

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

Caracterización morfométrica y red de drenaje en unidades hidrográficas empleando tres modelos digitales de elevación de terreno. Aplicación cuenca río Chicama – Perú.

Línea de investigación:

Ingeniería Civil

Sub línea de investigación:

Hidráulica

Autora:

Guanilo Mariños, Tensha Carolina

Jurado evaluador:

Presidente: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario: Salazar Perales, Fernando Alvaro

Vocal: Vertiz Malabrigo, Manuel Alberto

Asesor:

Serrano Hernández, José Luis

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8278-6099>

Trujillo – Perú

2023

Fecha de sustentación: 2023/03/07

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

Caracterización morfométrica y red de drenaje en unidades hidrográficas empleando tres modelos digitales de elevación de terreno. Aplicación cuenca río Chicama – Perú.

Línea de investigación:

Ingeniería Civil

Sub línea de investigación:

Hidráulica

Autora:

Guanilo Mariños, Tensha Carolina

Jurado evaluador:

Presidente: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario: Salazar Perales, Fernando Alvaro

Vocal: Vertiz Malabrigo, Manuel Alberto

Asesor:

Serrano Hernández, José Luis

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8278-6099>

Trujillo – Perú

2023

Fecha de sustentación: 2023/03/07

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, por brindarme salud y vida, por fortalecer mi Fe a través de cada prueba a lo largo de este gran camino.

A mi hijo Landon del Risco Guanilo, por inspirarme a seguir creciendo en mi vida profesional, por motivarme con tan solo verlo y por entenderme.

A mis padres, Luis Guanilo Paredes y Cecilia Mariños Paredes. Quienes me dieron educación, apoyo y consejos.

A dos grandes personas que ya no están en este mundo, pero los llevo en mi corazón, mis abuelos Francisco Mariños y Zoila Paredes, lo prometido es deuda y se los cumplí.

A mis tíos, hermanos y amistades, quienes estuvieron en todo momento.

GUANILO MARIÑOS, TENSHA CAROLINA

AGRADECIMIENTO

A mi asesor de tesis, Ing. José Luis Serrano Hernández, por la orientación que me brindó para la elaboración de la presente tesis y por la guía que recibí de su parte en el proceso.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, que me enseñaron tanto de la profesión.

GUANILO MARIÑOS, TENSHA CAROLINA

RESUMEN

La presente tesis, muestra el desarrollo de la caracterización morfométrica de la cuenca del río Chicama (parte alta, media y baja), aplicando el programa Qgis with Grass y los tres tipos de modelos satelitales: ALOS PALSAR DEM, ASTER DEM Y SRTM DEM.

La modelación hidráulica (caracterización morfométrica y red de drenaje) se determinó para cada subcuenca que componen a la cuenca del río Chicama. Se creó un polígono en Google Eath (del área de estudio - subcuenca), luego se guarda como archivo KML, abrimos el área KML generado en Google Earth Pro – importamos en cada página web para descargar las imágenes satelitales: Alos Palsar, Aster y Srtm DEM.

Luego se descargaron las cartas nacionales del Perú (cartografía del Instituto Geográfico del Perú), mediante el programa Qgis with Grass se pueden apreciar los ríos, curvas de nivel entre otros.

En el programa Qgis with Grass, los modelos digitales de elevación se tuvieron que corregir con la herramienta Grass: r.neighbors, para llenar los sumideros y obtener un DEM hidrológicamente condicionado corregido, luego se recortaron los modelos digitales de elevación a partir del polígono del área, al tener listo el DEM, posteriormente se empieza a realizar la delimitación de la cuenca del río Chicama, obteniendo los resultados de las características morfométricas y red de drenaje de cada subcuenca que conforman la cuenca del río Chicama.

Para la comparación y evaluación de los MDE se realizó, en primer lugar, mediante el análisis visual de la distribución de los datos teniendo en cuenta los que tienen más semejanza, eligiendo los resultados de tres parámetros morfométricos desarrollados por cada modelo digital de elevación, debido a que visualmente las características morfométricas de los tres modelos digitales no tienen mucha diferencia en sus resultados. Posteriormente a través del programa RStudio se pudo analizar los resultados que serían idóneos para la parte Alta y Media, se realizó la prueba de normalidad para cada parámetro (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de cada modelo digital de elevación, indicando de acuerdo al p-value, si tienen o no una distribución normal.

Finalmente, de acuerdo a los resultados finales de la prueba de normalidad según el p-value, se logró llegar a la conclusión de cuáles son los modelos digitales idóneos para la parte alta y parte media de la cuenca del río Chicama, detallándose de la siguiente manera:

- **Parte Alta Chicama:** Los modelos a usar en esta zona son: Alos Palsar, Aster DEM y SRTM DEM.
- **Parte Media Chicama:** Los modelos a usar en esta zona son: Alos Palsar y ASTER dem.

Para la parte Baja por tener poca data, se analizó a través del método de regresión y correlación lineal, llegando a la conclusión siguiente:

- **Parte Medio Bajo Chicama:** Los modelos idóneos a usar en esta zona son: Alos Palsar y ASTER DEM.

Palabras Claves: Caracterización Morfométrica y Red de drenaje, modelo digital de elevación, Qgis, cuenca hidrográfica, prueba de normalidad, regresión y correlación lineal.

ABSTRACT

This thesis shows the development of the morphometric characterization of the Chicama river basin (upper, middle and lower parts), applying the Qgis with Grass program and the three types of satellite models: ALOS PALSAR DEM, ASTER DEM and SRTM DEM.

The hydraulic modeling (morphometric characterization and drainage network) was determined for each sub-basin that makes up the Chicama river basin. A polygon was created in Google Earth (of the study area - sub-basin), then it is saved as a KML file, we open the generated KML area in Google Earth Pro – we import in each web page to download the satellite images: Alos Palsar, Aster and Srtm DEM.

Then the national maps of Peru (cartography of the Geographical Institute of Peru) were downloaded, through the Qgis with Grass program you can see the rivers, level curves, among others.

In the Qgis with Grass program, the digital elevation models had to be corrected with the Grass tool: r.neighbors, to fill the sinks and obtain a corrected hydrologically conditioned DEM, then the digital elevation models were cropped from the polygon of the area, once the DEM is ready, the delimitation of the Chicama river basin begins, obtaining the results of the morphometric characteristics and drainage network of each sub-basin that make up the Chicama river basin.

For the comparison and evaluation of the MDE, it was carried out, firstly, through the visual analysis of the distribution of the data, taking into account those that have the most similarity, choosing the results of three morphometric parameters developed by each digital elevation model, due to because visually the morphometric characteristics of the three digital models do not have much difference in their results. Subsequently, through the RStudio program, it was possible to analyze the results that would be suitable for the Upper and Middle parts, the normality test was performed for each parameter (minimum H., drainage density and shape factor) of each digital elevation model, indicating according to the p-value, whether or not they have a normal distribution.

Finally, according to the final results of the normality test according to the p-value, it was possible to reach the conclusion of which are the ideal digital models for the upper and middle part of the Chicama river basin, detailing the following manner:

- Upper Chicama: The models to be used in this area are: Alos Palsar, Aster DEM and SRTM DEM.
- Chicama Middle Part: The models to use in this area are: Alos Palsar and ASTER dem.

For the Lower part, due to having little data, it was analyzed through the regression and linear correlation method, reaching the following conclusion:

- Middle Lower Chicama Part: The ideal models to use in this area are: Alos Palsar and ASTER DEM.

Keywords: Morphometric Characterization and Drainage Network, digital elevation model, watershed, normality test, regression and linear correlation.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Respetando los requisitos establecidos en el reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y reglamento interno del Programa de Estudio de Ingeniería Civil, pongo a mi disposición el presente trabajo de suficiencia profesional titulado: **“CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y RED DE DRENAJE EN UNIDADES HIDROGRÁFICAS EMPLEANDO TRES MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN DE TERRENO. APLICACIÓN CUENCA RÍO CHICAMA – PERÚ”**.

Para obtener el título profesional de Ingeniera Civil, así como algunas expectativas para el desarrollo en el ámbito de la ingeniería.

Señores miembros del jurado considero que, con mis propuestas y recomendaciones, este trabajo de tesis puede contribuir a la difusión de la investigación de nuestra Universidad.

.....
Br. Guanilo Mariños, Tensha Carolina.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
PRESENTACION	vii
INDICE GENERAL	viii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE GRAFICOS	xvii

I. INTRODUCCION

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO	3

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	3
2.2. MARCO TEORICO	4
2.2.1. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
2.2.2. UBICACIÓN POLITICA	5
2.2.3. UBICACIÓN GEOGRAFICA	5
2.2.4. UBICACIÓN HIDROGRAFICA	6
2.2.5. CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS	6
2.2.6. CUENCA HIDROGRAFICA	7
2.2.7. CLASIFICACION DE LA CUENCA	7
2.2.8. DE ACUERDO A SU ELEVACION	8
2.2.9. CARACTERIZACION MORFOMETRICA	9
2.3. MARCO CONCEPTUAL	14
2.3.1. HIDROLOGIA COMPUTACIONAL	14
2.3.2. LOS (SIG) EN MODELOS HIDROLOGICOS	15
2.3.3. MODELIZACION HIDROLOGICA	15
2.3.4. MODELOS DIGITALES DE TERRENO	15
2.3.5. CARACTERIZACION MORFOLOGICA	15

2.4.	SISTEMA DE HIPOTESIS	16
2.4.1.	FORMULACION DE HIPOTESIS	16
2.4.2.	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	16
III. METODOLOGIA EMPLEADA		
3.1.	TIPOS Y NIVEL DE INVESTIGACION	19
3.2.	POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO	19
3.3.	DISEÑO DE INVESTIGACION	19
3.4.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION	20
3.4.1.	CONSIDERACIONES INICIALES	20
3.4.2.	HISTOGRAMA	20
3.4.3.	GRAFICOS CUANTIL Q-Q PLOT	20
3.4.4.	PRUEBAS DE HIPOTESIS	21
3.4.5.	COVARIANZA	22
3.4.6.	INTERPRETACION DE COVARIANZA	22
3.4.7.	FORMULAS DE AJUSTE	22
3.4.8.	COEFICIENTE DE CORRELACION	23
3.5.	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	23
3.5.1.	DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES	25
3.5.2.	DESCARGA DE IMÁGENES – DEM ALOS PALSAR	25
3.5.3.	PASOS DE DESCARGA – SRTM DEM	28
3.5.4.	PASOS DE DESCARGA – ASTER DEM	31
3.5.5.	PROCESAMIENTO DE DELIMITACION	34
3.5.6.	CALCULOS DE CARACTERIZCION	39
IV. PRESENTACION DE RESULTADOS		
4.1.	PROPUESTA DE INVESTIGACION	56
4.2.	ANALISIS E INTERPRETACION	56
4.2.1.	SUB CUENCA OCHAPE – PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO CHICAMA.	57
4.2.2.	SUB CUENCA SANTANERO – PARTE MEDIA DE LA CUENCA..... DEL RÍO CHICAMA.	69
4.2.3.	SUB CUENCA MEDIA BAJA CHICAMA – PARTE BAJA DE LA..... CUENCA DEL RÍO CHICAMA.	80
4.3.	DOCIMASIA DE HIPOTESIS	95
4.3.1.	SUBCUENCA OCHAPE	96

