de los suelos (GHS) y el tipo de cobertura.	34
<b>Tabla 10</b> Número de curva de escurrimiento para complejos hidrológicos de suelos-cobertura (para II e $Ia=0.2S$ )	45
<b>Tabla 11</b> Clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo	46
<b>Tabla 12</b> Tabla de cálculo de tamaño de muestra buscada	68
<b>Tabla 13</b> clasificación propuesta de cobertura según corine Land Cover	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)	17
<b>Figura 2</b>	Diagrama de procesos para determinar la cuenca de estudio	23
<b>Figura 3</b>	Diagrama de procesos para determinar la cobertura de suelos	25
<b>Figura 4</b>	Diagrama de procesos para determinar los grupos hidrológicos de suelos	26
<b>Figura 5</b>	Diagrama de procesos para calcular el valor NC	27
<b>Figura 6</b>	Distribución de cobertura en la Subcuenca Quillcay	31
<b>Figura 7</b>	Distribución de grupo hidrológico de suelos Subcuenca Quillcay	32
<b>Figura 8</b>	Índice Kappa	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Número Curva de escurrimiento y clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo	45
Anexo 2. Mapa de Ubicación	47
Anexo 3. Mapa de ubicación hidrográfica.	49
Anexo 4. Mapa geológico	51
Anexo 5. Mapa del grupo hidrológico del suelo	53
Anexo 6. Mapa de cobertura	55
Anexo 7. Mapa DEM	57
Anexo 8. Mapa de Número Curva en condiciones normales	59
Anexo 9. Mapa de Número Curva en condiciones húmedas	61
Anexo 10. Mapa de Número de Curva en condiciones secas	63
Anexo 11. Mapa de la Subcuenca Quillcay	65
Anexo 12. Resultados del Índice Kappa	67
Anexo 13. Cálculo del tamaño de la muestra	68
Anexo 14. Colores RGB para corine Land Cover	69

## RESUMEN

El método hidrológico utilizado por el Servicio de Conservación del Suelo (SCS) de Estados Unidos determina la capacidad de una cuenca para generar escorrentía durante precipitaciones mediante el número de curva NC. Debido a la escasa información hidrológica sobre las cuencas, cualquier estudio o proyecto de ingeniería en las riberas y cauces de la misma se hace difícil, por ende, es necesario una metodología capaz de determinar el número de curva en tiempo real. El parámetro en cuestión permite calcular la lluvia neta o precipitación efectiva, y también facilita la definición del coeficiente de escorrentía para cada cuenca. Se sugiere aplicar esta metodología basada en la investigación de Diaz Carvajal & Mercado Fernández, (2017), La metodología, respaldada por el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), posibilita el cálculo automatizado del número de curva NC utilizando datos actualizados y de acceso público en el territorio peruano. Se aplica el procedimiento en la Subcuenca del Río Quillcay Ancash - Huaraz-2020. El objetivo de este trabajo es la zonificación del número de curva para caracterizar el potencial de escorrentía en la Subcuenca del río Quillcay. Obteniéndose un número curva (NC) de 72 ponderado donde se puede ver que espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 45.5% del área de la cuenca con un alto potencial de escorrentía debido al grupo hidrológico del suelo (GHS) que es el grupo D con un número curva (NC) de 87; también se halló que espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 20.3% del área de la cuenca con un bajo potencial de escurrimiento debido a que el grupo hidrológico del suelo (GHS) que es el grupo A con un número curva (NC) de 67. Por lo que se tiene un número curva (NC) de 72 ponderado de la subcuenca además que la cuenca tiene un alto potencial de escorrentía debido a la escasa vegetación hallada.

**Palabras claves:** Número de curva, grupos hidrológicos de suelos, potencial de escorrentía.

## SUMMARY

The hydrological method used by the United States Soil Conservation Service (SCS) determines a watershed's capacity to generate runoff during precipitation events using the curve number (CN). Due to the limited hydrological information available for the watersheds, any study or engineering project related to their banks and channels becomes challenging. Therefore, there is a need for a methodology capable of determining the curve number in real-time. The parameter in question allows for the calculation of net rainfall or effective precipitation and also facilitates the definition of the runoff coefficient for each watershed. This methodology, based on the research of Diaz Carvajal & Mercado Fernández (2017), is supported by the use of Geographic Information Systems (GIS), enabling the automated calculation of the curve number (CN) using updated and publicly accessible data in the Peruvian territory. The procedure is applied in the Sub-basin of the Quillcay River, Ancash - Huaraz - 2020. The objective of this study is to zone the curve number to characterize the runoff potential in the Sub-basin of the Quillcay River. A weighted curve number (CN) of 72 was obtained, indicating that open spaces with little or no vegetation cover 45.5% of the area of the watershed and have a high runoff potential due to the soil hydrological group (SHG) being group D with a curve number (CN) of 87. It was also found that open spaces with little or no vegetation cover 20.3% of the area of the watershed and have a low runoff potential as the soil hydrological group (SHG) is group A with a curve number (CN) of 67. Overall, the sub-basin has a weighted curve number (CN) of 72, indicating a high runoff potential due to the scarce vegetation found.

**Keywords:** Curve number, hydrological groups of soils, runoff potential.

## INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más importantes en todo diseño de obras hidráulicas es la estimación de caudales de avenidas, actualmente en el Perú no se cuenta con estaciones meteorológicas e hidrológicas con datos históricos, estimándose los caudales de avenidas por diversos métodos, siendo el más fiable el número de curva debido a que la mayor parte de los softwares de simulación hidráulica e hídrica lo requieren entre sus parámetros de cálculos, por ello es necesario realizar el estudio respecto al número de curva en la Subcuenca del Río Quillcay.

Se observó la forma que influye la zonificación del número de curva en la caracterización del potencial de escorrentía en la Subcuenca del Río Quillcay Ancash - Huaraz-2020; a pesar de su importancia ecológica no cuenta con cartografía actualizada de vegetación y uso de suelos.

El objetivo de este trabajo es de zonificar el número de curva para caracterizar el potencial de escorrentía en la Subcuenca del Río Quillcay, proponiendo la aplicación de una metodología introducida por Diaz Carvajal & Mercado Fernández, (2017), que apoyada en el uso de sistemas de información geográfica SIG, permitiendo el cálculo del NC de manera automatizada y mediante el uso de fuentes de datos actualizados y de libre difusión en el Perú.

Se zonificó el número de curva para caracterizar el potencial de escorrentía en la Subcuenca Del Río Quillcay. Por lo que se tiene un  $NC=72$  ponderado de la subcuenca además que la cuenca tiene un alto potencial de escorrentía debido a la escasa vegetación hallada.

Este proyecto es de utilidad para futuras investigaciones como una base de estudio multifactorial necesario para la simulación.

# I. Problema de investigación

## 1.1. Planteamiento y formulación del problema

### 1.1.1. Identificación del problema

La ciudad de Huaraz está confrontando dificultades con la evacuación de aguas pluviales debido al aumento de las áreas urbanas que han sido impermeabilizadas, lo que ha alterado los patrones de escurrimiento superficial. Este fenómeno debe ser analizado y evaluado tanto desde una perspectiva hidrológica como hidráulica, con el propósito de desarrollar proyectos de solución a corto, mediano y largo plazo.

Debido a la escasa información hidrológica en las cuencas, al desarrollar estudios de proyectos de ingeniería en las riberas y cauces de la misma se hace difícil el desarrollo de los estudios, por lo cual es necesario disponer de una metodología capaz de determinar el número de curva en tiempo real.

La determinación del número de curva requiere del procesamiento de una gran cantidad de información espacial distribuida, por lo que resulta un tanto compleja la obtención de forma manual. Para resolver el problema de la obtención del cálculo del número de curva, se utiliza un SIG el cual es una plataforma interactiva que organiza gran cantidad de información espacial distribuida, lo cual mejora la eficiencia en el cálculo del escurrimiento en cuencas hidrográficas.

Debido a la necesidad de los mapas de zonificación interactivos en tiempo real para los softwares de modelamiento hidrológico y la importancia de los valores del número de curva, como su relación con el coeficiente de escorrentía; por lo cual investigar el número de curva es necesario para diferentes objetivos.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la zonificación del número de curva en la caracterización del potencial de escorrentía en Subcuenca del Río Quillcay -Huaraz-2020?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Zonificar el número curva para caracterizar el potencial de escorrentía en la Subcuenca del Río Quillcay.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el mapa de coberturas de la Subcuenca del Río Quillcay.
- Determinar el mapa de grupos hidrológicos de suelos en la Subcuenca del Río Quillcay.

## **1.3. Justificación**

La zonificación del número de curva para evaluar el potencial de escorrentía en la subcuenca del río Quillcay tiene importancia debido a las alteraciones en el uso del suelo dentro del área. Estos cambios son el resultado de los efectos combinados de factores internos y externos vinculados al desarrollo económico, el crecimiento de la población y

los cambios tecnológicos ambientales. Estos factores conducen a impactos más considerables en los sistemas hidrológicos a través de cambios en la cobertura del suelo y patrones de uso del suelo. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), además de ser una herramienta útil para modelar la cobertura del suelo y los cambios de uso del suelo, también pueden ayudar a estudiar el impacto de estos cambios en los patrones hidrológicos de la cuenca. Esto, a su vez, nos permite zonificar adecuadamente el potencial de escorrentía dentro de la subcuenca; y determinar el potencial de escorrentía casi en tiempo real, esto incentivó el estudio de investigación debido a la necesidad de tener mapas temáticos fiables y prácticos, por ello se propone una estructura que soporta el cálculo de la escorrentía.

#### **1.4. Delimitación**

La investigación se ha realizado en la Subcuenca del Río Quillcay, ubicado en la parte superior de la ciudad de Huaraz, provincia de Huaraz, región Ancash; es tributario del río Santa y se compone de dos microcuencas: Paria y Auqui.

## II. Marco teórico

### 2.1. Antecedentes de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes locales

Antequera Cochachin, (2014) afirma que: Utilizando el software ARCGIS 10.1 y el Mapa de Cobertura Vegetal del Departamento de Ancash, se obtuvieron las áreas de cobertura del suelo dentro de los tipos hidrológicos de suelo según la tabla SCS (1986). Posteriormente se determinaron los factores de ajuste correspondientes al método Hidrometeorológico. Aplicando el método del Hidrograma Unitario de Conservación de Suelos, el Número de Curva ponderado se estimó en 81,23. Este valor es de gran importancia debido a su influencia en el resultado final.

Huerta Pachac, (2015) afirma que: Usando el código Script desarrollado en Matlab, es posible determinar el Número de Curva (CN) óptimo para el flujo instantáneo durante un período de retorno específico. Adicionalmente, se observa la variación de CN y caudal por microcuenca. El código presenta los valores numéricos de curva más representativos para cada microcuenca, considerando un error de cero a un determinado período de retorno. También muestra el caudal correspondiente a cada grupo de CN, el error obtenido y la variación de CN para cada periodo de retorno. El Número de Curva ponderado obtenido a través de este análisis es 65.97.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Portuguez & Verano, (2018) afirma que: La metodología se fundamenta en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta que permite manipular diversos datos como mapas de vegetación, información de suelos y modelos digitales de elevación (DEM).

Para elaborar el mapa, se realizaron diferentes procesos que incluyeron tablas de reclasificación, interpolación y superposición de capas de información. Estos procedimientos dieron como resultado mapas "raster" del "Número de curva" para condiciones normales, húmedas y secas. Estos parámetros son de gran relevancia en los estudios hidrológico.

### **2.1.3. Antecedentes internacionales**

Carvajal Diaz & Mercado Fernández, (2017) afirma que: El comportamiento del flujo de agua en una cuenca hidrográfica se puede comprender mediante un indicador conocido como número de curva (NC), el cual se deriva de datos espaciales relacionados con la vegetación y el suelo. Para esto, se utilizó la tecnología de teledetección para identificar las diversas coberturas del terreno, y se empleó un sistema de información geográfica (SIG) para crear una capa que clasificara hidrológicamente los suelos. Posteriormente, se combinaron estos datos para generar un mapa del número de curva. En el caso específico de la subcuenca de Betancí, se observó que aproximadamente el 85% de la superficie total está cubierta por pasto, y cerca del 83% de los suelos presentan una alta capacidad de generar escorrentía. Esto implica que la mayoría del área presenta valores de

NC comprendidos entre 81 y 86. Tales condiciones sugieren que la escorrentía tiene mayor relevancia que la infiltración, lo que puede incrementar los procesos erosivos, las inundaciones e incluso conducir a la desertificación del territorio.

Jacalitos et al., (2006) afirma que: Mediante la implementación del método de las curvas numeradas para el escurrimiento, se creó un algoritmo computacional diseñado específicamente para el programa ER Mapper 6.4. Este algoritmo emplea los datos provenientes de las tres matrices mencionadas anteriormente, así como la información recolectada en el campo. El objetivo principal de su aplicación fue analizar el potencial de escurrimiento superficial en la Serranía Matcuatai y evaluar los volúmenes de escurrimiento dirigidos hacia el valle de Guadalupe. Como resultado, se estimó que el escurrimiento anual alcanzó aproximadamente 258,000 +/- 13,000 metros cúbicos.

Además, durante el estudio se hizo un descubrimiento significativo respecto al suelo en el área de investigación. Se determinó que el 88% del suelo presenta un alto potencial favorable al escurrimiento, mientras que el 12% restante exhibe un potencial más propicio a la infiltración.

Pacheco Moya et al., (2018) afirma que: El entendimiento del valor del número de curva (NC) es de vital importancia, ya que proporciona información acerca del potencial de escurrimiento en una cuenca. Este método resulta especialmente útil para cuencas pequeñas y sin datos de caudal (aforos), lo cual es muy adecuado para su implementación en las cuencas del país debido a la falta de estos datos en la mayoría de ellas.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Escorrentía superficial.

La escorrentía superficial se refiere al exceso de agua que permanece en la superficie del suelo después de una intensa lluvia y fluye libremente. Asimismo, la escorrentía también puede originarse en corrientes de agua, siendo alimentada tanto por el exceso de precipitación como por aguas subterráneas. (Sáenz Monsalve, 2018).

### 2.2.2. Coeficiente de escorrentía

“Es la relación entre el volumen de agua de escorrentía superficial total y el volumen total de agua precipitado, en un intervalo de tiempo determinado” (Sáenz Monsalve, 2018), la cual se expresa mediante la ecuación (1).

$$C = \frac{V_{es}}{V_{pt}} \quad (1)$$

**Donde:**

**Ves:** Volumen de escorrentía superficial

**Vpt:** Volumen de precipitación total

### 2.2.3. Cálculo del coeficiente de escorrentía.

Existen varios métodos para calcular el coeficiente de escorrentía: Estimación a partir de tablas, estimación por comparación con otras cuencas cercanas y estimación de manera directa (FAO, n.d.).