4.3.2. SUB CUENCA SANTANERO	97
4.3.3. SUB CUENCA MEDIA BAJA CHICAMA	97
V. DISCUSION DE RESULTDOS	99
VI. CONCLUSIONES	100
VII. RECOMENDACIONES	101
VIII. REFERENCIAS	103
IX. ANEXOS	106
ANEXO 1.....	106
ANEXO 2.....	106
ANEXO 3.....	107
ANEXO 4.....	107
ANEXO 5.....	108
ANEXO 6.....	108
ANEXO 7.....	109
ANEXO 8.....	109
ANEXO 9.....	110
ANEXO 10.....	110
ANEXO 11.....	111
ANEXO 12.....	111
ANEXO 13.....	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de cuencas según el tamaño	8
Tabla 2.	Índices según la forma de la cuenca	11
Tabla 3.	Cuadro de operacionalización de variables	17
Tabla 4.	Regla para la interpretación de los P	21
Tabla 5.	Características Morfométricas de la Subcuenca Chuquillanqui.....	40
Tabla 6.	Características morfométricas de la Subcuenca Huancay	41
Tabla 7.	Características Morfométricas de la Subcuenca Ochape	42
Tabla 8.	Características Morfométricas de la Subcuenca Medio Alto Chicama	43
Tabla 9.	Características Morfométricas de la Subcuenca Santanero	44
Tabla 10.	Características Morfométricas de la Subcuenca Media Chicama	45
Tabla 11.	Características Morfométricas de la Subcuenca Quirripano	46
Tabla 12.	Características Morfométricas de la Subcuenca Medio Bajo Chicama	47
Tabla 13.	Características Morfométricas de la Subcuenca Bajo Chicama	48

Tabla 14.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Chuquillanqui y cuencas que la componen.	49
Tabla 15.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Huancay y cuencas que la componen	50
Tabla 16.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Ochape y cuencas que la componen	51
Tabla 17.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Medio Alto y cuencas que la componen	52
Tabla 18.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Santanero y cuencas que la componen	53
Tabla 19.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la Subcuenca Media Chicama y cuencas que la componen	54
Tabla 20.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma De la Subcuenca Quirripaño y cuencas que la componen	55
Tabla 21.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma De la Subcuenca Medio Bajo y cuencas que la componen	55
Tabla 22.	Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma De la Subcuenca Bajo Chicama y cuencas que la Componen	56
Tabla 23.	Subcuenca Media Baja Chicama - Comparación de MDE Alos Palsar y MDE Aster	80

Tabla 24.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para calcular la media de la densidad de drenaje.....	80
Tabla 25.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para calcular la media del factor forma.	81
Tabla 26.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular la diferencia de la H. mínima.	81
Tabla 27.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular la diferencia de la densidad de drenaje.	81
Tabla 28.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular la diferencia del Factor forma.	82
Tabla 29.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular el cuadrado de diferencia de H. mínima.	82
Tabla 30.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular el cuadrado de diferencia de la densidad de drenaje.	82
Tabla 31.	Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para Calcular el cuadrado de diferencia del Factor forma.	83
Tabla 32.	Cálculo de la covarianza de la H. mínima	83
Tabla 33.	Cálculo de la covarianza de la densidad de drenaje	83
Tabla 34.	Cálculo de la covarianza del Factor forma	84
Tabla 35.	Comparación de correlación de H. mínima entre Alos Palsar y MDE Aster	84
Tabla 36.	Comparación de correlación de Densidad de drenaje entre Alos Palsar y MDE Aster	84
Tabla 37.	Comparación de correlación de Factor forma entre	

	Alos Palsar y MDE Aster.	84
Tabla 38.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la media de la H. mínima.	85
Tabla 39.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la media de la densidad de drenaje	85
Tabla 40.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la media del Factor forma.	85
Tabla 41.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la diferencia de la H. mínima	86
Tabla 42.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la diferencia de la densidad de drenaje.	86
Tabla 43.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la diferencia del Factor forma.	86
Tabla 44.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular los cuadrado de diferencia de la H. mínima.	87
Tabla 45.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular los cuadrado de diferencia de la densidad de drenaje.	87
Tabla 46.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular los cuadrado de diferencia del factor forma.	87
Tabla 47.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la covarianza de la H. mínima	88
Tabla 48.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para calcular la covarianza de la Densidad de drenaje.	88
Tabla 49.	Comparación de MDE Aster y MDE SRTM, para	

	calcular la covarianza del Factor forma.	88
Tabla 50.	Comparación de correlación de H. mínima entre MDE Aster y MDE Srtm.	89
Tabla 51.	Comparación de correlación de Densidad de drenaje entre MDE Aster y MDE Srtm	89
Tabla 52.	Comparación de correlación de Factor forma entre MDE Aster y MDE Srtm.	89
Tabla 53.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la media de la H. mínima.	90
Tabla 54.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la media de la Densidad de drenaje.	90
Tabla 55.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la media del Factor forma.	90
Tabla 56.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la diferencia de la H. mínima.	91
Tabla 57.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la diferencia de densidad de drenaje.	91
Tabla 58.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular la diferencia del Factor forma.	91
Tabla 59.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular los cuadrados de diferencia de la H. mínima. ...	92
Tabla 60.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para calcular los cuadrados de diferencia de la densidad de drenaje.	92
Tabla 61.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM,	

	para calcular los cuadrado de diferencia del	
	Factor forma.	93
Tabla 62.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para	
	calcular la covarianza de la H. mínima.	93
Tabla 63.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM,	
	para calcular la covarianza de Densidad de drenaje.	93
Tabla 64.	Comparación de Alos Palsar y MDE SRTM, para	
	calcular la covarianza del Factor forma	94
Tabla 65.	Comparación de correlación de H. mínima entre	
	Alos Palsar y MDE SRTM	94
Tabla 66.	Comparación de correlación de densidad de drenaje	
	entre Alos Palsar y MDE SRTM.	94
Tabla 67.	Comparación de correlación de Factor forma entre	
	Alos Palsar y MDE SRTM.	95
Tabla 68.	Cuadro de resultados final Medio Bajo Chicama.	95

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.	Cartografía de la cuenca del río Chicama, con el uso de Imágenes satelitales Alos Palsar y red de drenaje	4
Figura 2.	Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Chicama	6
Figura 3.	Cuenca hidrográfica (Cuenca del Amazonas),.....	7
Figura 4.	Clasificación de la cuenca según su elevación	9
Figura 5.	Delimitación de la cuenca	10
Figura 6.	Partes de la cuenca	11
Figura 7.	Orden de cauces	13
Figura 8.	Imagen espacial usando SIG	13
Figura 9.	Superposición de capas de datos	14
Figura 10.	Definición de una cuenca y punto de cierre	15
Figura 11.	Esquema del diseño de investigación	19
Figura 12.	Subcuencas de estudio	25
Figura 13.	Paso 1: Descarga de imágenes satelitales Alos Palsar	25.
Figura 14.	Paso 2: Área de interés en formato KML	26
Figura 15.	Paso 3: Área que se desea trabajar - Chuquillanqui	26
Figura 16.	Paso 4: Selección del empalme donde se encuentra el área que se va a trabajar.	27
Figura 17.	Paso 5: Imagen satelital Alos Palsar lista para ser usado en Qgis	27
Figura 18.	Paso 1: Descarga de imágenes satelitales SRTM DEM	28

Figura 19.	Paso 2: Puntos y el área de estudio	28
Figura 20.	Paso 3: Resultado de búsqueda de imagen satelital ,.....	29
Figura 21.	Paso 4: Visualización de imagen satelital	29
Figura 22.	Paso 5: Elección de imagen satelital	30
Figura 23.	Paso 5: Imagen satelital SRTM DEM lista para ser usado en Qgis.	30
Figura 24.	Paso 1: Descarga de imágenes satelitales Aster DEM	31
Figura 25.	Paso 2: Configuración para descargar imágenes Satelitales Aster DEM	31
Figura 26.	Paso 3: Selección de imagen Aster DEM	32
Figura 27.	Paso 4: Selección de Aster Global DEM V003	32
Figura 28.	Paso 5: Descarga de archivo	33
Figura 29.	Paso 5: Imagen satelital ASTER DEM lista para ser usado en Qgis	33
Figura 30.	Cartografía de la cuenca Chicama y unidad Subcuenca Chuquillanqui, río principal y red de drenaje	34
Figura 31.	Subcuenca Quirripano, con sumideros y picos sin Corregir	34
Figura 32.	Subcuenca Quirripano, DEM corregido	35
Figura 33.	Mapa de direcciones de drenaje de la Subcuenca Quirripano	35
Figura 34.	Mapa de direcciones de pendiente de la Subcuenca Quirripano	36

Figura 35.	Click sobre una quebrada para punto de cierre para la subcuenca.	36
Figura 36.	Se muestra el polígono de la Subcuenca Quirripano.....	37
Figura 37.	Subcuenca Quirripano, red de drenaje y río Principal	37
Figura 38.	Subcuenca Quirripano, con los nombres de las microcuencas que componen la Subcuenca	38
Figura 39.	Perfil altimétrico de la Subcuenca Quirripano	38
Figura 40.	Área, perímetro, longitud y ancho de la Subcuenca Quirripano	39
Figura 41.	Subcuenca Ochape- H. mínima- Alos Palsar Normalidad de Variables- Gráfico de Histograma	58
Figura 42.	Subcuenca Ochape- Gráfico cuantil cuantil QQplot	59
Figura 43.	Alos Palsar - Subcuenca Ochape – H. mínima - Prueba de normalidad	59
Figura 44.	Aster DEM - Subcuenca Ochape – H. mínima - Prueba de normalidad	60
Figura 45.	SRTM DEM - Subcuenca Ochape – H. mínima - Prueba de normalidad	61
Figura 46.	Subcuenca Ochape, Densidad de drenaje- Alos Palsar Normalidad de las Variables - Gráfico de Histograma	62
Figura 47.	Gráfico de Probabilidad Normal, Subcuenca Ochape – Gráfico Cuantil Cuantil QQplot	63