**a) Estimación a partir de tablas:**

Este método se aplica cuando no se dispone de datos suficientes para determinar la lluvia neta. El coeficiente se determina en función de las características de la cuenca. En el caso de que las características de la cuenca difieran, es decir que la cuenca tenga, por ejemplo, varios tipos de suelos o vegetación, se debe realizar una media ponderada de los distintos coeficientes de escorrentía en función de las áreas que ocupen cada zona (Universidad de Caruña, 2015).

**b) Estimación por comparación con otras cuencas cercanas:**

En caso de conocer coeficientes de escorrentía de cuencas de similares características hidro climáticas y edafológicas se pueden extrapolar los coeficientes de escorrentía de estas cuencas para aplicarlos a la cuenca de interés, (Universidad de Caruña, 2015).

**c) Estimación de manera directa:**

Existen varios métodos directos para este cálculo. Uno de ellos es el Método del Número de Curva, desarrollado por el Soil Conservation Service del departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y al día de hoy es el método más extendido y utilizado en diferentes partes del mundo,(Universidad de Caruña, 2015).

Este modelo asume la hipótesis conceptual de que la escorrentía acumulada en una porción de la cuenca es a la infiltración acumulada, como la precipitación bruta acumulada, una vez descontada la fracción necesaria para que se produzca el encharcamiento, a la

máxima infiltración acumulada que puede producirse, es decir (Ferrer et al., 2015), la cual se expresa mediante la **ecuación (2)**.

$$\frac{Q}{F} = \frac{P - P_0}{S} \quad (2)$$

Siendo  $S$  la máxima infiltración potencial,  $F$  la infiltración real después del encharcamiento,  $P$  la precipitación,  $Q$  la escorrentía superficial y  $P_0$  el umbral de escorrentía, es decir, la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se encharque y la escorrentía superficial aparezca. Considerando que por continuidad se debe cumplir (Ferrer et al., 2015), la cual se expresa mediante la **ecuación (3)**.

$$F = (P - P_0) - Q \quad (3)$$

y asumiendo una relación media experimental entre el umbral de escorrentía y la máxima infiltración potencial de, la cual se expresa mediante la ecuación (4):

$$P_0 = 0.2S \quad (4)$$

Se llega a la siguiente ecuación (5):

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (5)$$

#### 2.2.4. Método del número curva

Es un método presentado por el Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos; tiene ventajas sobre el método racional, se aplica a cuencas medianas como también a pequeñas cuencas. El parámetro de mayor importancia es la lluvia generadora y la altura pasando su intensidad a un segundo plano.

El nombre del método deriva de una serie de curvas de escurrimiento, cada una de las cuales lleva un Número (N) que varía de 1 a 100. Un Número de curva de N=100 indica que toda la lluvia escurre y un Número de curva N=1 indica que toda la lluvia se infiltra; estos números son en consecuencia, semejantes a coeficientes de escorrentía.

El Número de la curva de escurrimiento varía con el tipo de suelo de la cuenca, del uso que se le da, el mismo que puede variar con el tiempo, de su tratamiento de la cobertura del suelo, así como de su condición y estado previo de humedad.(REYES CARRASCO, 1992)

Los estudios empíricos realizados por el SCS (Ferrer et al., 2015) permitieron relacionar la máxima infiltración potencial con un parámetro de referencia, denominado número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100, la cual se expresa mediante la **ecuación (6)**.

$$NC = \frac{25\ 400}{S + 254} \quad (6)$$

**Donde:**

**NC:** Número de curva.

**S:** es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, interceptación y almacenamiento superficial (milímetros).

### 2.2.5. Clasificación hidrológica de los suelos

El SCS efectúa una clasificación hidrológica básica de los suelos en 4 grupos cuyas denominaciones originales están dadas por las cuatro primeras letras del alfabeto A,B,C,D. (Reyes Carrasco, 1992).

**Tabla 1**

#### *Descripción de los grupos hidrológicos*

Grupos de Suelos	Descripción
A Infiltración entre 7.62-11.43 mm/hr	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas. Estos suelos Tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B Infiltración entre 3.81-7.62 mm/hr	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración moderada cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una alta tasa moderada de transmisión de agua.
C Infiltración entre 1.27-3.81 mm/hr	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D Infiltración entre 0.00-1.27 mm/hr	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capas de arcilla. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión de agua

*Nota.* Adaptado de Hidrología (p. 271), por V. B. Máximo, 2002, Maxsoft.

### 2.2.6. Usos del suelo y tratamiento

Para estimar el escurrimiento mediante el método SCS hay que evaluar los efectos de las condiciones de la superficie de la cuenca, mediante el uso de la tierra y las clases de tratamiento (Reyes Carrasco, 1992). **El uso de la tierra** es la cobertura de la cuenca e incluye toda clase de vegetación, escombros, pajonales, desmontes, así como las superficies de agua (lagos, pantanos, ciénagas, fangales, etc.) Y superficies impermeables (carreteras, cubiertas, etc.).

**El tratamiento de la tierra** se aplica sobre todo a los usos agrícolas de la tierra e incluye las practicas mecánicas tales como sistema de bordos curvas de nivel, terraplenado y ejecución de prácticas para el control de erosión y rotación de cultivos.

**Las clases** consisten en el uso y tratamiento combinados que se encuentran en las cuencas. El uso de la tierra y las clases de tratamiento se obtienen rápidamente ya sea por observación o por medición de la densidad y magnitud de escombros y cultivos en áreas representativas.

El método del SCS distingue tres clases de tierras según su uso y tratamiento. Estas son (Reyes Carrasco, 1992).

- Tierras cultivadas.
- Tierras cubiertas de pastos o hierbas.
- Tierras cubiertas de bosques y arboledas.

### 2.2.7. Condición Hidrológica de los Suelos

“Esta condición influye en el valor del número de la curva de escurrimiento. El cambio de la retención potencial máxima  $S$  se traduce en un cambio del número de la curva  $N$  y este cambio está basado en la condición anterior de humedad (CAH) determinada por la lluvia total en el período de 5 días anteriores a la tormenta” (REYES CARRASCO, 1992).

El método SCS usa tres intervalos de CAH:

**CAH-I:** es el límite inferior de humedad o el límite superior de  $S$ . Mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivos.

**CAH-II:** es el promedio para el cual el SCS preparó la Tabla “Número de curva de escurrimiento para complejos hidrológicos suelo-cobertura”.

**CAH-III:** es el límite superior de humedad o el límite inferior de  $S$ . Máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El SCS presenta la tabla siguiente para estimar el CAH considerando el antecedente de 5 días de lluvias y que da los límites de lluvia de acuerdo a dos categorías de estaciones (REYES CARRASCO, 1992).

#### Tabla 2

*Limites estacionales para los CAH*

GRUPO CAH	Antecedentes de 5 días de lluvia	
	Estación latente (pulgadas)	Estación de crecimiento (pulgadas)
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	De 0.5 a 1.1	De 1.4 a 2.1
III	Mayor que 1.1	Mayor que 2.1

*Nota.* Adaptado de Hidrología Básica (p.95), por R. C. Luis V, 1992, CONCYTEC.

Los números de curva se aplican para condiciones o con antecedentes de humedad normal, y se establecen las siguientes relaciones para las otras dos condiciones, la cual se expresa mediante la **ecuación (7)** para condiciones húmedas y para condiciones secas se expresa con la **ecuación (8)**.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (7)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (8)$$

### 2.2.8. Sistema de información geográfica SIG

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de

programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente. Esta complejidad ha llevado al nacimiento, a partir del trabajo con SIG, de una nueva disciplina científica, todavía bastante discutida, conocida como Ciencia de la Información Geográfica (Francisco Alonso, n.d.)

### **2.2.9. Software Google Earth Pro**

Google Earth Pro<sup>21</sup> ofrece acceso a los datos geográficos de Google, lo que incluye imágenes de satélite, datos sobre calles, imágenes panorámicas de Street View, imágenes históricas y puntos de interés. Google Earth Pro parte de Google Earth y ofrece todas las características y funcionalidad disponible. Además, incorpora herramientas y funciones diseñadas específicamente para los usuarios empresariales, entre las que se incluyen: imprimir capturas de pantalla en alta resolución, crear mapas a partir de grandes conjuntos de datos SIG, crear mapas de direcciones rápidamente, crear películas personalizadas para ser compartidas, medir áreas mediante polígonos o círculos, consultar datos demográficos, de parcelación y de tráfico usando varias capas (Google, 2018).

### **2.2.10. Muestreo aleatorio estratificado**

Se realiza dividiendo la población en subgrupos o estratos homogéneos y tomando, en cada uno de ellos, una muestra aleatoria simple. El procedimiento utilizado para determinar el número de elementos que se toman en cada estrato se llama afijación. los más habituales son:

- Afijación simple: Se toma el mismo número de elementos en cada estrato.

- Afijación proporcional: el número de elementos es proporcional al tamaño de estrato dentro de la población.

En general, si queremos tomar una muestra de tamaño “n” en una población de tamaño N, para el i-ésimo estrato, de tamaño  $N_i$ , tendremos que tomar una muestra de tamaño, la cual se expresa mediante la **ecuación (9)**:

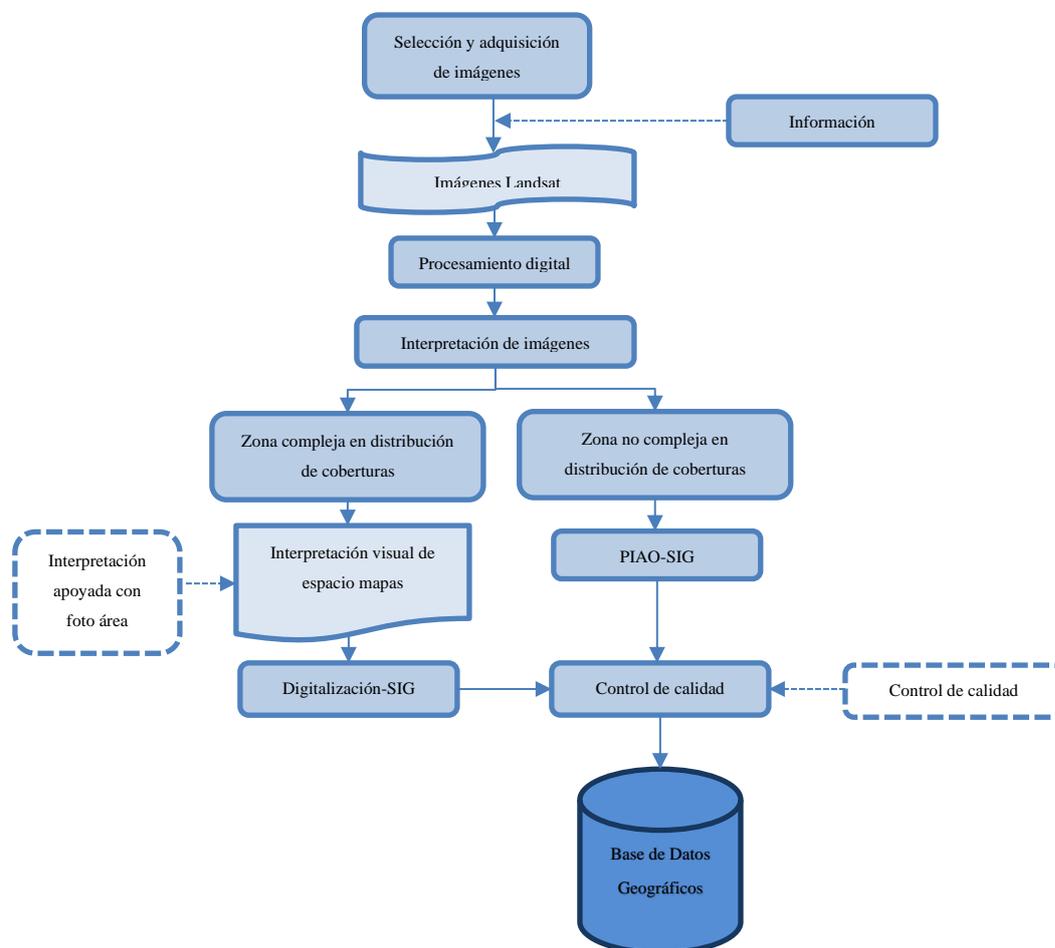
$$n_i = n \frac{N_i}{N} \quad (9)$$

### 2.2.11. Metodología Corine Land Cover

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000. (IDEAM, 2010). El proceso antes descrito se resume en el siguiente diagrama de **Figura 1**.

**Figura 1**

*Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)*



*Nota.* Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007).

### 2.3. Definición de términos

- **Subcuenca.** - Grupo de pequeñas cuencas hidrográficas que desembocan en un único curso de agua con un caudal variable pero constante.

- **Cobertura vegetal.** - La cubierta vegetal o inerte ofrece una importante función de protección para el suelo, al comportarse como una capa de cobertura que previene el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie expuesta del suelo.
- **Geología.** - La geología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la composición y la estructura tanto interna como externa del planeta Tierra, así como los procesos que han dado lugar a su evolución a lo largo del tiempo geológico.
- **Clasificación hidrológica de los suelos.** - Los suelos se pueden clasificar en diferentes grupos hidrológicos, y esta clasificación se utiliza en el diseño de cuencas para calcular la cantidad de agua que fluye superficialmente a partir de la precipitación.
- **Zonificación del número curva.** - Es la división de una cuenca, en zonas caracterizadas por una función determinada del número curva.
- **Valor ponderado del número de curva.** Cuando las características del terreno, como el relieve, la vegetación, el tipo de suelo, entre otros, influyen en la capacidad de infiltración, es esencial calcular un coeficiente característico para cada una de estas condiciones. Luego, mediante una ponderación media, se obtiene un valor único que representa la zona en su conjunto.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La zonificación del número de curva influye en la caracterización del potencial de escorrentía de la Subcuenca del Río Quillcay, Huaraz- Ancash 2020.

## 2.5. Variables

### a) Variables independientes

- Cobertura
- Grupos hidrológicos de suelos

### b) Variables dependientes

- Zonificación del Número curva.

### III. Materiales y métodos.

#### 3.1. Descripción de la zona de estudio

La investigación se realizó en la Subcuenca del Río Quillcay, políticamente ubicado entre los distritos de Independencia y Huaraz, provincia de Huaraz, Departamento de Ancash; hidrográficamente pertenece a la Cuenca del Río Santa, La cual se muestra en los mapas en el Anexo 2. Mapa de Ubicación y Anexo 3. Mapa de ubicación hidrográfica.

#### 3.2. Materiales, equipos y herramientas utilizados.

- Computadora.
- Impresora.
- Software GLOBAL MAPPER v 20.
- Software Google Earth.
- Software QGIS 3.24.3.
- Software ArcMap 10.8.
- Software Microsoft Office 2019.
- DEM del cuadrante ASTGTM\_S10W078\_dem en formato tif.
- Cartas nacionales del Perú los cuales son: Huaraz 19-i, Recuay 20-i y Huaraz 20-h en formato shape.
- Mapa geológico 100 K del Perú los cuales son: Huaraz 19-i, Recuay 20-i y Huaraz 20-h en formato shape.
- Imagen Landsat 8 de la fecha 2020-09-05.