Figura 48.	Prueba de Normalidad Alos Palsar, Subcuenca Ochape – Densidad de drenaje	63
Figura 49.	Prueba de Normalidad, Subcuenca Ochape - Densidad de drenaje	64
Figura 50.	Prueba de Normalidad SRTM DEM, Subcuenca Ochape densidad de drenaje	65
Figura 51.	Subcuenca Ochape – Factor Forma Normalidad Alos Palsar, Normalidad de las variables, Gráfico Histograma	66
Figura 52.	Gráfico de Probabilidad Normal, Subcuenca Ochape – Gráfico Cuantil Cuantil QQplot	67
Figura 53.	Prueba de normalidad- Alos Palsar, Subcuenca Ochape – Factor forma	67
Figura 54.	Prueba de Normalidad- Aster Dem, Subcuenca Ochape – Factor forma	68
Figura 55.	Prueba de Normalidad- SRTM Dem, Subcuenca Ochape – Factor forma	69
Figura 56	Subcuenca Santanero- H.mínima- Alos Palsar - Normalidad de las variables- Histograma	70
Figura 57.	Gráfico de probabilidad normal – Subcuenca Santanero Gráfico Cuantil Cuantil QQplot.....	71
Figura 58.	Prueba de Normalidad- Alos Palsar, Subcuenca Santanero – H. mínima.	71
Figura 59.	Prueba de Normalidad- Aster DEM, Subcuenca Santanero – H. mínima.	72
Figura 60.	Prueba de Normalidad- SRTM DEM, Subcuenca	

	Santanero – H. mínima.....	72
Figura 61.	Subcuenca Santanero- Densidad de drenaje- Alos Palsar, Normalidad de las variables- Gráfico de Histograma.....	73
Figura 62.	Gráfico de probabilidad normal- SRTM DEM, Subcuenca Santanero – Gráfico Cuantil Cuantil QQplot	74.
Figura 63.	Prueba de Normalidad- Alos Palsar, Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje	75
Figura 64.	Prueba de Normalidad- Aster DEM, Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje	75
Figura 65.	Prueba de Normalidad- SRTM DEM, Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje	76
Figura 66.	Subcuenca Santanero- Factor forma - Alos Palsar, Normalidad de las variables- Gráfico de Histograma.	77
Figura 67.	Gráfico de Normalidad- Subcuenca Santanero – Gráfico cuantil cuantil	78
Figura 68.	Prueba de Normalidad- Alos Palsar, Subcuenca Santanero – Factor forma	78
Figura 69.	Prueba de Normalidad- SRTM DEM, Subcuenca Santanero – Factor forma.	79
Figura 70.	Prueba de Normalidad- Aster DEM, Subcuenca Santanero – Factor forma	80

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de Investigación

La caracterización morfométrica permite interpretar los comportamientos hidrológicos de una cuenca hidrográfica. Siendo precisa para un estudio de demanda hídrica, debido a que los resultados definen las zonas con comportamientos similares a lo largo de la cuenca.

El uso de Modelos Digitales de Elevación de Terreno en el campo hidrológico nos permite visualizar lo eficiente y esencial en la modelación hidrológica. Las características operativas de Los Modelos Digitales de Elevación de Terreno, hacen que el procesamiento sea un método común e indispensable en todos los modelos orientados en la hidrología.

En Latinoamérica, la aplicación del uso del Software de SIG y Modelos Digitales de Elevación de Terreno en modelizaciones hidrológicas han ido incrementando en los últimos años, apreciando en la actualidad gran variedad en los objetivos y resultados de diversos estudios publicados por diferentes autores. Sin embargo, debido al nivel de resolución de los datos espaciales, la herramienta tiene algunos inconvenientes. Aunque es difícil de explicar en algunos modelos, su difusión ha alcanzado un nivel muy alto. Si comparamos la actualidad con el estado de algunos años atrás, las expectativas de mejorar la incorporación de la hidrología y el sistema de información geográfica son muy prometedoras.

El propósito de crear un modelo hidrológico es expresar el comportamiento espacial que se ajusta a la gestión integrada de la cuenca. Los algoritmos usados en los modelos se basan en pruebas a escala, si es aplicado en grandes cuencas o subcuencas se recomienda conservar un valor constante, ya que la diferencia de escalas debilita la validez del modelo.

La razón de este estudio es contribuir en futuras investigaciones con los resultados obtenidos de la caracterización morfométrica de la cuenca del Río Chicama en la parte alta, media y baja, la cual se realizará empleando de tres Modelos Digitales de Elevación de Terreno: Alos Palsar, SRTM DEM, ASTER DEM y el uso del software de QGis. Los cuales facilitarán información fundamental que servirá de base y desarrollo para esta investigación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar los modelos digitales de elevación de terreno Alos Palsar, SRTM y ASTER DEM para la caracterización morfométrica de unidades hidrográficas en la parte baja, media y alta de la cuenca del río Chicama.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la morfometría y red de drenaje en unidades hidrográficas en la cuenca del río Chicama a partir de cartografía del Instituto Geográfico del Perú.
- Caracterizar la morfometría y red de drenaje en unidades hidrográficas en la cuenca del río Chicama a partir de modelos digitales de elevación del terreno Alos Palsar.
- Caracterizar la morfometría y red de drenaje en unidades hidrográficas en la cuenca del río Chicama a partir del modelo digital de elevación del terreno Aster Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM).
- Caracterizar la morfometría y red de drenaje en unidades hidrográficas en la cuenca del río Chicama a partir del modelo digital de elevación del terreno de la misión topográfica Shuttle Radar (SRTM).
- Determinar qué modelos digitales de elevación de terreno son más idóneos para la caracterización morfométrica y de red de drenaje en las unidades hidrográficas en la parte alta, media y baja en la cuenca del río Chicama.

1.3 Justificación del estudio

La propuesta planteada en esta investigación sugiere una metodología para el estudio y caracterización morfométrica en la cuenca hidrográfica del Río Chicama, para comprender e interpretar el comportamiento de la cuenca hidrográfica. Utilizando Modelos Digitales de Elevación de Terreno Alos Palsar, SRTM, ASTER DEM y el uso del software de SIG, con información cartográfica actualizada.

Estos sistemas son herramientas eficientes en relación a la hidrología y han experimentado una evolución en el manejo de datos geográficos, cálculos, realización de la caracterización morfométrica detallada, modelación de la red de drenaje, etc. Con estos sistemas se ahorrará tiempo, evitará costos, aumentará le eficiencia y ayudará elaborar bases de información en el desarrollo de esta investigación.

El resultado obtenido de esta investigación contribuirá en la aplicación de estudios futuros complementarios a estas y la propuesta metodológica planteada servirá como fundamento conceptual, ya que se tendrá información detallada de la cuenca del Río Chicama de la parte alta, media y baja.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes del estudio

Existen estudios que analizan los Modelos Digitales de Elevación de Terreno, (Oñete-Valdivieso y Bosque Sendra, 2007) nos dice: como las características morfométricas derivadas del DEM ASTER presentan una buena relación con las obtenidas del DEM SRTM, siendo posible realizar la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas con relativa precisión. Así mismo hace referencia de como la extracción de DEMS a partir de imágenes ASTER viabiliza la obtención de información morfométrica a escalas medias, constituyen una alternativa interesante para la generación y actualización de información topográfica.

Munir Morad y Triviño Pérez (2001): El software de Sistemas de información Geográfica (SIG) y la hidrología son dos herramientas muy útiles que se complementan de manera eficiente, varios investigadores hacen uso de esta herramienta para la realización de modelos hidrológicos y red de drenaje. Se debe tener en cuenta dos puntos esenciales. La primera que es una herramienta muy rentable. La segunda aporta una considerable interpretación de los sistemas y modelos hidrológicos. Estos dos puntos legalizan su uso en investigaciones relacionadas a la hidrología.

Este software tiene funciones importantes como: la introducción de datos y análisis espacial, permite mejorar la imagen de la localización geográfica de sistemas hidrológicos, cambios de escala, transformación de datos, interpolación, combinación de capas, operadores lógicos y aritméticos. Estas herramientas agilizan la elaboración de modelos hidrológicos. Así mismo, este software sirve de ayuda al investigador a concluir la forma que va tomando el estudio de investigación.

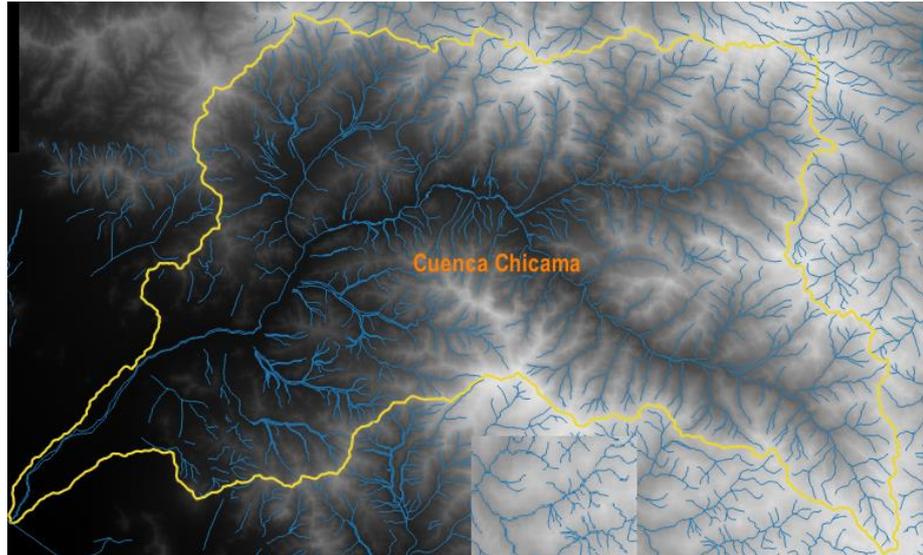
2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chicama.

Figura 1

Cartografía de la cuenca del río Chicama, con el uso de imágenes satelitales Alos Palsar y red de drenaje.



Nota: El gráfico representa la cuenca del río Chicama. *Elaboración propia*

2.2.2. UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente, la zona de estudio se encuentra ubicada en las regiones de la Libertad y Cajamarca. La unidad hidrográfica en la Región La Libertad abarca 4 provincias: Ascope, Gran Chimú, Santiago de Chuco y Otuzco. En la Región Cajamarca abarca 2 provincias: Contumazá y Cajamarca. Además, la cuenca del río Chicama abarca 16 distritos en la Libertad y 4 distritos en Cajamarca.

2.2.3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca del río Chicama cubre una extensión total de 5,822 km², correspondiendo 2,472 km² a la cuenca húmeda. Su cauce principal recorre en dirección noroeste desde las nacientes del río Huancay, donde el río Chicama nace con el nombre del río Perejil hasta Coina, luego toma el nombre de río Huancay hasta su confluencia con el río Chuquillanqui, en tal sentido, cerca de la localidad de Panana a 700 msnm, a partir de la hacienda el Tambo, en dirección sureste con el nombre del río Chicama, con una longitud de 169.2 km, hasta llegar al Océano Pacífico.