### 3.2.1. Informaciones básicas

#### a) Área de estudio.

Para la delimitación de la subcuenca se utilizó del software GLOBAL MAPPER v 20 con su herramienta Generate watershed que permite delimitar cuencas; para lo cual es necesario ubicar el lugar del proyecto, por lo cual se utilizó el software Google Earth para ubicar un punto en la afluyente del río Quillcay con coordenadas 221571.00 m E, 8946108.00 m S en el sistema WGS 84.

#### b) Modelo Digital de Elevación (DEM).

El DEM del cuadrante ASTGTM\_S10W078 se obtuvo de la página del Geoservidor del Ministerio del Ambiente, en el siguiente enlace: [https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download\\_raster.aspx](https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx).

#### c) Mapa cobertura

Se usaron los softwares QGIS 3.24.3, ArcMap 10.8 y software Google Earth; el GeoTIFF se obtuvo de la escena de la Imagen Landsat 8 de la fecha 2020-09-05, a través del servidor Glovis del USGS del siguiente enlace: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, para luego realizar la Clasificación Supervisada y validación respectiva; categorías de cobertura se definirán según el sistema Corine Land Cover.

#### d) Mapa Geológico

Se utilizó el Mapa geológico 100 K del Perú, los cuales son: Huaraz 19-i, Recuay S20-i y Huaraz 20-h en formato shapefile descargado de la página del GEOCATMIN perteneciente al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET del siguiente enlace: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>. Es necesario para el procesamiento y clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo es el software ArcMap 10.8.

### 3.3. Métodos

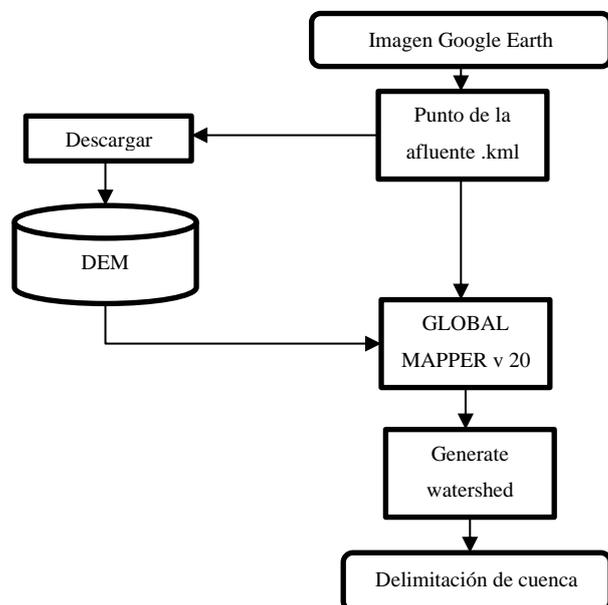
La aplicación combinada de la teledetección y los sistemas de información geográfica se emplea para el procesamiento y análisis estadístico de los datos utilizados. A continuación, se detallan los procedimientos involucrados en estos procesos.

#### a) Área de estudio.

Para ubicar la cuenca se utilizó software Google Earth, ubicándose la afluyente del Río Quillcay con coordenadas 221571.00 m E, 8946108.00 m S en el sistema WGS 84, para luego exportar el punto en formato kml, este punto fue insertado en software GLOBAL MAPPER v 20 y luego se generó la descargar de la imagen satelital ASTER DGEM, además de obtener la subcuenca con la herramienta Generate watershed, exportándolo en formato shapefile. El proceso antes descrito se resume en la **Figura 2** y el mapa se muestra en el Anexo 11. Mapa de la Subcuenca Quillcay.

**Figura 2**

*Diagrama de procesos para determinar la cuenca de estudio*



*Nota.* El diagramado flujo demuestra el proceso que se llevó para obtener la delimitación de la cuenca de estudio.

## **b) Mapa cobertura**

Se utilizó la metodología de clasificación supervisada para determinar la cobertura. El mapa de coberturas se generó mediante la clasificación supervisada de la imagen de satélite Landsat 8 con fecha del 5 de septiembre de 2020. Este proceso implicó dividir la imagen en categorías basadas en el conocimiento previo del área de estudio. Se seleccionaron áreas representativas (polinias) que corresponden a diferentes tipos de cobertura o clases según la metodología Corine Land Cover. Luego, se calcularon los parámetros estadísticos de estas muestras y, finalmente, el resto de la imagen se clasificó utilizando un algoritmo de asignación. (Posada, Ramirez Daza, & Espejo Delgado, 2012). Las categorías de cobertura se definieron según el sistema Corine Land Cover adaptado.

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado del área (Posada et al., 2012) de estudio tomando un total de 384 puntos de referencia ver **Tabla 12**.

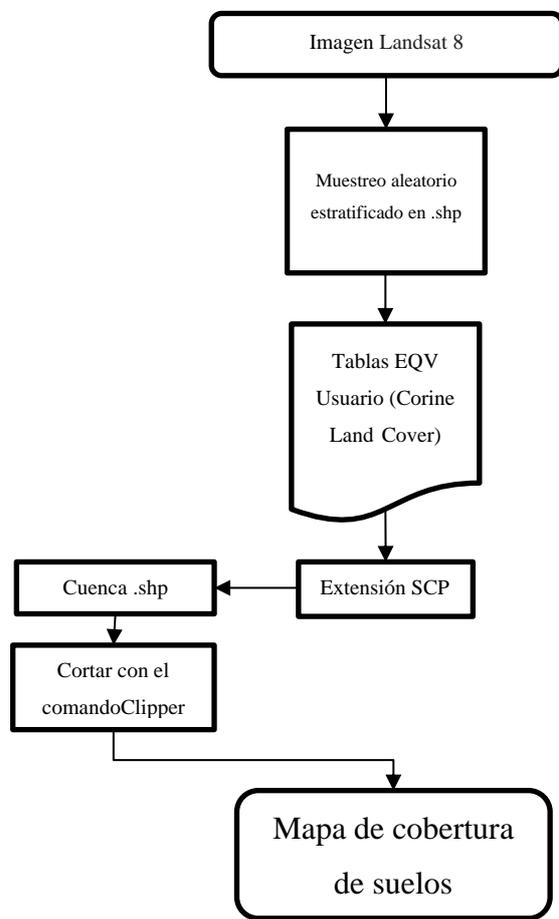
Se determinó la cobertura real en cada ubicación mediante el análisis visual de imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth. Para evaluar la precisión temática del mapa de coberturas, se emplearon medidas como la fiabilidad global, que se calcula al dividir el número de puntos correctamente identificados entre el total de puntos de referencia. También se utilizó el coeficiente kappa, que se obtiene mediante la siguiente expresión. (CHUVIECO, 1995), la cual se expresa mediante la **ecuación (10)**:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} + X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} + X_{+i}} \quad (10)$$

Donde: En la fórmula,  $X_{ii}$  representa los puntos correctamente asignados a cada categoría,  $X_{i+}$  es el total de puntos pertenecientes a la categoría  $i$  en el mapa,  $X_{+i}$  es el total de puntos que pertenecen a la categoría  $i$  en el terreno, y  $N$  es el número total de puntos de referencia. (Congalton & Green, 2009) indican que el valor mínimo estandarizado para la fiabilidad global es del 85%; mientras que (Loya et al., 2013) señalan que una clasificación es aceptada si alcanza un valor mayor o igual a 0,8 en el coeficiente Kappa. El proceso antes descrito se resume en la **Figura 3**.

**Figura 3**

*Diagrama de procesos para determinar la cobertura de suelos*



*Nota.* El diagrama de flujo demuestra el proceso para obtener el mapa de cobertura de suelos.

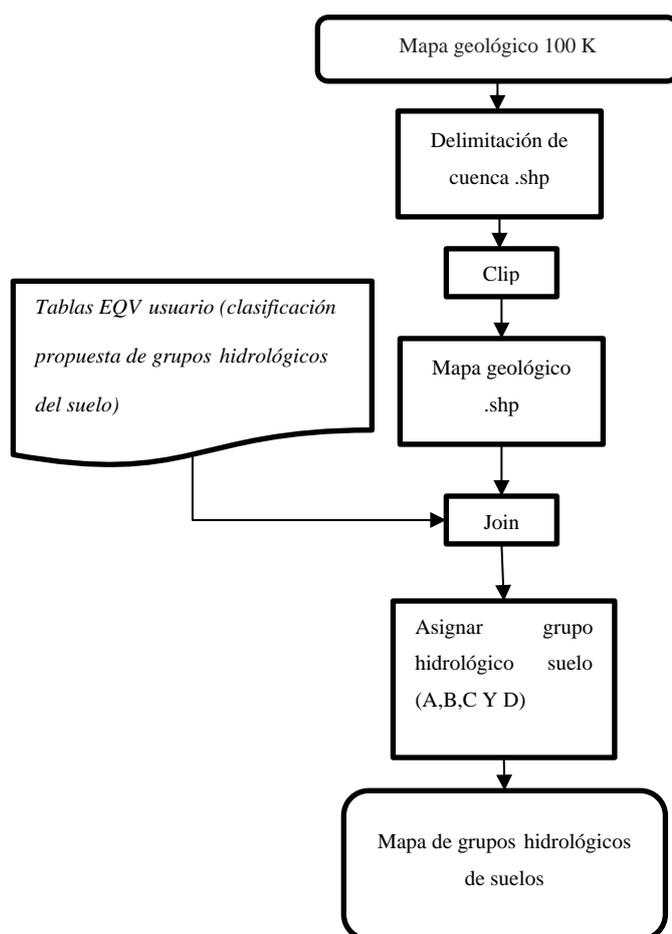
**e) Asignación de grupos hidrológicos de suelos**

El mapa de grupos hidrológicos de suelo (GHS) fue generado a partir del Mapa geológico 100 K, obtenido de la página del GEOCATMIN del Perú, como se muestra en el **Anexo 4. Mapa geológico** El proceso de clasificación se realizó utilizando un sistema de información geográfica (SIG), donde se utilizaron las características litológicas de cada unidad cartográfica para definir el GHS correspondiente, siguiendo la clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo, como se presenta en la **Tabla II** , como el

criterio principal de asignación. Dado que las unidades cartográficas representan una combinación de varios tipos de geología, se eligió el GHS que tuviera el mayor porcentaje de participación dentro de la unidad, o en casos en que los porcentajes de participación fueran muy cercanos, se seleccionó el GHS con mayor potencial de escorrentía. Esto se puede observar en la **Tabla 6** , donde se obtuvieron dos grupos hidrológicos mediante la clasificación propuesta, tal como se muestra en el mapa del grupo hidrológico del suelo, **Anexo 5**. El proceso antes descrito se resume en la siguiente **Figura 4**.

**Figura 4**

*Diagrama de procesos para determinar los grupos hidrológicos de suelos*



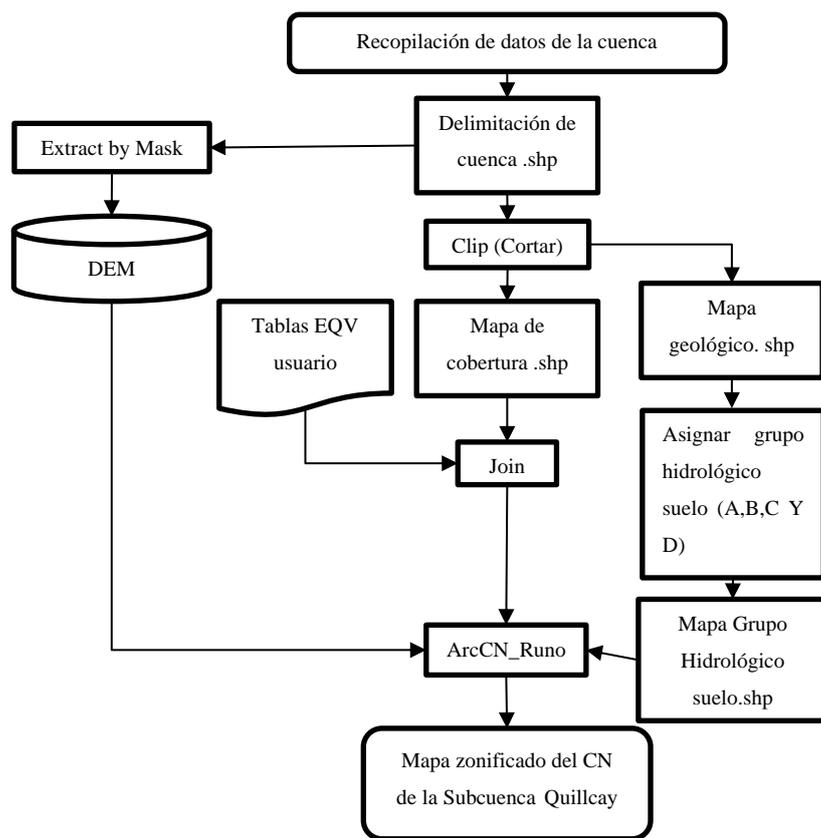
*Nota.* El diagrama de flujo demuestra el proceso para obtener el mapa de grupos hidrológicos de suelos.

**f) Determinación del Número de Curva.**

El mapa del número de curva fue creado mediante la integración de tres conjuntos de datos: el mapa de coberturas, el Modelo Digital de Elevación (DEM) y el mapa de grupos hidrológicos de suelo. Para esta tarea, se utilizó la herramienta ArcCNRunoff en ArcGIS, la cual incorpora las tablas proporcionadas por el NRCS (Natural Resources Conservation Service), específicamente las que se encuentran en la **Tabla 8**. Como resultado, se obtuvo el mapa del número de curva bajo condiciones normales. **Anexo 8**. El proceso antes descrito se resume en la **Figura 5**.

**Figura 5**

*Diagrama de procesos para calcular el valor NC*



*Nota.* El diagramado flujo demuestra el proceso para obtener el mapa de zonificación del número de curva.

## IV. Resultados y discusión

### 4.1.- Resultados

#### 4.1.1. Mapa cobertura

Para identificar la cobertura de la cuenca, utilizamos imágenes de Google Earth junto con el conocimiento previo del área, y luego comparamos esta información con la clasificación propuesta de cobertura según Corine Land Cover, la cual está detallada en la **Tabla 13** clasificación propuesta de cobertura según corine Land Cover; de la cual se tiene la siguiente **Tabla 3**.

**Tabla 3**

*Números las clases designadas para el modelo*

DESCRIPCION DE USO DE SUELO SEGÚN CORINE	Codificación
Aguas continentales	1
Zonas urbanas	2
Bosques	3
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	4

La imagen de satélite Landsat 8 de la fecha 2020-09-05. La cual se procesó en el software QGIS 3.24.3 con el complemento SCP & Dock (Semi-Automatic Classification Plugin) con un total de 384 muestras de las regiones de interés (ROIs).

De la **Tabla 4** tenemos los resultados obtenidos; un coeficiente de Kappa de 0.95 y una fiabilidad global de 96.35 % Según Loya et al.,(2013) clasificación es fiable con la cual se tiene el mapa de cobertura, ver Anexo 12. Resultados del Índice Kappa.