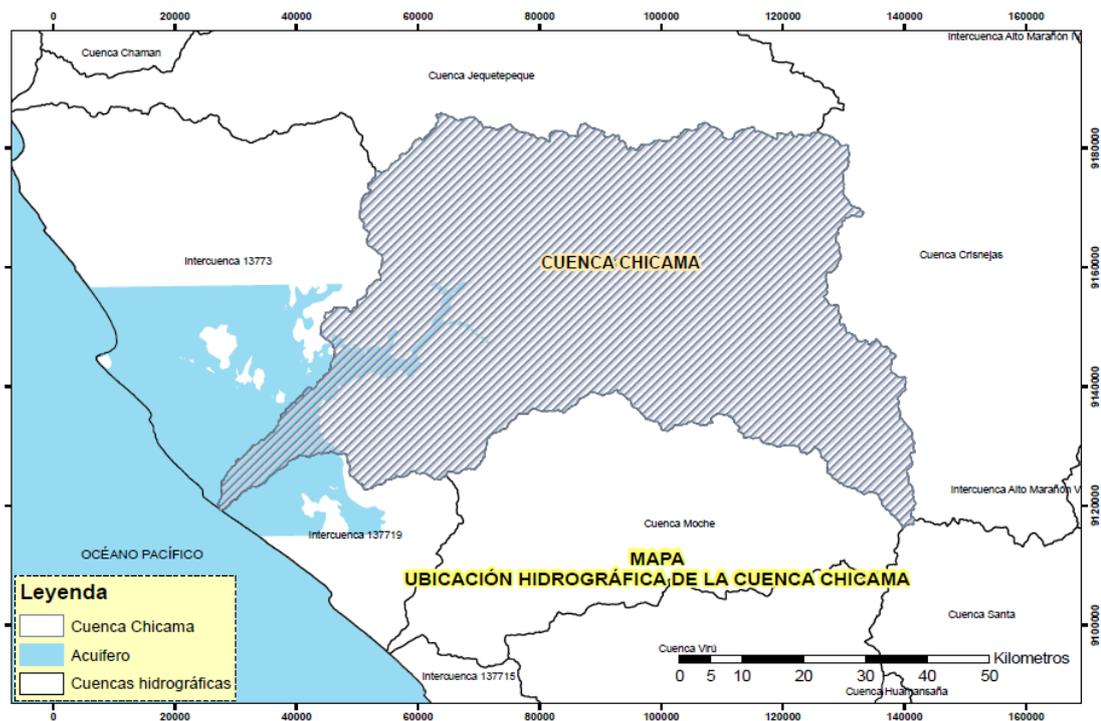
2.2.4. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Los límites hidrográficos de la cuenca del río Chicama son los siguientes:

- Norte: Cuenca Jequetepeque.
- Sur: Cuenca Moche.
- Este: Cuenca Crisnejas.
- Oeste: Océano Pacífico.
- Sureste: Cuenca Santa.
- Suroeste: Intercuenca 137719
- Noroeste: Intercuenca 13773

Figura 2

Ubicación Hidrográfica de la cuenca del río Chicama.



Nota: Diagnóstico Hídrico del río Chicama - Sedalib (2018)

2.2.5. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

La cuenca del río Chicama tiene forma Sui Géneris, propia de las cuencas de la costa, ancha en la parte Alta de la cuenca y estrecha

2.2.7.2. CUENCA GRANDE

Cuenta con un área mayor a 2500 km², entre sus características destacan la pendiente, área, elevación, cauce, etc. (Campos Aranda D. F, 1987).

2.2.7.3. CUENCA PEQUEÑA

Cuenta con un área menor a 250 km², donde su forma y porción de escurrimiento es influenciado por las características del suelo y vegetación en la cuenca (Campos Aranda, D.F, 1987).

Tabla 1

Clasificación de cuencas según el tamaño.

Área (Km2)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Nota: Campos Aranda, D.F, (1987).

2.2.8. DE ACUERDO A SU ELEVACIÓN

Según la elevación referente de sus partes se clasifican en cuencas alta, media y baja (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009).

2.2.8.1. CUENCA ALTA

Conocido también como cuenca cabecera; por su nivel alto, recibe y almacena en los nevados y glaciares de su cima, como también en lagunas y represamientos, tiene mayor aporte de la precipitación (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009).

2.2.8.2. CUENCA MEDIA

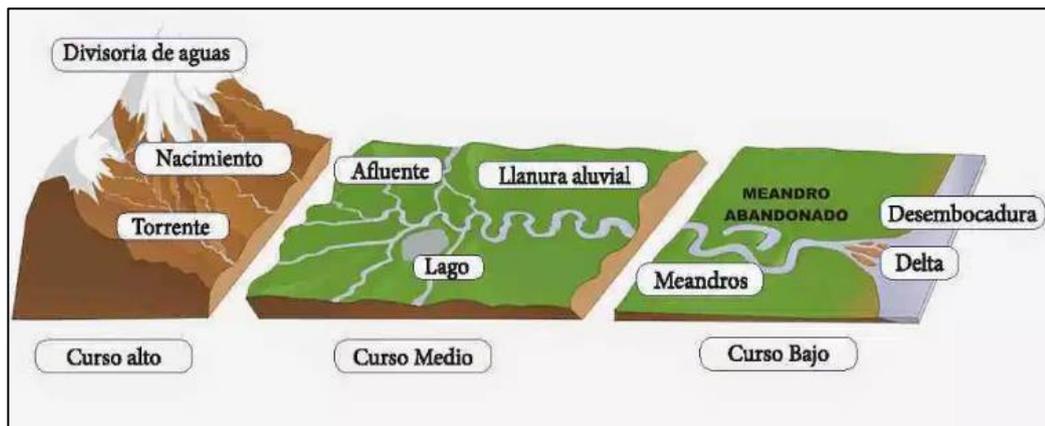
Cuenta con una pendiente relativa mayor y conocida como zona de transporte de sedimentos (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009).

2.2.8.3. CUENCA BAJA

Cuenta con una pendiente relativa menor, es la parte donde se depositan los sedimentos transportados por la corriente de agua de la parte alta (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009).

Figura 4

Clasificación de la cuenca según su elevación.



Nota: Epicentro Geográfico.

2.2.9. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA

Primero se tiene que cuantificar todos los parámetros que detallan la estructura física de la cuenca. La caracterización de una cuenca hidrográfica inicia con delimitar su territorio, la forma, área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. (Ordoñez Gálvez, 2011).

2.2.9.1. ALGUNAS FÓRMULAS DE CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE CUENCA:

- **Pendiente media (Sm):** La diferencia de la altura máxima menos la altura mínima, entre la longitud del mismo.

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

- **Densidad de drenaje (Dd):** Longitud total de los drenajes de la cuenca entre el área de la cuenca.

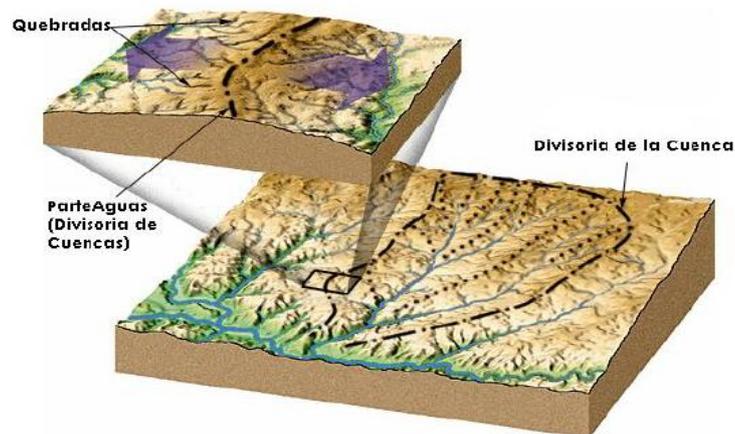
$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

2.2.9.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La delimitación de la cuenca, se trabaja sobre un mapa con curvas de nivel siguiendo las líneas del Divortium Acuarum (parteaguas), formado por los puntos que tiene mayor nivel topográfico (Cahuana Andia y Yugar Morales, 2009).

Figura 5

Delimitación de la cuenca



Fuente: Cahuana Andia y Yugar Morales (2009).

2.2.9.3. ÁREA DE LA CUENCA

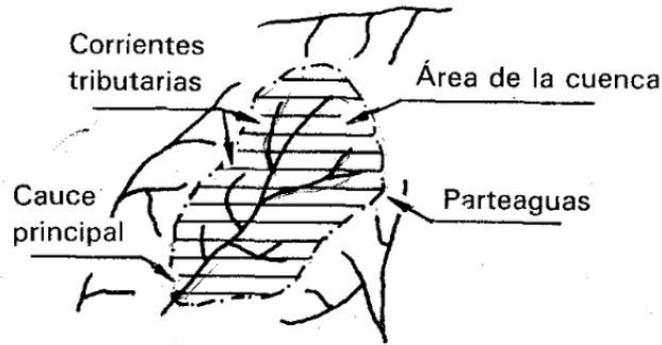
Superficie en proyección horizontal, delimitada por la línea imaginaria de los puntos de mayor nivel topográfico separándose las cuencas vecinas (Aparicio Mijares, 2012).

2.2.9.4. CAUCE PRINCIPAL

Corriente que fluye por la salida de la cuenca, aplicado a cuencas que drenan sus aguas al océano, las demás son llamadas tributarias (Aparicio Mijares, 2012).

Figura 6

Partes de la cuenca.



Nota: Cuenca. Aparicio Mijares (2012).

2.2.9.5. PARÁMETROS DE FORMA

Debido a la importancia de la forma de la cuenca en movimiento del agua y en respuesta al movimiento, se basa en detallar los parámetros a través de índices (Cahuana Andia y Yugar Morales, 2009). Algunos coeficientes como los que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Índices según la forma de la cuenca.

Parámetros de la cuenca	Fórmula	Descripción
Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (I _c)	$I_c = \frac{P}{P_0}$	Es el coeficiente que está entre el perímetro de la cuenca en relación al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca (Campos Aranda D.F, 1987).

Parámetros de la cuenca	Fórmula	Descripción
Factor de forma (Ff)	$F_f = \frac{B}{L_c}$	Definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del cauce principal.
Relación de Elongación (Re)	$R_e = \frac{D}{L_c}$	Definido por Schumm, es la relación entre el diámetro de un círculo igual al área de la cuenca y longitud de la cuenca.
Relación de circularidad (Rci)	$R_{ci} = \frac{4\pi A}{p^2}$	Es el coeficiente entre el área de la cuenca y la del círculo cuyo perímetro es igual al de la cuenca.

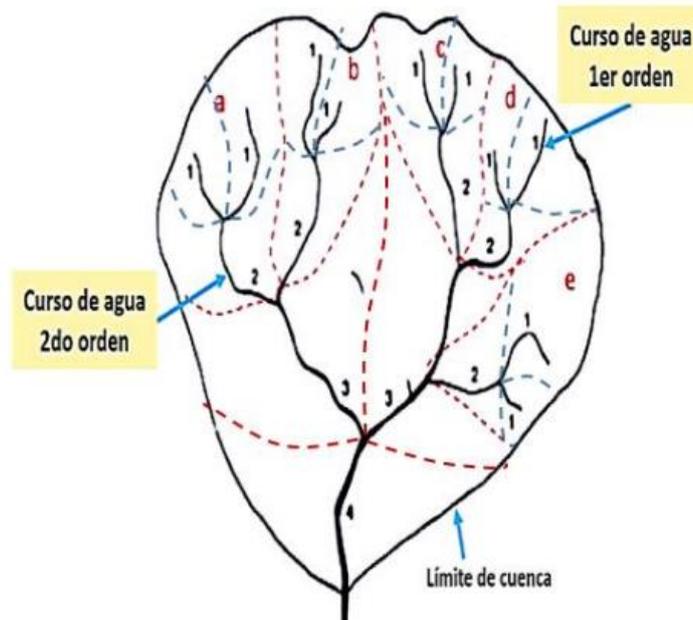
Nota: Parámetros de la cuenca Cahuana Andía & Yugar Morales (2009).

2.2.9.6. PARÁMETROS DE LA RED DE DRENAJE DE LA CUENCA

- **Red de drenaje:** Según (Ordoñez Gálvez, J.J, 2011) la red de drenaje: Se refiere a las trayectorias que guardan entre sí, las corrientes de agua natural dentro de ella.

Gráfico 7

Orden de cauces.



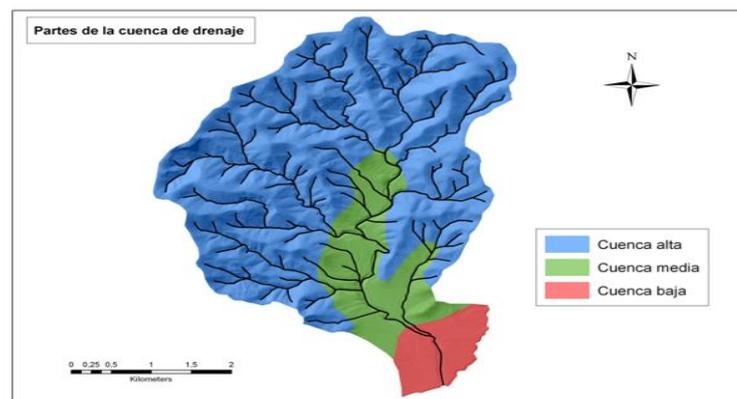
Nota: Criterios técnicos para la identificación, por Ing. Abelardo De la Torre V. delimitación y zonificación de cabeceras de la cuenca

2.2.9.7. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN MODELIZACIONES HIDROLÓGICAS

El sistema de SIG cuenta con diversas herramientas y funciones aportando una gran operatividad. Se puede trabajar imágenes satelitales, acelerando el desarrollo, implementación y análisis de modelos hidrológicos (Munir Morad y Triviño Pérez, 2001).

Figura 8

Imagen espacial usando SIG



Nota: Imagen satelital. López, Ángel (2013).

2.2.9.8. MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Representación de la superficie de terreno en formato Raster. En palabras resumidas, es una representación digital sobre una superficie bidimensional.

Figura 9

Superposición de capas de datos.



Nota: Biblioteca de la Universidad de Syracuse (2020).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Hidrología computacional:

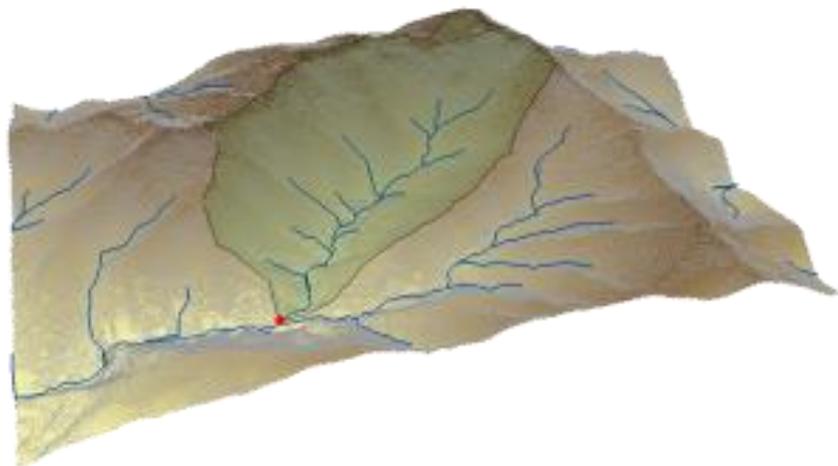
En estudios hidrológicos, cualquier modelo existente puede ser incorporado dentro de programas informáticos como herramientas de aplicación, sin tener un grado totalmente erróneo, desarrollando nuevos modelos y nuevas metodologías. En otras palabras, se formulan los problemas, soluciones y desarrollos habituales de la hidrología desde un enfoque diferente, sustituyendo las fórmulas puntuales por los algoritmos elaborados (Olaya Ferrero, 2004).

2.3.2 Los (SIG) en modelos hidrológicos: Es de vital importancia para el manejo de información espacial, define diversas formas de entender la relación entre la cartografía digital, el análisis hidrológico y el uso de métodos computacionales (Olaya Ferrero, 2004).

2.3.3 Modelización Hidrológica: En la modelización hidrológica, la realización y técnicas utilizadas en el desarrollo deben distinguirse claramente de su implementación en SIG. La mayoría de los investigadores utilizan esta herramienta para generar parámetros que son lógicamente significativos para el desarrollo de la modelización (Munir Morad y Triviño Pérez, 2001).

Figura 10

Definición de una cuenca y punto de cierre.



Nota: Ideas Medioambientales (2020).

2.3.4 MMDE (Modelos digitales de Terreno): Elementos cartográficos que representan un mayor aporte en la hidrología actual y particularmente a la de corte computacional, siendo un soporte y aporte para la extracción de parámetros útiles para el análisis y estudio hidrológico (Olaya Ferrero, 2004).

2.3.5 Caracterización morfométrica en cuencas: Se basa principalmente en cuantificar las variables que caracterizan la cuenca o unidad geográfica (Castillo, E. B., Chichiple, M. E., y López, R. S, 2017).

El estudio de las características morfométricas de una cuenca, fue iniciado originalmente por el padre de la hidrología moderna en los Estados Unidos de Norte América: Robert Elmer Horton, por medio de sus dos artículos de referencia internacional “Drainage basin characteristics” (1932) (Características de las cuencas hidrográficas) y “Erosional development of streams and their drainage basins (Desarrollo erosional de los arroyos y sus cuencas hidrográficas): Enfoque hidrofísico de la morfología cuantitativa del año 1945.

2.4 Sistema de Hipótesis

2.4.1 Formulación de Hipótesis

A través de los modelos digitales de elevación de terreno, Alos Palsar, Srtm DEM y Aster DEM, se puede realizar la caracterización morfométrica y red de drenaje en las unidades hidrográficas de la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chicama

2.4.2 Operacionalización de Variables

2.4.2.1 VARIABLES

- Modelo de elevación de terreno ALOS PALSAR
- Shuttle Radar Topography Mision (SRTM)
- Aster Global Elevation Model
- Características morfométricas
- Red de drenaje

Tabla 3

Cuadro de operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Modelos digitales de Elevación de terreno Alos Palsar	<p>Imágenes de alta resolución, permite realizar una observación detallada, en cualquier condición climática durante el día y la noche, así como una interferometría de paso repetido.</p> <p>https://acolita.com/descargar-un-modelo-de-elevacion-dem/</p>	<p>Por medio del portal Vertex de la NASA podremos obtener y descargar imágenes SAR y DEM de ALOS, de acuerdo a las coordenadas del río Chicama.</p>	<p>. Precisión cartográfica.</p> <p>-Capaz de tomar imágenes durante el día y la noche sin interferencia.</p>	<p>El DEM ALOS PALSAR, será corregido y trabajado mediante el programa Qgis with Grass.</p>	lat/long msnm
Modelos digitales de Elevación de terreno de la misión topográfica Shuttle Radar (SRTM)	<p>Es un sistema de radar, que genera una base de mapas topográficos digitales de alta resolución de la tierra.</p> <p>https://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle</p>	<p>A través del Earth Explorer, de acuerdo a las coordenadas de del río Chicama.</p>	<p>Permite delinear cuencas hidrográficas.</p> <p>-Calcular la acumulación de flujo y dirección de flujo.</p>	<p>Los modelos de elevación de terreno de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM), será corregido y trabajado mediante el programas Qgis with Grass.</p>	lat/long msnm
Modelos digitales de Elevación de terreno Aster Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM)	<p>Imágenes que destacan por su alta resolución espacial de 30m y disponibilidad global.</p> <p>Castillo, E. B., Chichiple, M. E., & López, R. S. (2017).</p>	<p>A través del Geoservidor del MINAM se obtendrán los modelos de elevación global ASTER de acuerdo a las coordenadas del río Chicama..</p>	<p>Presenta mayor grado de precisión.</p> <p>-Con una capa adicional ráster identifica zonas de ríos y lagos.</p>	<p>A través de la cartografía del Instituto Geográfico del Perú, por medio del programa Qgis with Grass, se realizará la caracterización morfométrica.</p>	lat/long msnm

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Características morfométricas	La morfometría de una cuenca se basa principalmente en cuantificar las variables que caracterizan la cuenca o unidad geográfica.	A partir de la delimitación de la cuenca se generará el modelo de pendientes de la zona. Una vez generados estos modelos, mediante el software QGis se calculará las características morfométricas.	Forma, Relieve y Drenaje.	Con el archivo ráster en el software Qgis, hacemos click derecho en el raster de la cuenca y en la tabla de atributos/calculadora de campos, calculamos los parámetros morfométricos.	Km/km ² , Ff
Red de drenaje	Se refiere a la red natural de transporte gravitacional de agua, sedimento o contaminantes, formada por ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia o la nieve fundida. http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/glosario/red-de-drenaje	Se realiza desde la caja de herramientas de Proceso - Grass/Raster/r.t o.vect, acompañado del mapa de ríos se obtiene el mapa de Red de drenajes.	Orden de corrientes. -Densidad de drenaje. -Densidad de corriente.	Con el archivo ráster en el software Qgis with Grass a través de la herramienta Grass/r.to.vect, nos ayudará a generar los drenajes dentro de la cuenca.	Km, km/km ² .

Nota: Esta tabla muestra las variables de la presente tesis.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 Tipos y nivel de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

- Aplicativa

3.1.2 Nivel de investigación

- Investigación: Descriptiva

3.2 Población y muestra de estudio

3.2.1 Población

La población viene a ser la cuenca del río Chicama, por ser la zona de estudio y es donde se aplicarán los métodos.