**Tabla 4**

*Matriz de confusión: puntos obtenidos por fotointerpretación visual.*

Categorías	Resultados de la interpretación visual				
	Aguas continentales	Zonas urbanas	Bosques	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Precisión (%)

<b>Puntos de referencia</b>	Aguas continentales	89	0	0	7	93%
	Zonas urbanas	0	96	0	0	100%
	Bosques	0	0	96	0	100%
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	7	0	0	89	93%
	Fiabilidad (%)	93%	100%	100%	93%	
<b>Fiabilidad global=96.35 %</b>						
<b>Coefficiente de Kappa=0.95</b>						

Se consiguió la cobertura en la subcuenca del Río Quillcay en función al número de curva, los resultados se pueden verificar en la **Tabla 5** donde se tiene cuatro coberturas las cuales son aguas continentales con 0.80% de área de la subcuenca, zonas urbanas con 0.90% de área de la subcuenca, bosques con 32.6% de área de la subcuenca y espacios abiertos con poca o sin vegetación con un 65.7% de área de la subcuenca ver **Anexo 6. Mapa de cobertura.**

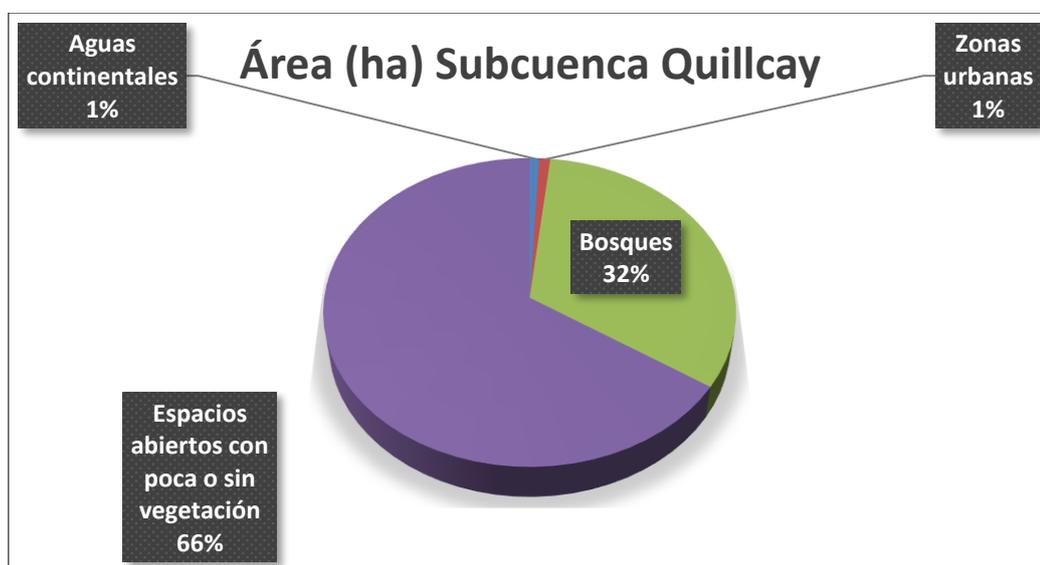
**Tabla 5**

*Número de curva en función de cobertura*

Tipo de cobertura	Área (ha)	Área(%)
Aguas continentales	206	0.80%
Zonas urbanas	233	0.90%
Bosques	8098	32.60%
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	16331	65.70%
<b>TOTAL</b>	<b>24869</b>	<b>100.0%</b>

**Figura 6**

*Distribución de cobertura en la Subcuenca Quillcay*



#### 4.1.2. Asignación de grupos hidrológicos de suelos

Del mapa geológico 100 K descargado de la página del GEOCATMIN del Perú y delimitado por la zona de estudio se asignó el grupo hidrológico propuesto como se muestra en la **Tabla 6**.

**Tabla 6***Tabla de clasificación propuesta de grupos hidrológicos de suelos*

Geología	Clasificación propuesta	GHS
Depósito glaciario	Aluviones y Coluviones actuales	A
Depósito glaciario, fluvial	Coluvial	A
Batolito Cordillera Blanca - granodiorita, tonalita	Basaltos	D
Formación Chicama	Pizarras micáceas y micacitas	D

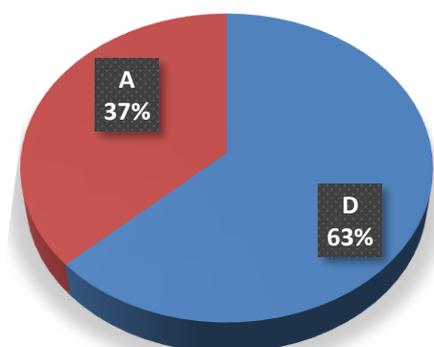
Se obtuvo el grupo hidrológicos de los suelos en la subcuenca del Río Quillcay en función con el Número curva. ver **Tabla 7** de la cual se desglosó dos clases de grupos hidrológicos de suelos (GHS) del grupo D con un área de 63% y un número curva de 85 y grupos hidrológicos de suelos (GHS) del grupo A con un área de 37% y un número curva de 52, la distribución se puede apreciar en el **Anexo 5. Mapa del grupo hidrológico del suelo.**

**Tabla 7***Número curva en función a GHS.*

GHS	Área (ha)	Área (%)	NC
D	15688	63%	85
A	9181	37%	52
TOTAL	24869	100%	72

**Figura 7***Distribución de grupo hidrológico de suelos Subcuenca Quillcay*

### Área (ha) Subcuenca Quillcay



#### 4.1.3. Determinación del Número de Curva.

Se determino la **Tabla 8** de la contrastación de la cobertura y la **Tabla 10** Número de curva de escurrimiento para complejos hidrológicos de suelos-cobertura (para II e Ia=0.2S). con la cual se crea la tabla NCLookUp en ArcGis que se guarda como archivo “.dbf”. esta tabla sirve para contrarrestar los grupos hidrológicos con el Numero Curva.

**Tabla 8**

*Tabla de uso de suelos y grupos hidrológicos reclasificados*

DESCRIPCION DE USO DE SUELO SEGÚN CORINE	Codificación	GRUPOS HIDROLOGICOS			
		A	B	C	D
Aguas continentales	1	100	100	100	100
Zonas urbanas	2	77	85	90	92
Bosques	3	25	55	70	77
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	4	68	79	86	89

**Nota.** Se reclasifico según SCS.

Se obtuvo el número curva en función de las características del potencial de escorrentía de la Subcuenca del Río Quillcay, registrándose los siguientes resultados ver **Tabla 9**. Donde se puede ver que Espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 45.5% del área de la cuenca con un alto potencial de escorrentía debido al grupo hidrológico del suelo (GHS) que es del grupo D con un número curva (NC) de 87; también se puede afirmar que espacios abiertos con poca o sin vegetación tiene un 20.3% del área de la cuenca con un bajo potencial de escurrimiento debido a que el grupo hidrológico del suelo (GHS) que es del grupo A con un número curva (NC) de 67. Por lo cual se observa que las características del potencial de escorrentía están directamente relacionadas al número curva (NC). Ver **Anexo 8** donde se puede apreciar la zonificación del Número de Curva.

**Tabla 9**

*Número de curva en función del grupo hidrológico de los suelos (GHS) y el tipo de cobertura.*

Tipo de cobertura	GHS	Área(ha)	%	NC
Aguas continentales	D	129	0.5%	100
Aguas continentales	A	78	0.3%	100
Zonas urbanas	A	233	0.9%	57
Bosques	A	3824	15.4%	30
Bosques	D	4274	17.2%	78
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	A	5046	20.3%	67
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	D	11286	45.4%	87
TOTAL		24869	100.0%	72

#### 4.2.- Discusión

1.- Esta investigación tuvo como propósito la Zonificar el número curva para caracterizar el potencial de esorrentía en la Subcuenca del Río Quillcay De los resultados obtenidos en esta investigación se puede deducir que la Subcuenca del Río Quillcay tiene un Número de Curva Ponderado de 72 lo cual indica que tiene un gran potencial de esorrentia; en la tesis “Determinación de caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas y estadísticos en la subcuenca del río Quillcay” de la tesista Antequera Cochachin, (2014), con el método del Hidrograma unitario del Soil Conservation se estimó el Número Curva de 81.23 ponderado; lo cual difiere con nuestro resultado, es debido a los múltiples factores cambiantes de la cobertura de la subcuenca Quillcay que tiende a cambiar por la expansión urbana o por las estaciones.

La urbanización tiene impactos significativos en los hidrogramas de crecimiento, resultando en un aumento en los volúmenes totales de esorrentía y en los caudales máximos. Este aumento se debe a la expansión de áreas impermeables, como estacionamientos, calles y techos, lo cual reduce la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo. Además, los cambios en la infraestructura hidráulica, como canales artificiales, cunetas y sistemas de drenaje de tormentas, incrementan la velocidad del flujo y la magnitud de los picos de crecimiento de la esorrentía.

Por otro lado la investigación “Modelamiento hidrológico e hidráulico para avenidas de la subcuenca Quillcay, con fines de protección del sector Nueva Florida, Distrito de Independencia” de la tesista Huerta Pachac, (2015) corrobora hallazgos anteriormente expuestos en la cual determino un número curva ponderado de 65.97 lo cual difiere al número curva ponderado obtenido de 72 y 81.23 por lo cual es un indicativo que

el Número de curva es cambiante depende directamente de la cobertura, lo que indica que en el año 2014 existía un alto potencial de escurrimiento para el año 2015 por lo que tiene un bajo potencial de escurrimiento y para el año 2020 tiene moderado potencial de escurrimiento.

2.- El mapa de cobertura de la Subcuenca del Río Quillcay fue elaborado mediante el uso de técnicas digitales y visuales para interpretar imágenes de satélite Landsat 9, con el apoyo de fotografías aéreas, especialmente digitales. Este mapa ha demostrado ser cuantitativamente confiable, con una precisión del 96.35% en la localización y distribución de las coberturas identificadas.

El trabajo de campo, junto con la adquisición de puntos de muestra mediante fotointerpretación y la consulta de información bibliográfica, permitió ampliar el marco de referencia espacial para ubicar y distribuir los elementos estudiados. La precisión y confiabilidad del método utilizado se basan en la interpretación visual después de realizar la clasificación digital de las imágenes de satélite Landsat 9, complementada con el respaldo de fotografías aéreas de alta resolución, lo que redujo el margen de error en el producto final.

En áreas naturales protegidas con una cobertura vegetal altamente fragmentada, resulta complicado obtener un producto cartográfico confiable únicamente mediante clasificación digital. Por ello, la combinación de técnicas digitales y la interpretación visual, apoyada por fotografías satelitales, fue crucial para lograr un producto de mayor calidad en este estudio.

Es relevante destacar que las características de las fotografías digitales utilizadas para ubicar las áreas de muestra y obtener un marco de referencia espacial sólido fueron de gran ayuda en este tipo de trabajo, ya que permitieron observar detalles que de otra manera serían difíciles de identificar en el campo.

A continuación, se discutirán en detalle aquellos aspectos convergentes y divergentes entre los datos obtenidos en este estudio y los reportados en la revisión de literatura, en el artículo “Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí” del investigador (Carvajal Diaz & Mercado Fernández, 2017), Concluyó que en la subcuenca de Betancí, el pasto ocupa el 85% del área total y el 83% de los suelos tienen un alto potencial de escorrentía, por ello la mayor parte del área tiene un Número de Curva (CN) NC entre 81 y 86. En estas condiciones, la escorrentía tiende a ser mayor a la infiltración con lo cual se favorecen los procesos erosivos, las inundaciones e incluso la desertificación del territorio. En los resultados de nuestra investigación tenemos que donde se tiene cuatro coberturas los cuales son aguas continentales con 0.8% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 100, zonas urbanas con 0.9% de área de la subcuenca con un NC de 57, bosques con 32.6% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 55 y espacios abiertos con poca o sin vegetación con un 65.7% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 81 donde se contrasta con los resultados de (Carvajal Diaz & Mercado Fernández, 2017), donde la obertura con poca vegetación tiene un alto potencial de escorrentía donde la subcuenta del Río Quillcay el 65.7% tiene un alto potencial de escorrentía con un Número de Curva (CN) de 81.

3.- En este estudio, se utilizó el método del Número de Curva (SCS, 1991) para estimar el Grupo Hidrológico de Suelo, una técnica ampliamente empleada en ingeniería hidrológica, impacto ambiental y planificación territorial debido a su relativa sencillez. Aunque este método es comúnmente utilizado a nivel internacional, fuera de Estados Unidos, los grupos hidrológicos de suelos están escasamente definidos y carecen de protocolos e instrucciones específicas para su determinación. Por tanto, este trabajo busca mejorar la asignación del número de curva en los diversos complejos hidrológicos, lo que facilitará la estimación de la escorrentía superficial en estudios hidrológicos realizados en la zona.

A continuación, se discutirán en detalle los aspectos convergentes y divergentes entre los datos obtenidos en este estudio y los reportados en la revisión de literatura, específicamente en el artículo titulado “Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite” del investigador Jacalitos et al., (2006) En este artículo, se concluyó que el 88% del suelo en el área de estudio tiene un potencial favorable al escurrimiento, mientras que el 12% muestra un potencial favorable a la infiltración. Los grupos hidrológicos de suelos pertenecientes al grupo D, que cubren el 63% del área, exhiben un alto potencial de escurrimiento con tasas de infiltración muy bajas y un Número de Curva de 85. Por otro lado, los grupos hidrológicos de suelos pertenecientes al grupo A, que abarcan el 37% del área, tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) con un Número de Curva de 52. Ambos estudios utilizaron la Clasificación propuesta de grupos geológicos y obtuvieron resultados satisfactorios.

A nivel técnico, lo ideal para aplicar el método del Número de Curva sería consensuar diagramas texturales de uso sencillo, pero basados en un número suficiente de ensayos de infiltración adaptados a los suelos peruanos. Estos diagramas reducirían significativamente la incertidumbre asociada a la modelización hidrológica en el diseño de obras hidráulicas, la estimación de las llanuras de inundación y el manejo del territorio en áreas fluviales.

## V. Conclusiones

1.- Se determino la zonificación del número curva para caracterizar el potencial de escorrentía en la Subcuenca Del Río Quillcay. Obteniéndose un Número de Curva (CN) 72 ponderada donde se puede ver que Espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 45.5% del área de la cuenta con un alto potencial de escorrentía debido al grupos hidrológicos de los suelos perteneciente al grupo D con un Número de Curva (CN) de 87; también se obtuvo que Espacios abiertos con poca o sin vegetación tiene un 20.3% del área de la cuenca con un bajo potencial de escurrimiento debido a que el grupos hidrológicos de los suelos perteneciente al grupo A con un Número de Curva (CN) de 67. Por lo que se tiene un Número de Curva (CN) de 72 ponderado de las subcuencas, además que la cuenca tiene un alto potencial de escorrentía debido a la escasa vegetación hallada.