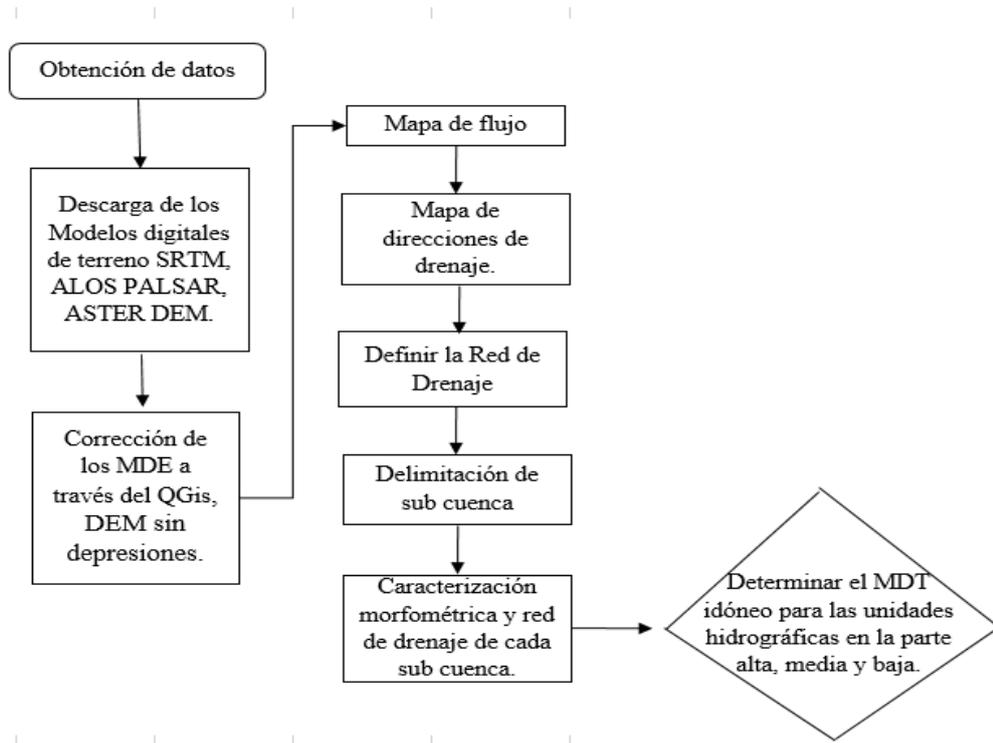
3.2.2 Muestra

La muestra viene a ser igual a la población: La cuenca del río Chicama, por ser la zona de estudio y es donde se aplicarán los métodos.

3.3 Diseño de Investigación

Figura 11

Esquema del diseño de investigación.



3.4 Técnicas e instrumentos de investigación

- Modelos Digitales de Terreno (ALOS PALSAR, SRTM Y ASTER GDEM): Se descargará a través del portal Vertex de la NASA, Earth Explorer y Geoservidor del MINAM.
- Descargar la cartografía del Geogps Perú.
- Resumen bibliográfico: Se recopiló y se hizo lectura de libros de hidrología, revistas científicas, investigaciones similares, etc. Extrayendo la metodología para aplicarlo en el modelamiento hidrológico.
- Para la evaluación de los resultados obtenidos de la caracterización morfométrica, para la parte alta y media de la cuenca se hizo uso del programa Rstudio, en el cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

3.4.1 CONSIDERACIONES INICIALES:

Para estudiar la normalidad, si la muestra de datos viene con una con distribución normal se dispuso de 3 herramientas (Freddy Hernández & Olga Usuga. 2021):

1. HISTOGRAMA
2. GRÁFICOS CUANTIL CUANTIL (Q-Q PLOT)
3. PRUEBAS DE HIPÓTESIS O PRUEBA DE NORMALIDAD:
Hipótesis nula: $H_0: p > 0.05$ (Los datos siguen una distribución normal); $H_1: p \leq 0.05$ (Los datos no siguen una distribución normal).

3.4.2 HISTOGRAMA:

Al construir un histograma para las variables de interés se puede evaluar visualmente simetría.

- Si se observa una clara ruptura de simetría (sesgo hacia un lado), esto indica que los datos no provienen de estadísticas normales. Por otro lado, si se observa simetría en los datos, no garantiza que la muestra aleatoria provenga de la estadística convencional (cálculo), y es necesario recopilar otras herramientas específicas para estudiar la normalidad, como los gráficos Q-Q plot y las pruebas de hipótesis (Hernández, J., F. & Correa. 2018).

3.4.3 GRÁFICOS CUANTIL CUANTIL Q-Q PLOT:

Los gráficos cuantil cuantil (QQplot) son una herramienta gráfica para comprobar si un conjunto de datos o una muestra proviene de una estadística con una determinada distribución, especialmente para

investigar la normalidad de un conjunto de datos. Si tuviera una muestra de una distribución perfectamente normal, esperaría que los puntos se alinearan perfectamente con la línea de referencia, pero las muestras utilizadas en la práctica casi nunca muestran este comportamiento, aún si fueron obtenidos de una estadística normal. En la práctica, la desviación del modelo lineal se acepta como una aceptación de que los datos provienen de estadísticas convencionales normal (Freddy Hernández & Olga Usuga. 2021).

3.4.4. PRUEBAS DE HIPÓTESIS

(Freddy Hernández & Olga Usuga. 2021): Una forma menos subjetiva de explorar la normalidad de un conjunto de datos es por medio de las pruebas de normalidad. Las hipótesis para este tipo de pruebas son:

***H₀**: La muestra proviene de una población normal.

***H_A**: La muestra NO proviene de una población normal.

En la literatura estadística se reportan varias pruebas, pero en este caso se trabajó con la Prueba Shapiro-Wilk con la función `shapiro.test`, para la prueba de hipótesis o también llamada prueba de normalidad y poder evaluar el p-value.

Tabla 4

Regla para la interpretación de los P

Valor P	Criterio de análisis del valor P
$0,1 < P < 1,0$	Débil evidencia contra la hipótesis nula.
$0,01 < P < 0,01$	A medida que P disminuye aumenta la evidencia contra la hipótesis nula.
$0,001 < P < 0,01$	A medida que P disminuye hay fuerte evidencia contra la hipótesis nula.
$0,0001 < P < 0,001$	A medida que P disminuye hay fuerte evidencia contra la hipótesis nula.

Nota: Esta tabla muestra la interpretación, respecto al valor del p-value

- Para la evaluación de los resultados obtenidos de la caracterización morfométrica, para la parte baja de la cuenca se realizó mediante el

método de regresión y correlación lineal, teniendo en cuenta lo siguiente:

REGRESIÓN Y CORRELACIÓN LINEAL

Rubén Crespo (Mayo, 2013): El propósito de la regresión es determinar la función matemática que mejor se ajusta a los datos observados. Cuando la relación entre dos variables se hace por ajuste directo, se le llama regresión lineal simple, y la forma más común e ideal de representarla es en diagramas de dispersión.

3.4.5. La covarianza

Rubén Crespo (Mayo, 2013): En una distribución bivariada, tenemos una medida de varianza que considera dos variables simultáneamente. Para ello se debe utilizar la covarianza, que es el resultado de las diferencias de x e y a sus medias.

$$\text{Covarianza}$$
$$\text{Cov}(x, y) = S_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot \sum(y_i - \bar{y})}{n}$$

3.4.6. Interpretación de la Covarianza

El valor de covarianza indica la presencia (o ausencia) de dependencia lineal entre variables. Si no existe una relación lineal entre las dos variables, la covarianza será igual a:

- Si $S_{xy} = 0$: **No hay relación** lineal entre ambas variables.
- Si $S_{xy} \neq 0$: **Hay relación**. Mayor cuanto mayor sea la covarianza S_{xy}
- Si $S_{xy} > 0$ la relación de dependencia lineal es **positiva**. Para grandes valores de X se obtienen grandes valores de Y
- Si $S_{xy} < 0$ la relación de dependencia lineal es **negativa**. Para grandes valores de X se obtienen pequeños valores de Y .

3.4.7. Fórmulas de ajuste de la recta de regresión

Los parámetros de la recta de regresión se ajustan por el método de los mínimos cuadrados.

Covarianza

$$S_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot \sum(y_i - \bar{y})}{n} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y}$$

Varianza de X

$$S_x^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}$$

3.4.8. Coeficiente de correlación de Pearson r

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot \sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

$$r = \frac{\sum Z_x Z_y}{n}$$

$$Z_x = \frac{x - \bar{x}}{S_x} ; \quad Z_y = \frac{y - \bar{y}}{S_y}$$

Interpretación del valor de r:

El valor de r varía entre -1 y +1

- Si $r=0$: No hay correlación. Las rectas de regresión son paralelas a los ejes,
- Si $r > 0$: Hay correlación positiva. Al aumentar una variable la otra también aumenta. La recta de regresión tiene pendiente positiva.
- Si $r < 0$: Hay correlación negativa. Al aumentar una variable, la otra disminuye. La recta de regresión tiene pendiente negativa.
- Si $r=1$ o $r=-1$: Todos los puntos están contenidos en la recta de regresión.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

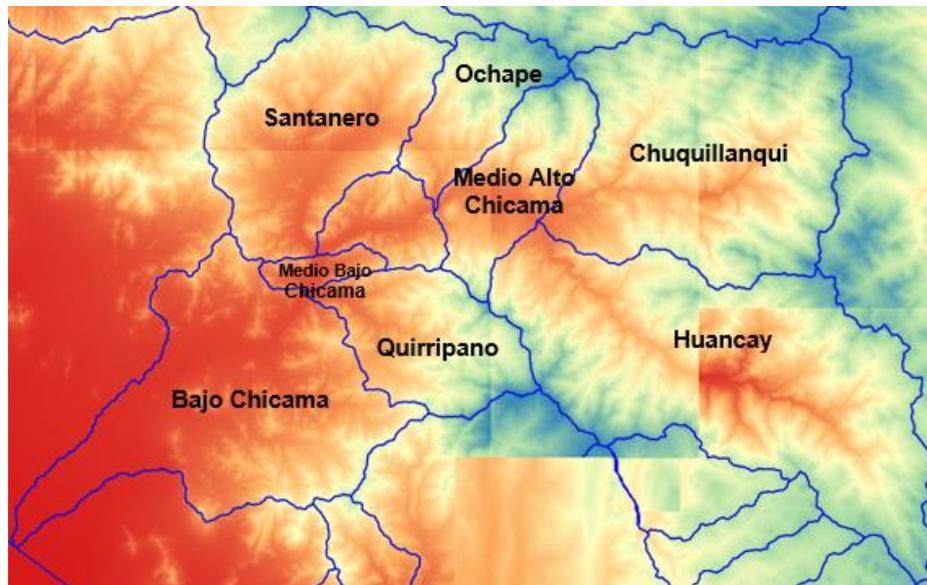
La investigación se realizó en las subcuencas: Chuquillanqui, Huancay, Ochape, Medio Alto Chicama, Santanero, Medio Chicama, Quirripango, Medio Bajo Chicama y Bajo Chicama, que pertenecen a la cuenca hidrográfica del río Chicama, la forma en la que se trabajó la presente tesis fue realizando la delimitación, caracterización morfométrica y red de drenaje en cada subcuenca, el proceso de delimitación de cada subcuenca y obtención de resultados es el mismo para todo, lo único

que varía es en el uso de las imágenes satelitales. A continuación se detallan los pasos:

- 1) Descarga las imágenes satelitales DEM del área de estudio. Se debe asegurar que los mosaicos cubran el área que se desea estudiar, es recomendable tomar un área más grande para evitar efectos de límite, luego en el programa Qgis se puede hacer un recorte.
- 2) Las coordenadas en algunos casos están en un sistema de coordenadas diferente al que se desea. Se tiene que volver a proyectar la capa DEM a la proyección que se desea usar en el área que se trabajará.
- 3) Se corrige el DEM, llenando los sumideros. Para obtener un DEM hidrológicamente correcto.
- 4) Se calcula en el programa Qgis la dirección de flujo acumulado (mapa flujo).
- 5) Se calcula en el programa Qgis el mapa de direcciones de drenaje.
- 6) Se calcula en el programa Qgis. el mapa de pendiente.
- 7) Luego para la delimitación de la cuenca se tiene que conocer las coordenadas, con la herramienta: r.water.outlet (salida de cuenca). Es muy importante al momento de delimitar una cuenca que el punto de cierre se de click sobre una quebrada. Seguidamente obtendremos nuestro polígono de la cuenca.
- 8) Para los cálculos es deseable tener los archivos en formato vectorial con la herramienta: r.to.vect.
- 9) Se convierte los ríos y drenajes a quebradas, que luego aparecerán sobre nuestra cuenca.
- 10) Finalmente obtenemos las características de morfométricas de la cuenca.

3.5.1 DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES: Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem, se detalla el proceso de descarga a continuación:

Figura 12
Subcuencas de estudio.

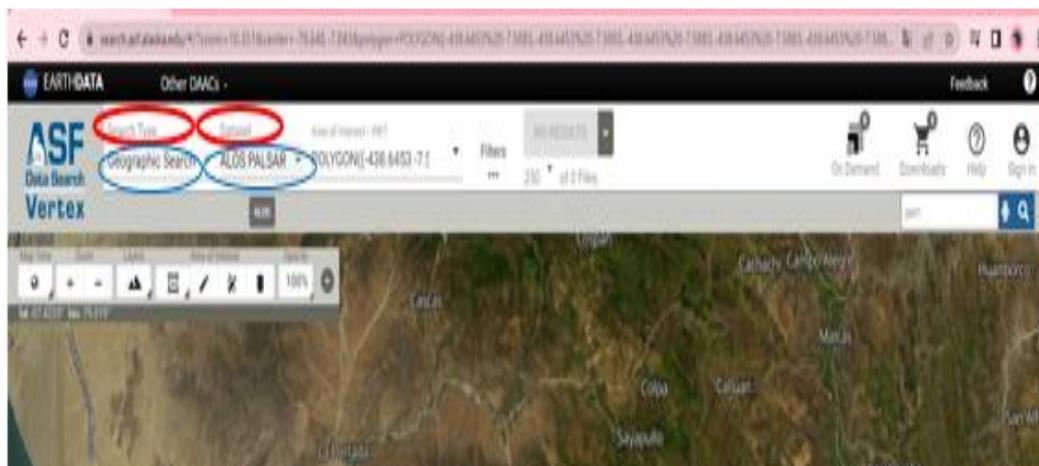


3.5.2 Descarga de Imágenes Satelitales – Alos Palsar DEM

Paso 1:

Figura 13

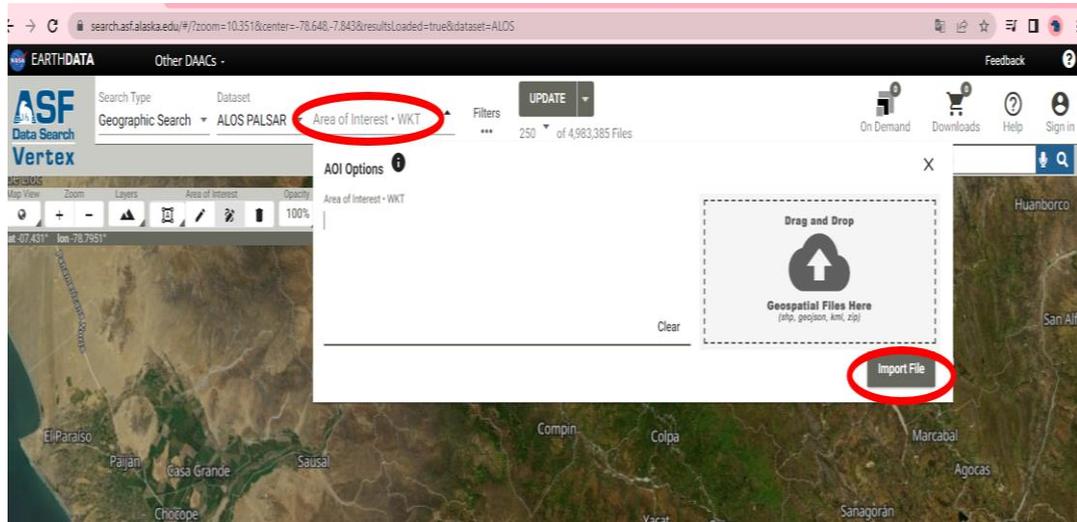
Descarga de imágenes satelitales – Alos Palsar. Se configura los filtros para descargar las imágenes: En Search Type se selecciona – Geographic. En Data sents - se selecciona Alos Palsar.



Paso 2:

Figura 14

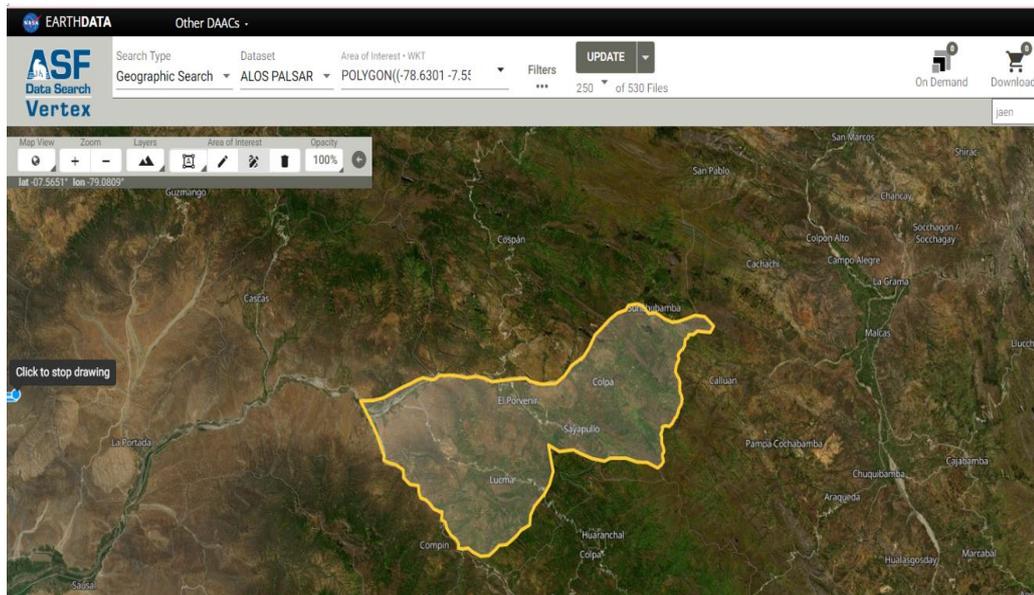
Luego en Area of Interest se hace click en Import File se busca el polígono del área de interés en formato KML.



Paso 3:

Figura 15

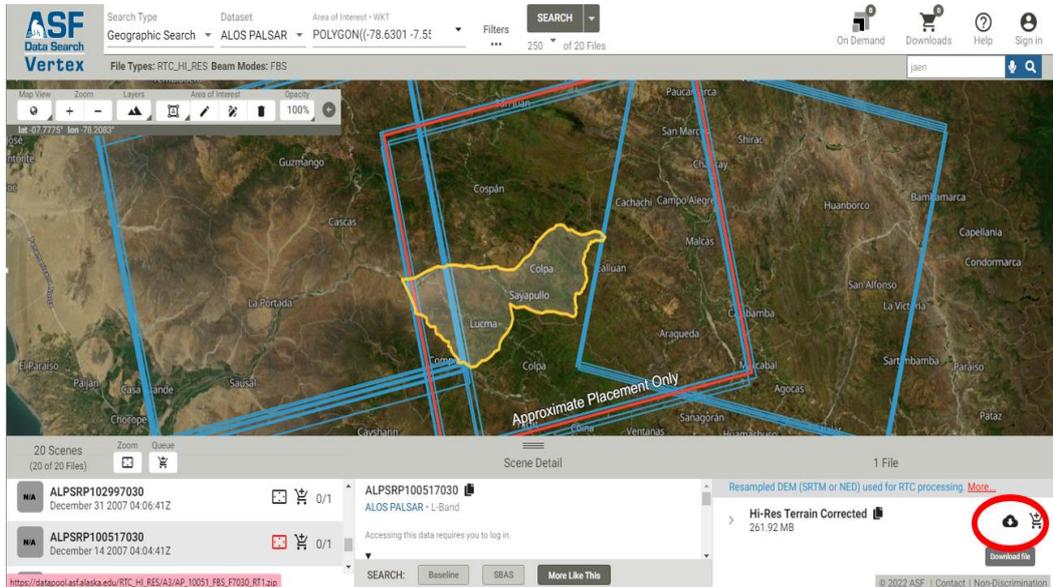
Se observa el área que se desea trabajar – Chuquillanqui.



Paso 4:

Figura 16

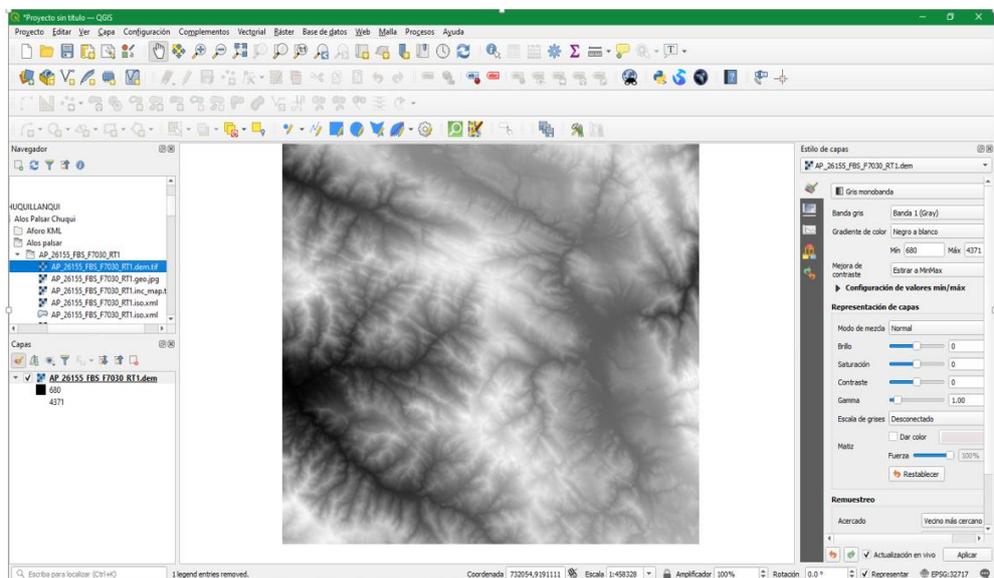
Luego se selecciona el o los empalmes en el que se encuentre el área que se va a trabajar, finalmente se da click en download file.