2.- Se determinó el mapa de coberturas de la Subcuenca del Río Quillcay donde se tiene cuatro coberturas, las cuales son aguas continentales con 0.8% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 100, zonas urbanas con 0.9% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 57, bosques con 32.6% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 55 y espacios abiertos con poca o sin vegetación con un 65.7% de área de la subcuenca con un Número de Curva (CN) de 81, hallándose áreas abiertas con poca vegetación debido a que la subcuenca con el 65.7 % de cubierta sin vegetación debido a diferentes factores externos de erosión que están presentes en la subcuenca.

3.- Se determinó el mapa de grupos hidrológicos de suelos en la Subcuenca del Río Quillcay, donde se obtuvo dos clases de grupos hidrológicos, el cual es el GHS=D con un área de 63% y un Número curva de 85 y GHS=A con un área de 37% y un Número curva de 52; observándose que la cuenca tiene un alto potencial de escorrentía de 63% respecto al grupo hidrológico del suelo D, además de contar con un grupo hidrológico del suelos A con un área de 37%, el cual indica que tiene un bajo potencial de escurrimiento.

## VI. Recomendaciones

1.- Se recomienda a los investigadores para que puedan obtener mejores resultados del número de curva, se desarrolle la investigación longitudinal durante un año con las imágenes lansas 9 tomadas con anterioridad del año de ejecución.

2.- Se recomienda a los investigadores que para tener un resultado realista de la cuenca se trabaje con las imágenes LIDAR, para poder tener mayor microzonificación de la cuenca y determinar con mayor precisión la caracterización de la escorrentía de la subcuenca; esto se haría en las épocas de verano con vuelos de dron.

3.- Se recomienda a los investigadores que, para la determinación correcta de los grupos hidrológicos de los suelos, usar una escala 50 k de la geología del Perú que recién está en desarrollo para la clasificación de la misma.

## VII. Referencia bibliográfica

- Antequera Cochachin, M. R. (2014). *Determinación de caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas y estadísticos en la sub cuenca del río Quillcay*. 96. [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1177/T\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1177/T_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y) 198
- Carvajal Diaz, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí ( Córdoba , Colombia ) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452–470.
- CHUVIECO, E. (1995). *fundamento de la deteccion espacial* (2 da ED). EDICIONES RIALP, S.A. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Flavonoide\\_Lacke.svg/710px-Flavonoide\\_Lacke.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Flavonoide_Lacke.svg/710px-Flavonoide_Lacke.svg.png)
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices Mapping Science: Amazon.es: Congalton, Russell G., Green, Kass: Libros en idiomas extranjeros. In *CRC* (2ed ED, Vol. 2). CRC. <https://www.amazon.es/Assessing-Accuracy-Remotely-Sensed-Data/dp/1420055127>
- FAO. (n.d.). *Capítulo 7 estimaciones a partir de modelos*. Retrieved July 7, 2020, from <http://www.fao.org/3/t0848s/t0848s09.htm>
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (2015). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería Del Agua*, 2(4). <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>
- Francisco Alonso, S. (n.d.). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Google. (2018). Google Earth. In *WIKIPEDIA* (p. 2). [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)
- Huerta Pachac, C. Y. (2015). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para avenidas de la sub cuenca Quillcay, con fines de protección del sector Nueva Florida, Distrito de Independencia* 2013. 149. [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1192/T\\_259](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1192/T_259)

2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra* Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001168.pub2>
- Jacalitos, E. B., Misión, L., Pacífico, O., El, E., Los, R., Cañón, B., Cañóncaitomul, J., Cañada, A., & Bellotas, L. (2006). *Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite*.
- Loya, J., Aguilar, S., Bravo, L., & Sánchez, E. (2013). Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales , México y Arizona , Estados Unidos , durante el periodo 1995-2010 . *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 124–140.
- Pacheco Moya, R. M., Quiala Ortiz, E., & Martínez Hernández, I. (2018). Determinación del parámetro número de curva en la cuenca Las Coloradas en un entorno SIG. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(2), 60–71.
- Portuguez, M., & Verano, C. (2018). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Naturaleza y Sociedad*, 01(01). <https://doi.org/10.18259/nys.2018009>
- Posada, E., Ramirez, H., Daza, R., & Espejo, N. (2012). *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011*. 1–102.
- REYES CARRASCO, L. V. (1992). *HIODROLOGÍA BASICA* (1° ED). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Sáenz Monsalve, G. (2018). *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA*. Alfaomega, 2° ED, 364.
- Universidad de Caruña. (2015). *ESCORRENTÍA*.



## VIII. Anexo

**Anexo 1.** Tabla de Número Curva de escurrimiento y clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo

**Tabla 10**

*Número de curva de escurrimiento para complejos hidrológicos de suelos-cobertura (para  $II$  e  $Ia=0.2S$ )*

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, Césped, parques, campo de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
	Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distrito industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadero pavimentados, techos, accesos, ect. calles y carreteras:		98	98	98	98
Pavimentados con cuneta y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

*Nota.* Adaptado de Hidrología Basica (p.96), por R. C. Luis V, 1992, CONCYTEC.

**Tabla 11**

*Clasificación propuesta de grupos hidrológicos del suelo*

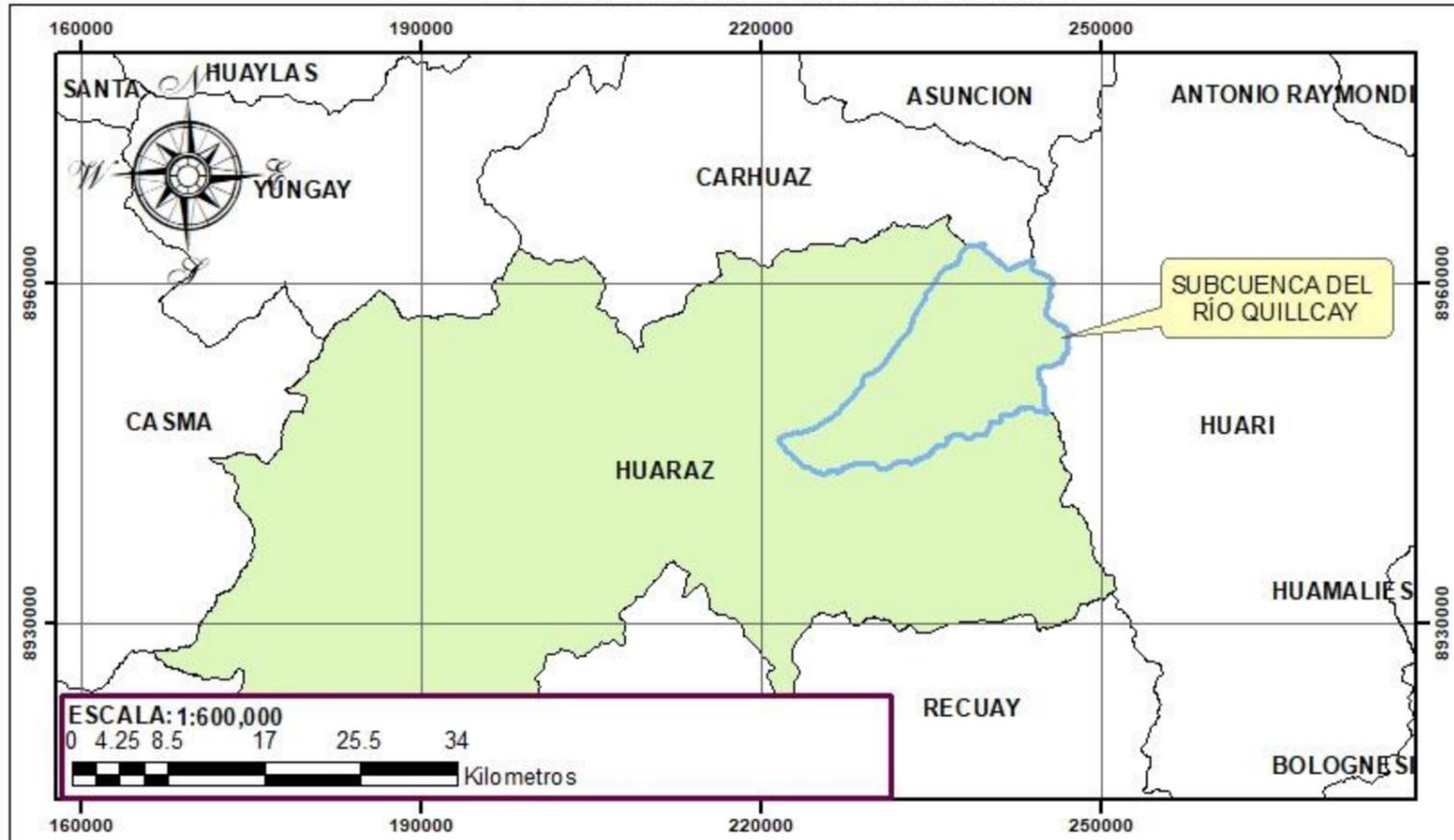
Codigo_DLO	Grupo
Aluviones y Coluviones actuales	A
Arenas y margas	B
areniscas rojas, filitas, cuarcitas y pizarras	C
Basaltos	D
Calizas recristalizadas cremas	B
Calizas tabledas azules	B
Coluvial	A
Conos de deyección	A
Cuarcitas blancas, micaesquistos plateados y gnesis albiticos	B
Cuarcitas micáceas	D
Diabasas	D
Dolomias negras y calizas	B
Filitas, cuarcitas y calcoesquistos	C
Glacis, Limos negros y rojos cantos encostrados	C
Indiferenciado	C
Limos y arcillas rojas con episodios de caliche	C
Margas arenosas y margas	C
Margas blancas	D
Margas grises	D
Margas y areniscas	B
Marmoles calizos y dolomíticos	C
Marmoles fajeados y mármoles blancos y crema	C
Micacitas con granates	C
Micaesquistos y cuarcitas	C
Pizarras micaceas y micacitas	D
Terrazas	B
Yesos	C

*Nota.* Adaptada de “Metodología para el estudio de avenidas en ramblas de cuencas mediterráneas utilizando Sistemas de Información Geográfica y Modelos Semidistribuidos” (p.68) por L.A., Emel D. 2018 , Universidad Politécnica De Cartagena.

## **Anexo 2.** Mapa de Ubicación



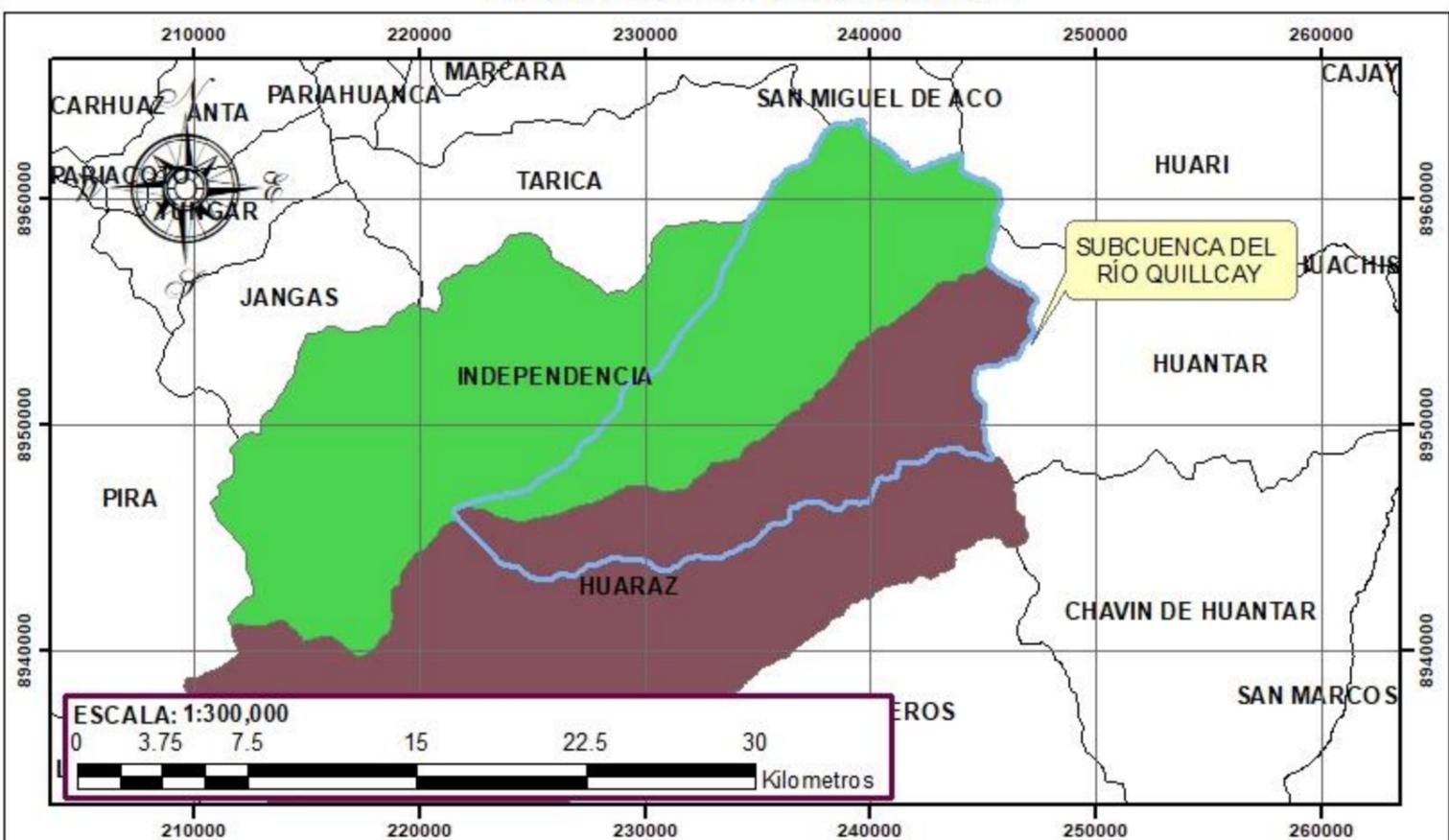
## UBICACIÓN PROVINCIAL



## UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



## UBICACIÓN DISTRITAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TÍTULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



**UBICACIÓN:**  
REGIÓN: ANCASH  
PROVINCIA: HUARAZ  
DISTRITO:  
INDEPENDENCIA  
Y HUARAZ

**MAPA:** UBICACIÓN  
**PATROCINADOR:**  
PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:**  
14/10/2021  
**ESCALA:**  
INDICADA

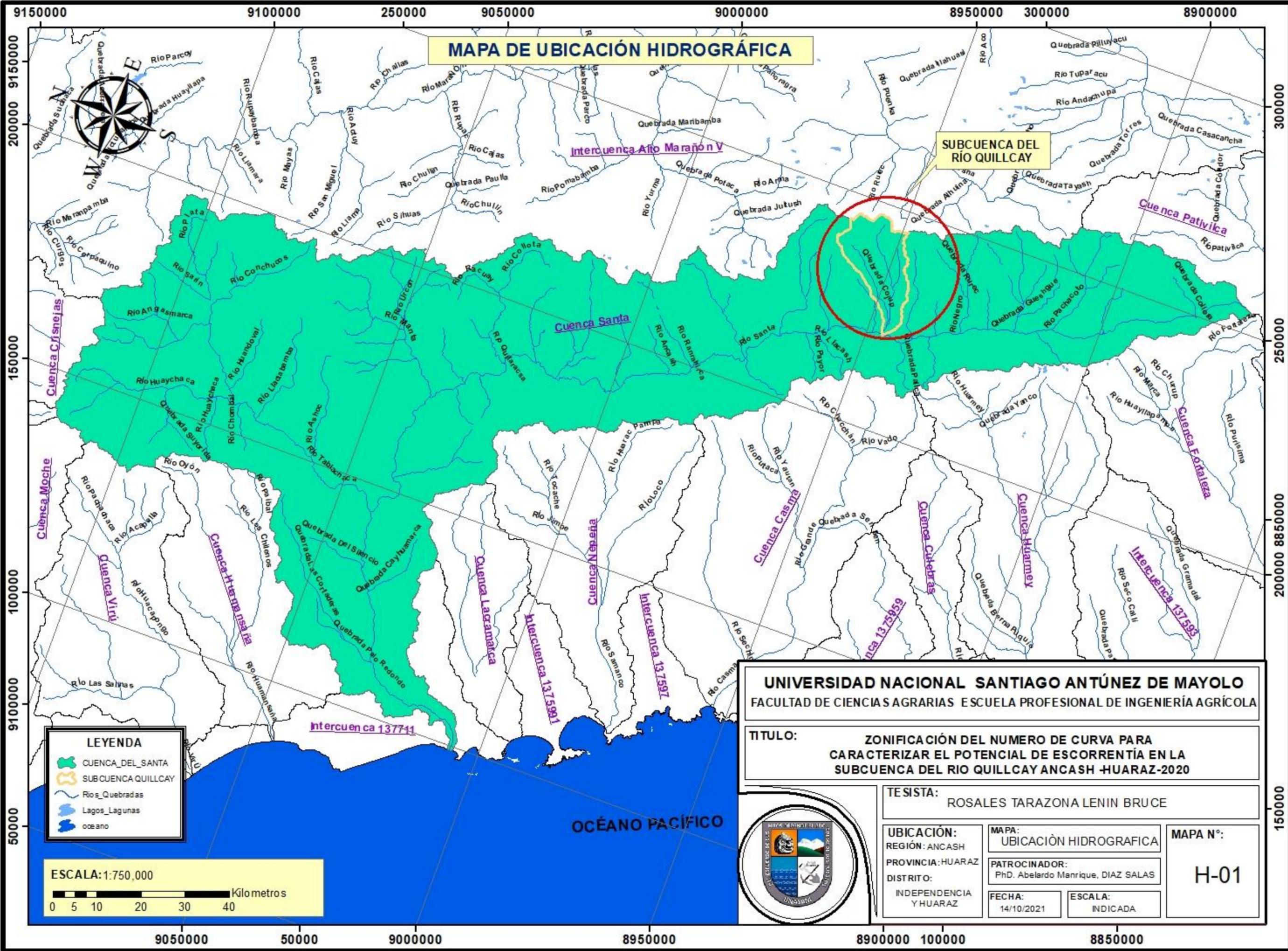
**MAPA N°:**  
**U-01**

**Anexo 3.** Mapa de ubicación hidrográfica.



# MAPA DE UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY



**LEYENDA**

- CUENCA DEL SANTA
- SUBCUENCA QUILLCAY
- Rios, Quebradas
- Lagos, Lagunas
- oceano

**ESCALA: 1:750,000**

0 5 10 20 30 40 Kilometros

**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TÍTULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



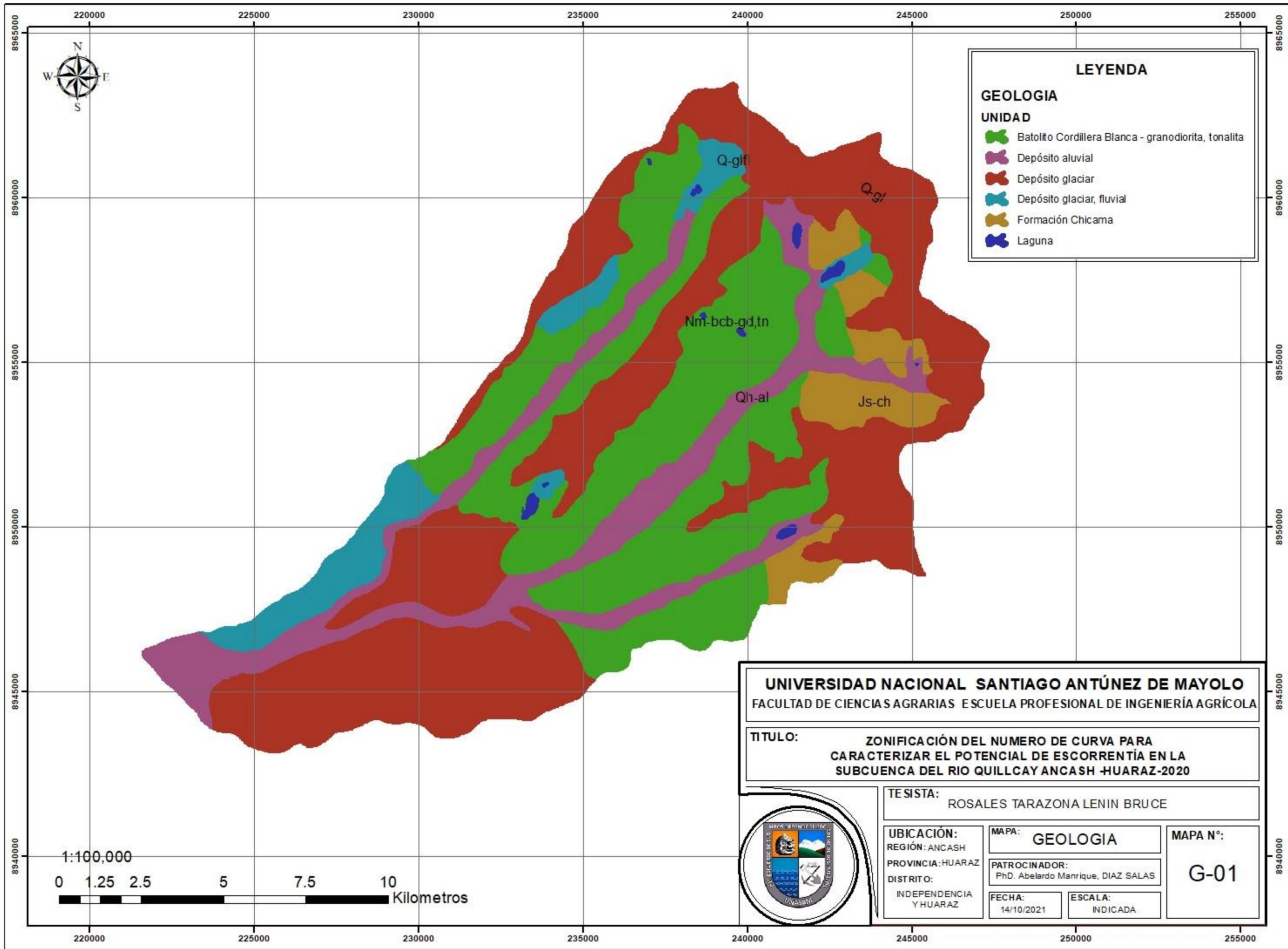
**UBICACIÓN:**  
 REGIÓN: ANCASH  
 PROVINCIA: HUARAZ  
 DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ

**MAPA:** UBICACIÓN HIDROGRAFICA  
**PATROCINADOR:** Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:** 14/10/2021  
**ESCALA:** INDICADA

**MAPA N°:**  
**H-01**

## Anexo 4. Mapa geológico





**LEYENDA**

- GEOLOGIA**
- UNIDAD**
- Batolito Cordillera Blanca - granodiorita, tonalita
  - Depósito aluvial
  - Depósito glaciar
  - Depósito glaciar, fluvial
  - Formación Chicama
  - Laguna

**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TÍTULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



**UBICACIÓN:**  
 REGIÓN: ANCASH  
 PROVINCIA: HUARAZ  
 DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ

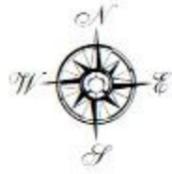
**MAPA:** GEOLOGIA  
**PATROCINADOR:** Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:** 14/10/2021  
**ESCALA:** INDICADA

**MAPA N°:** G-01



**Anexo 5.** Mapa del grupo hidrológico del suelo





**LEYENDA**

SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY

**GHS**

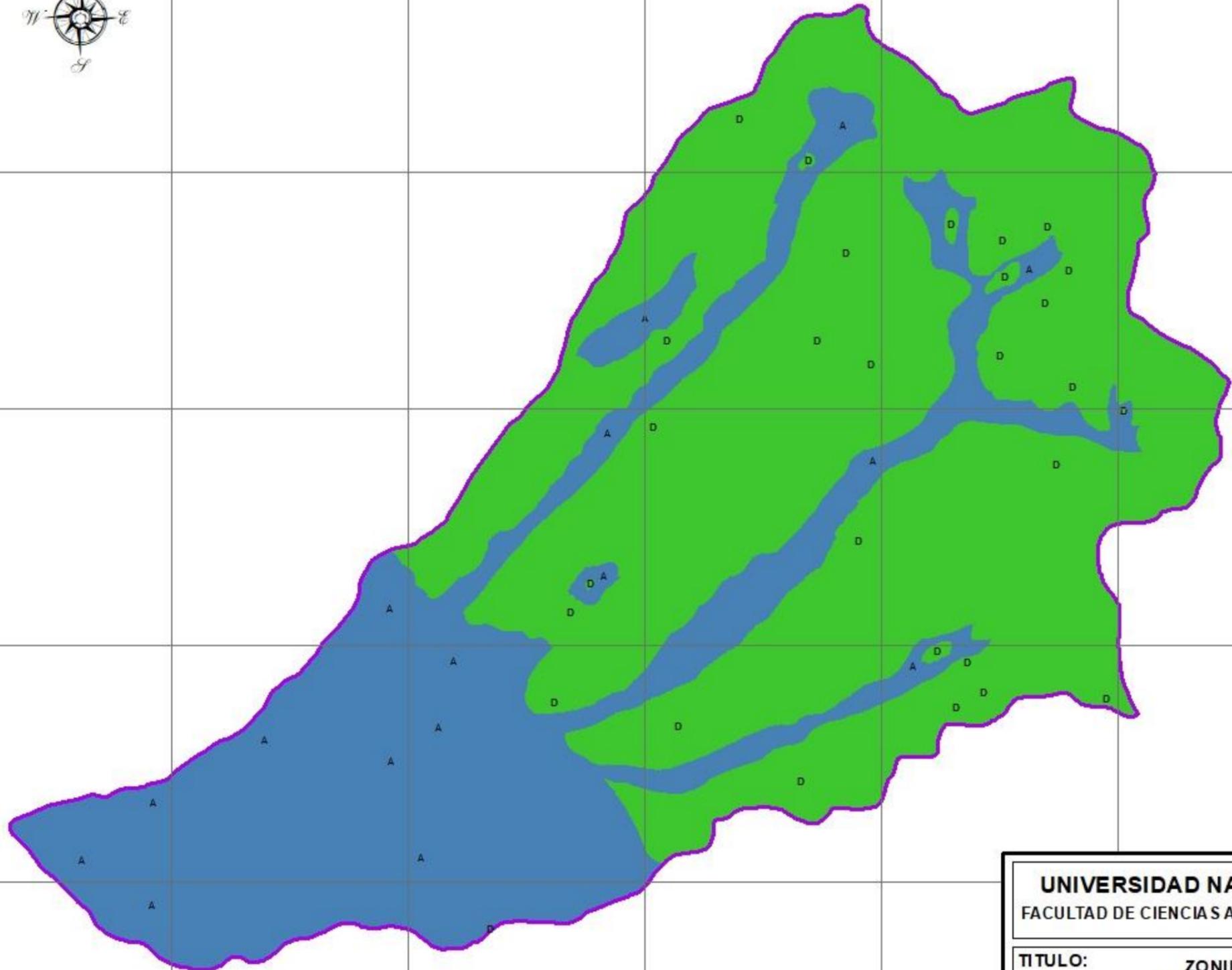
A

D

**Tabla 1**  
*Descripción de los grupos hidrológicos*

Grupos de Suelos	Descripción
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escorrentía) aun cuando están extensamente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración moderada cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una alta tasa moderada de transmisión de agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estado que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.
D	Son suelos de alto potencial de escorrentía, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capas de arcilla. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión de agua.

*Nota.* Adaptado de Hidrología (p. 271), por V. B. Máximo, 2002, Maxso ft.



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TITULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE

**UBICACIÓN:** REGIÓN: ANCASH  
PROVINCIA: HUARAZ  
DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ

**MAPA:** GRUPO HIDROLÓGICO DE LOS SUELOS

**PATROCINADOR:** Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS

**FECHA:** 14/10/2021

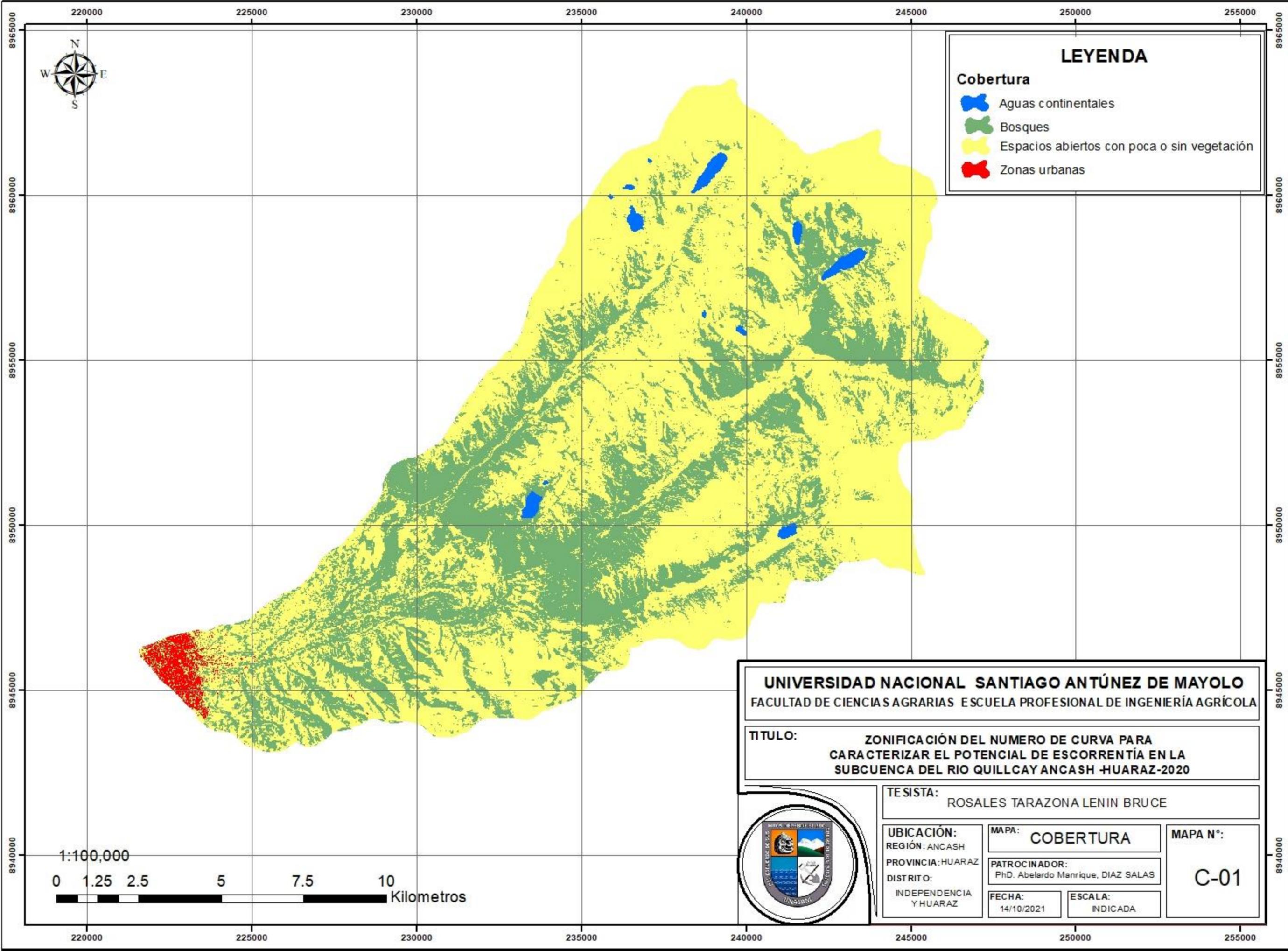
**ESCALA:** INDICADA

**MAPA N°:** GHS-01



## Anexo 6. Mapa de cobertura





**LEYENDA**

- Cobertura**
-  Aguas continentales
  -  Bosques
  -  Espacios abiertos con poca o sin vegetación
  -  Zonas urbanas

**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TÍTULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA  
 CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA  
 SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



**UBICACIÓN:**  
 REGIÓN: ANCASH  
 PROVINCIA: HUARAZ  
 DISTRITO:  
 INDEPENDENCIA  
 Y HUARAZ

**MAPA:** COBERTURA  
**PATROCINADOR:**  
 Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:**  
 14/10/2021  
**ESCALA:**  
 INDICADA

**MAPA N°:**  
 C-01



## Anexo 7. Mapa DEM

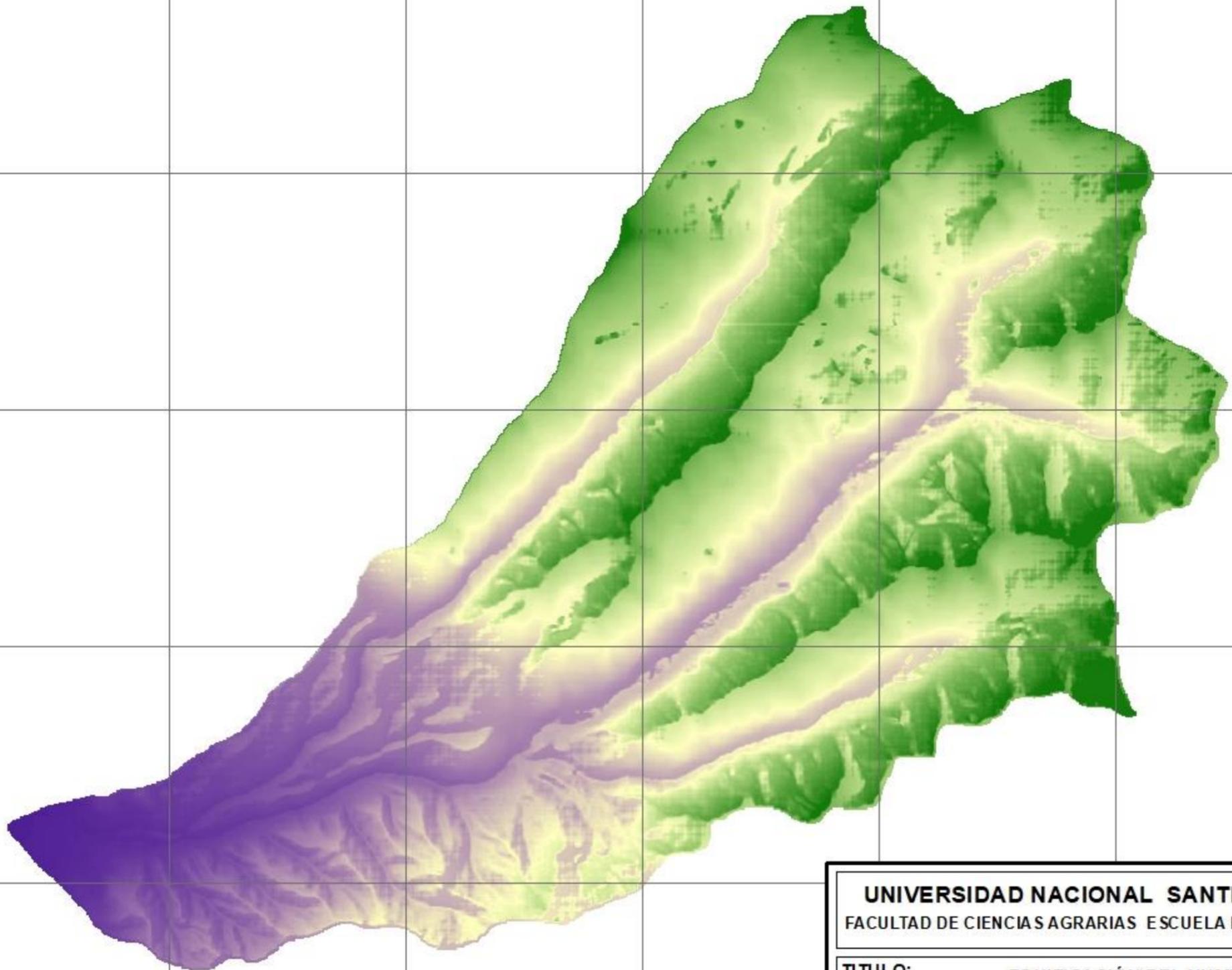




**LEYENDA**

**DEM**  
m.s.n.m.

High : 6115  
Low : 3016



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TITULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020



**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE

<b>UBICACIÓN:</b> REGIÓN: ANCASH PROVINCIA: HUARAZ DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ	<b>MAPA:</b> DEM	<b>MAPA N°:</b> DEM-01
<b>PATROCINADOR:</b> PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS	<b>FECHA:</b> 14/10/2021	<b>ESCALA:</b> INDICADA

220000 225000 230000 235000 240000 245000 250000

8960000  
8955000  
8950000  
8945000  
8940000

8960000  
8955000  
8950000  
8945000  
8940000

220000 225000 230000 235000 240000 245000 250000

## Anexo 8. Mapa de Número Curva en condiciones normales

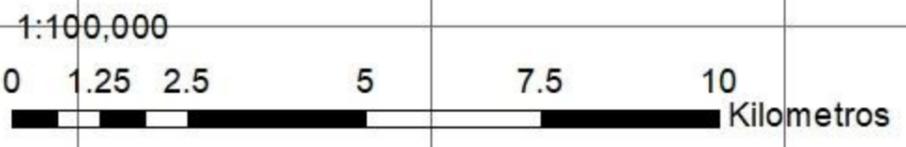
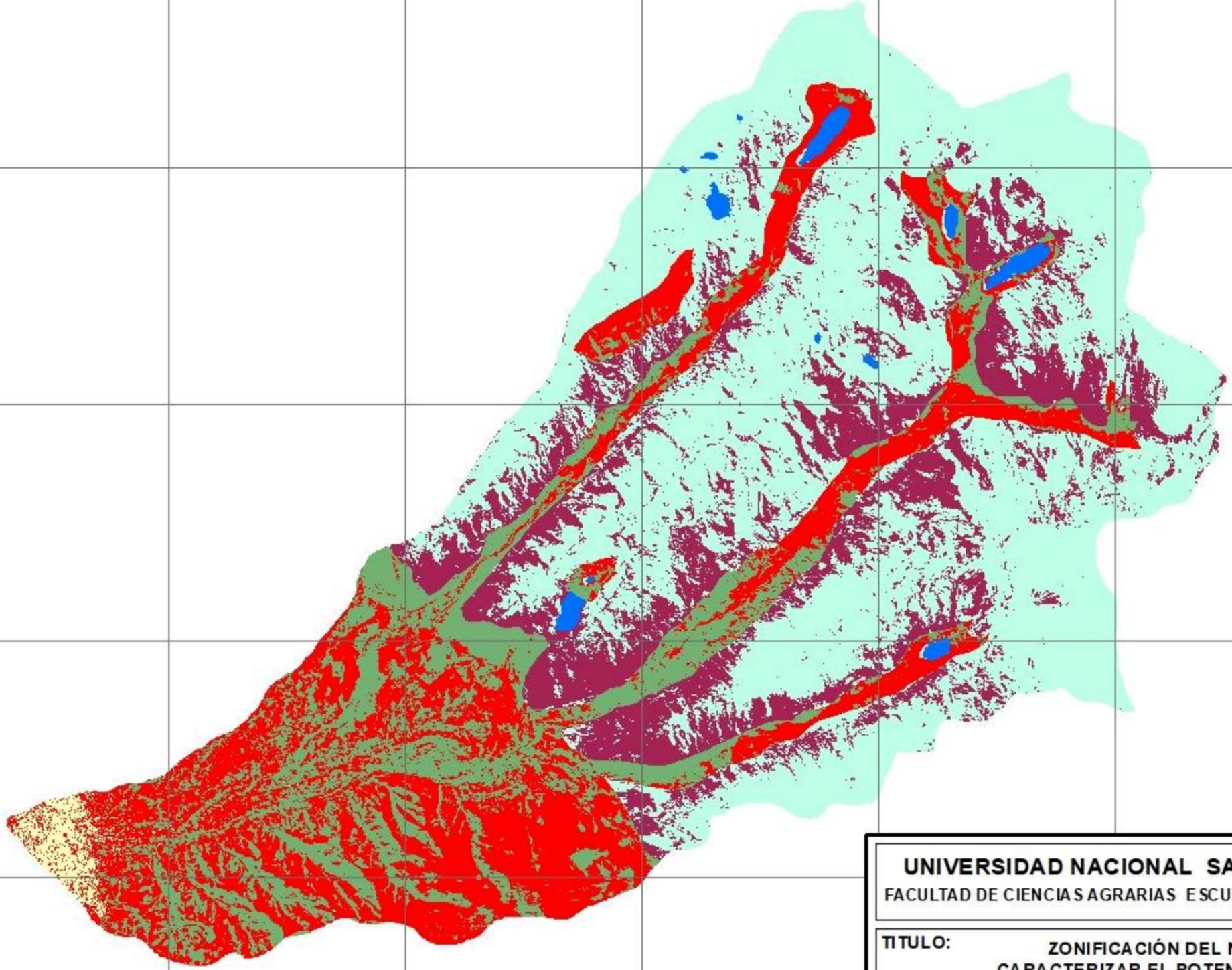


**LEYENDA**

NUMERO DE CURVA

Condiciones normales

-  30
-  57
-  67
-  78
-  87
-  100



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TITULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



**UBICACIÓN:**  
 REGIÓN: ANCASH  
 PROVINCIA: HUARAZ  
 DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ

**MAPA:** NUMERO DE CURVA CONDICIONES NORMALES  
**PATROCINADOR:** Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:** 14/10/2021  
**ESCALA:** INDICADA

**MAPA N°:** CN-01

## Anexo 9. Mapa de Número Curva en condiciones húmedas



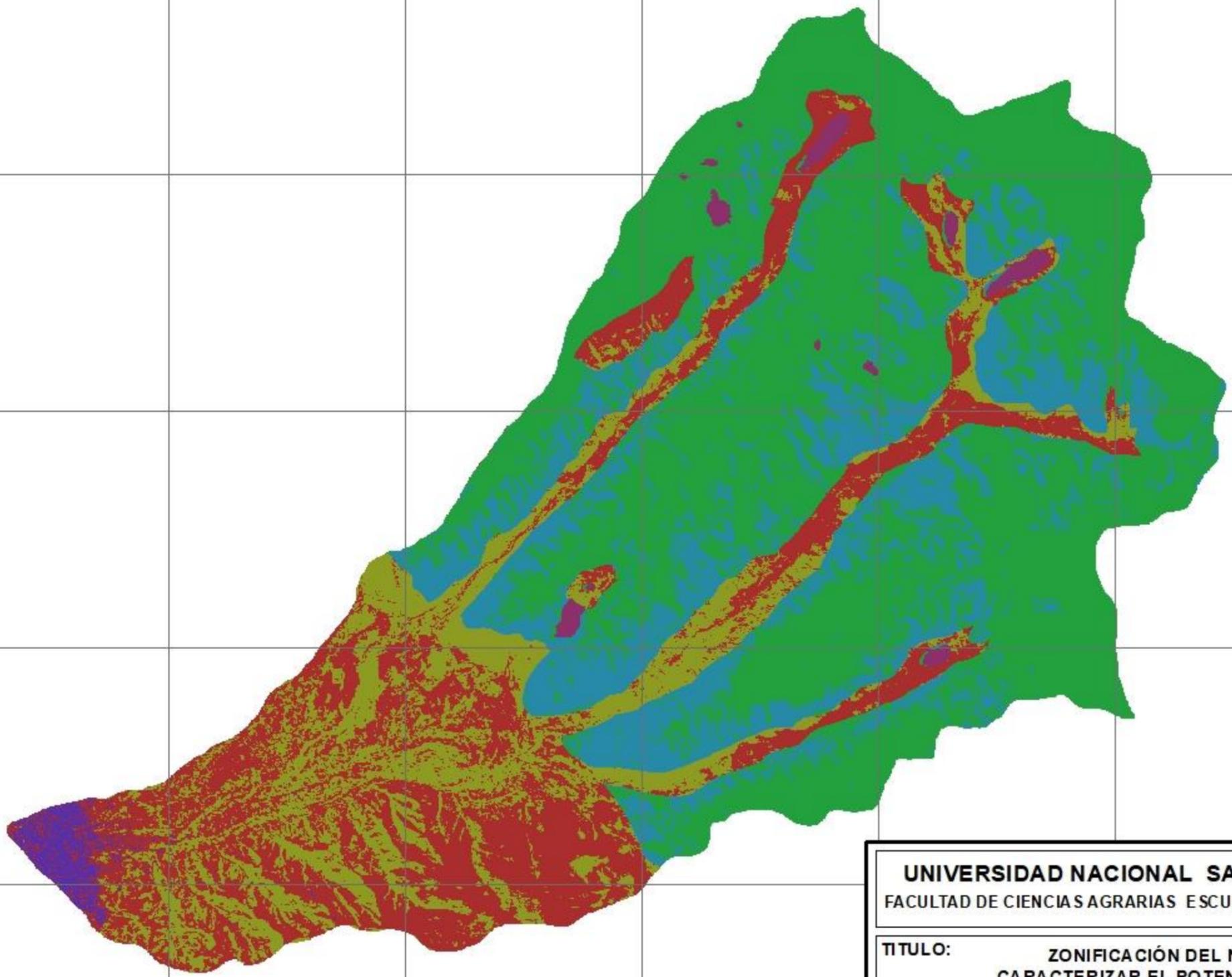


**LEYENDA**

NUMERO DE CURVA

Condiciones humedas

-  50
-  75
-  82
-  89
-  94
-  100



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TITULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE

<b>UBICACIÓN:</b> REGIÓN: ANCASH PROVINCIA: HUARAZ DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ	<b>MAPA:</b> NUMERO DE CURVA CONDICIONES HUMEDAS	<b>MAPA N°:</b> <b>CN-03</b>
<b>PATROCINADOR:</b> PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS	<b>FECHA:</b> 14/10/2021	



**Anexo 10.** Mapa de Número de Curva en condiciones secas

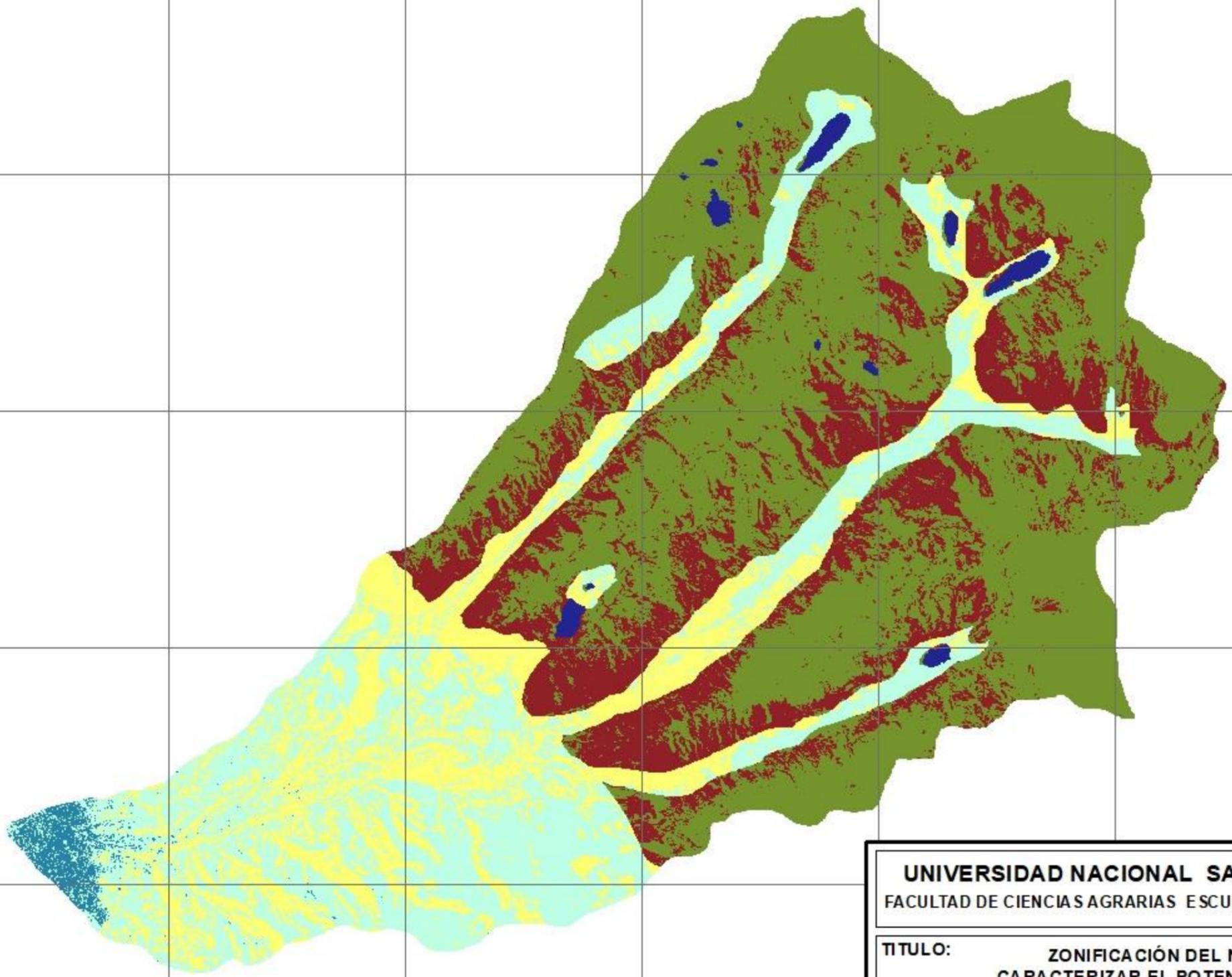




**LEYENDA**  
NUMERO DE CURVA

Condiciones secas

	15
	36
	46
	60
	74
	100



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TITULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE



**UBICACIÓN:**  
REGIÓN: ANCASH  
PROVINCIA: HUARAZ  
DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ

**MAPA:** NUMERO DE CURVA CONDICIONES SECAS  
**PATROCINADOR:** Ph.D. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS  
**FECHA:** 14/10/2021  
**ESCALA:** INDICADA

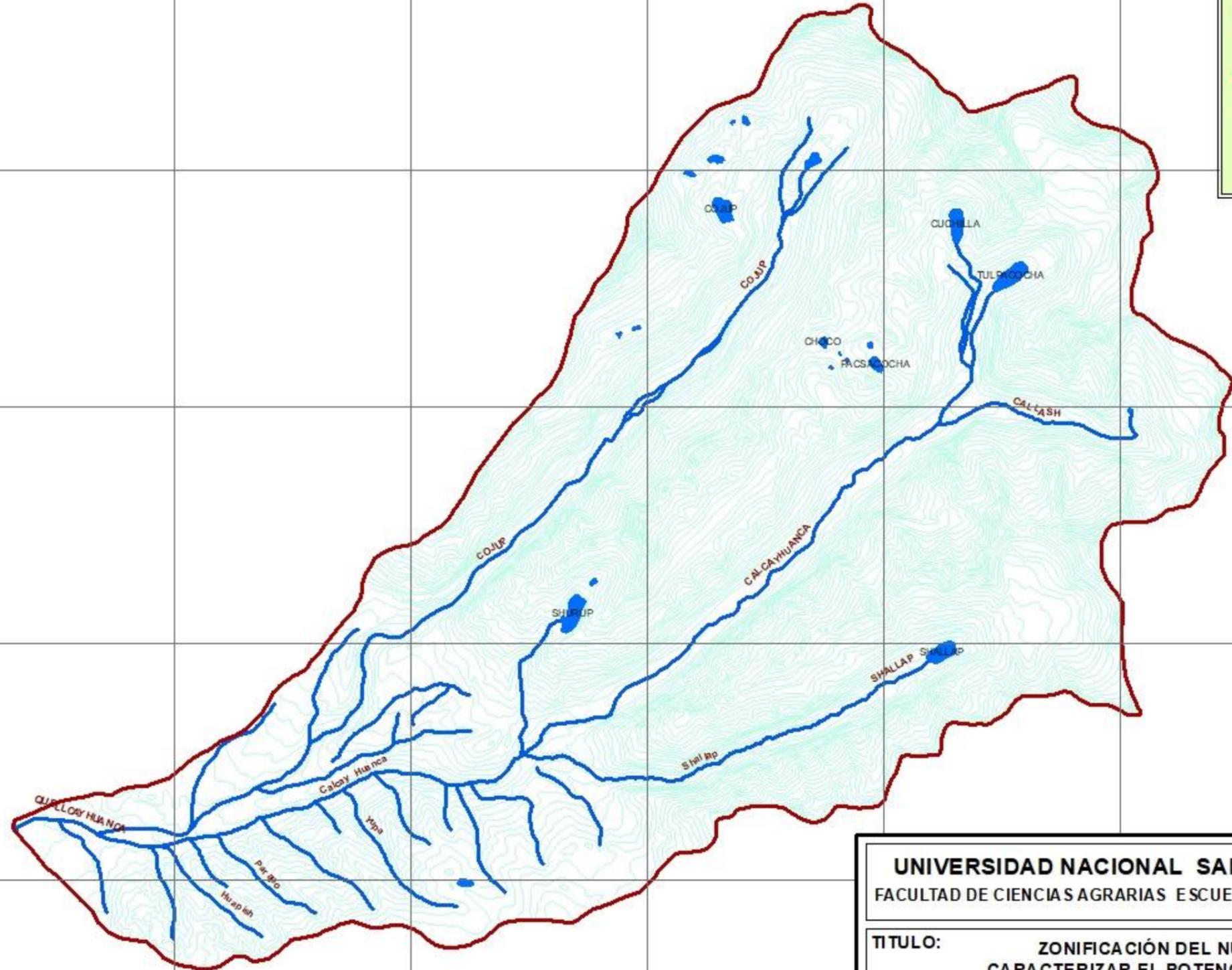
**MAPA N°:** CN-02

## Anexo 11. Mapa de la Subcuenca Quillcay



**LEYENDA**

- SUBCUENCA QUILLCAY
- Rios
- Curvas
- Lagos



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TÍTULO:** ZONIFICACIÓN DEL NUMERO DE CURVA PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE ESCORRENTÍA EN LA SUBCUENCA DEL RIO QUILLCAY ANCASH -HUARAZ-2020

**TE SISTA:** ROSALES TARAZONA LENIN BRUCE

<b>UBICACIÓN:</b> REGIÓN: ANCASH PROVINCIA: HUARAZ DISTRITO: INDEPENDENCIA Y HUARAZ	<b>MAPA:</b> SUBCUENCA QUILLCAY	<b>MAPA N°:</b> <b>SQ-01</b>
<b>PATROCINADOR:</b> PhD. Abelardo Manrique, DIAZ SALAS	<b>FECHA:</b> 14/10/2021	

Anexo 12. Resultados del Índice Kappa

Figura 8

Índice Kappa

ErrMatrixCode	Referencia	Classified	PixelSum			
1	1	1	89			
3	1	3	7			
6	2	2	96			
11	3	3	96			
13	4	1	7			
16	4	4	89			

> ERROR MATRIX (pixel count)  
> Referencia

V_Classified	1	2	3	4	Total		
1	89	0	0	7	96		
2	0	96	0	0	96		
3	7	0	96	0	103		
4	0	0	0	89	89		
Total	96	96	96	96	384		

> AREA BASED ERROR MATRIX  
> Referencia

V_Classified	1	2	3	4	Area	Wi
1	0.232	0	0	0.018	86132	0.249
2	0	0.250	0	0	86400	0.250
3	0.018	0	0.250	0	92673	0.268
4	0	0	0	0.233	80395	0.233
Total	0.250	0.250	0.250	0.250	345600	
Area	86400	86400	86400	86400	345600	
SE	0	0	0	0		
SE area	265	0	0	265		
95% CI area	520	0	0	520		
PA [%]	100	100	100	100		
UA [%]	92.72	100	100	92.72		
Kappa hat	1	1	1	1		

Precisión total [%] =96.35

Clasificación Kappa =0.95

Nota. Se obtuvo el índice de fiabilidad de Kappa valorado según (Loya et al., 2013) de K= 0.9667 lo cual es aceptable.



### Anexo 13. Cálculo del tamaño de la muestra

Para el cálculo de la muestra total se utilizó el muestreo en poblaciones finitas el tamaño del universo se calculó anchura 2136 pixeles por la altura 1020 de la imagen LANDSAT\_8 el cual nos dio 2178720, la cual se expresa mediante la ecuación (11).

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (11)$$

### Tabla 12

*Tabla de cálculo de tamaño de muestra buscada*

Simbología	Descripción	Datos
n=	Tamaño de muestra buscado	384
N=	Tamaño de la población o Universo	2178720
Z=	Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)	1.96
e=	Error de estimación máximo aceptado	5.0%
p=	Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)	50%
q=	(1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado	50%

*Nota.* Se necesita 384 pixeles como mínimo.

Anexo 14. Colores RGB para corine Land Cover

Tabla 13

clasificación propuesta de cobertura según corine Land Cover

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB	
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano continuo	111	230-000-077	
		Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000	
	Zonas industriales, comerciales y de transporte	Zonas industriales o comerciales	121	204-077-242	
		Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000	
		Zonas portuarias	123	230-204-204	
		Aeropuertos	124	230-204-230	
		Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	131	166-000-204	
	Zonas verdes artificiales, no agrícolas	Escombreras y vertederos	132	166-077-000	
		Zonas en construcción	133	255-077-255	
	Zonas agrícolas	Tierras de labor	Zonas verdes urbanas	141	255-166-255
			Instalaciones deportivas y recreativas	142	255-230-255
			Tierras de labor en secano	211	255-255-168
		Cultivos permanentes	Terrenos regados permanentemente	212	255-255-000
			Arrozales	213	230-230-000
Viñedos			221	230-128-000	
Frutales			222	242-166-077	
Olivares			223	230-166-000	
Prados y praderas		231	230-230-077		
Zonas agrícolas heterogéneas		Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	241	255-230-166	
	Mosaico de cultivos	242	255-230-077		

			Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural	243	230-204-077	
			Sistemas agroforestales	244	242-204-166	
<b>Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos</b>	<b>Bosques</b>		Bosques de frondosas	311	128-255-000	
			Bosques de coníferas	312	000-166-000	
			Bosque mixto	313	077-255-000	
		<b>Espacios de vegetación arbustiva y o herbácea</b>		Pastizales naturales	321	204-242-077
			Landas y matorrales mesófilos	322	166-255-128	
			Matorrales esclerófilos	323	166-230-077	
			Matorral boscoso de transición	324	166-242-000	
	<b>Espacios abiertos con poca o sin vegetación</b>		Playas, dunas y arenales	331	230-230-230	
			“Roquedo”	332	204-204-204	
			Espacios con vegetación escasa	333	204-255-204	
			Zonas quemadas	334	000-000-000	
			Glaciares y nieves permanentes	335	166-230-204	
	<b>Zonas húmedas</b>	<b>Zonas húmedas continentales</b>		Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255
			Turberas y prados turbosos	412	077-077-255	
<b>Zonas húmedas litorales</b>			Marismas	421	204-204-255	
			Salinas	422	230-230-255	
			Zonas llanas intermareales	423	166-166-230	
<b>Superficies de agua</b>	<b>Aguas continentales</b>		Cursos de agua	511	000-204-242	
			Láminas de agua	512	128-242-230	
	<b>Aguas marinas</b>		Lagunas costeras	521	000-255-166	