Paso 5:

Figura 17

En el navegador de Qgis buscamos la imagen ALOS PALSAR DEM que se a descargado anteriormente desde la página ASF DATA SEARCH, lo abrimos y a continuación se muestra la imagen lista para trabajarla.

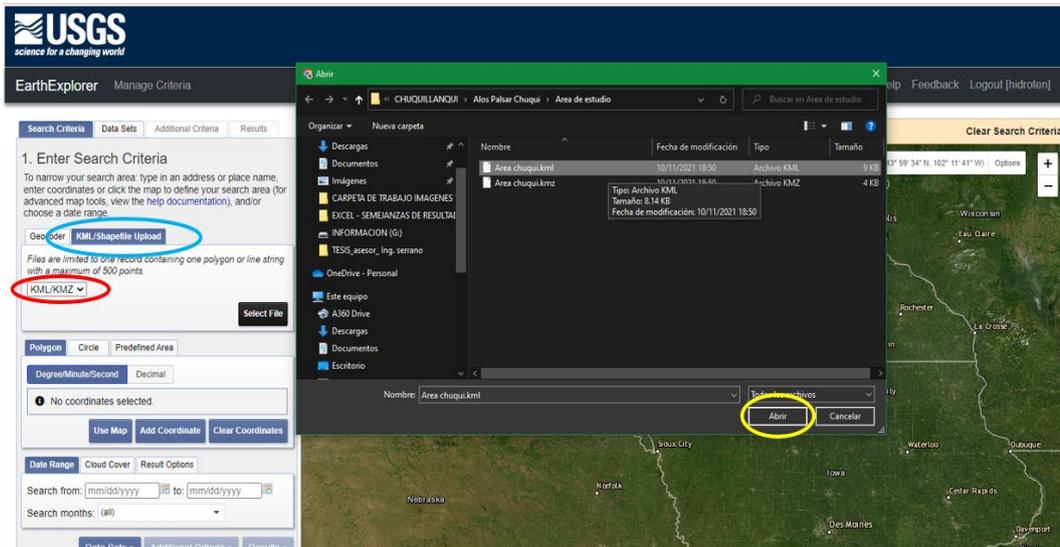


3.5.3 PASOS PARA DESCARGAR IMÁGENES SATELITALES – SRTM DEM:

Paso 1:

Figura 18

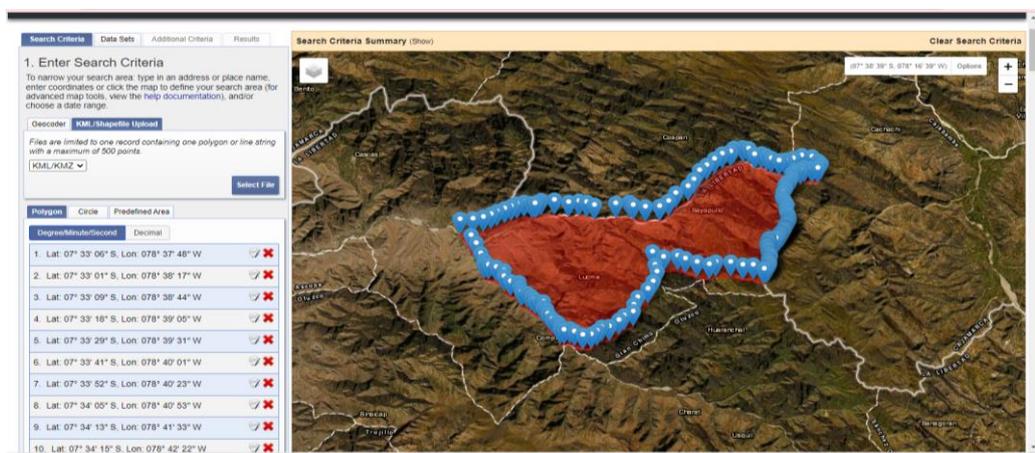
Se observa una opción en KML (en círculo celeste) / Shape file. En este caso elegimos el mismo archivo KML o KMZ (en círculo rojo), luego se da click en abrir (en círculo amarillo).



Paso 2:

Figura 19

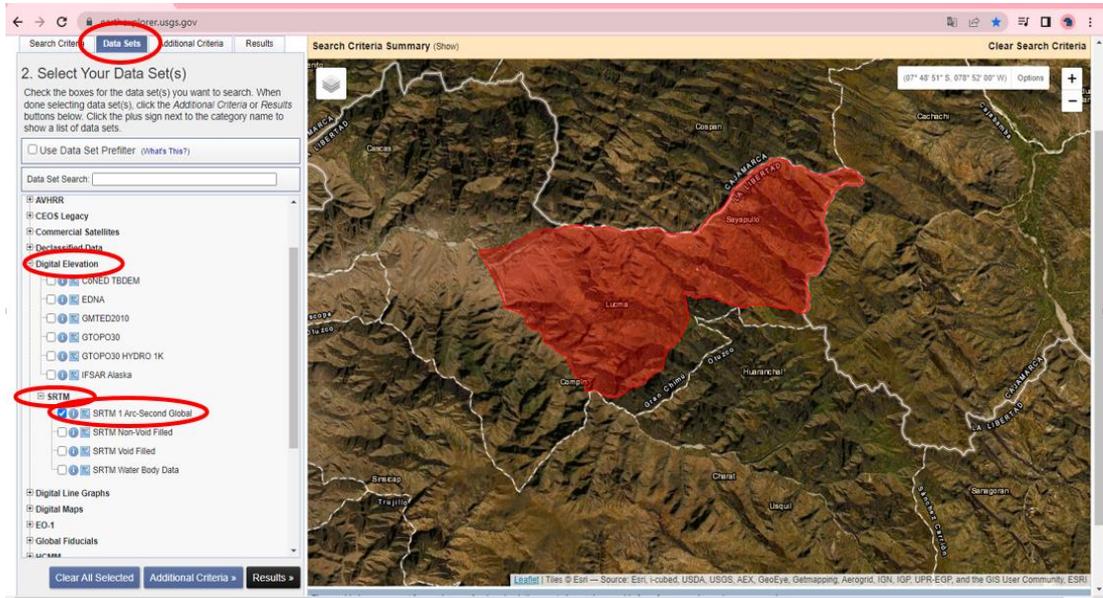
Se puede observar que automáticamente se a generado los puntos y el área de estudio.



Paso 3:

Figura 20

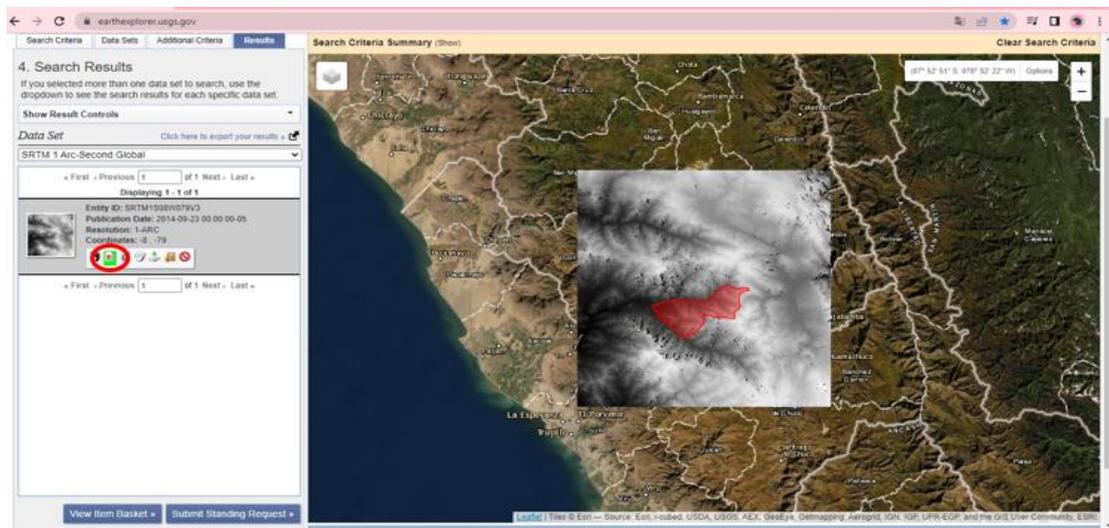
Luego se hace click en Data Sets – Digital elevation – SRTM – Srtm 1 Arc-Second Global, que viene a ser la imagen de 30x30, finalmente click en results.



Paso 4:

Figura 21

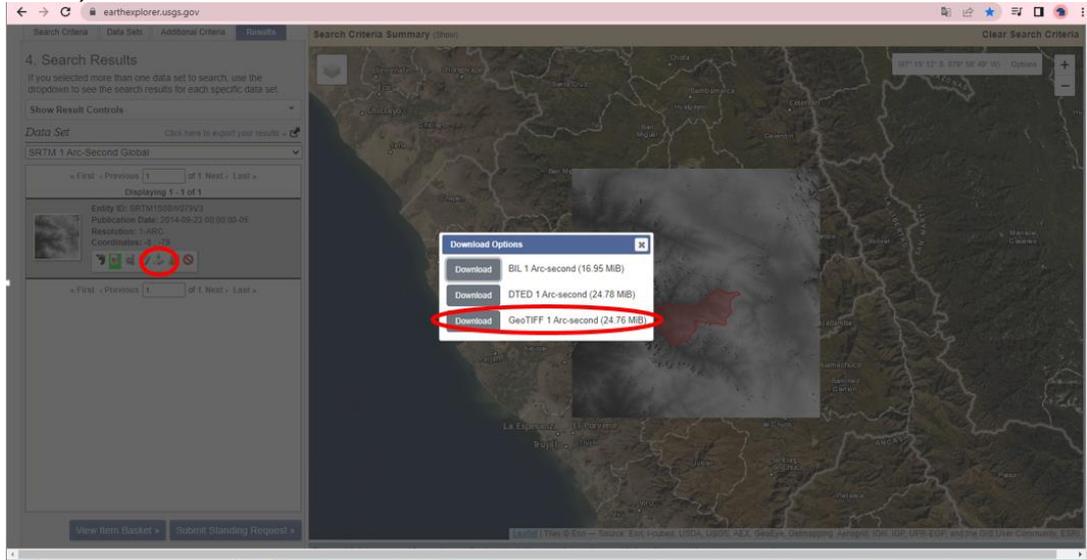
En la ventana del lado izquierda de la página se observa una imagen pequeña, para que se visualice la imagen se da click en Show Browse Overlay.



Paso 5:

Figura 22

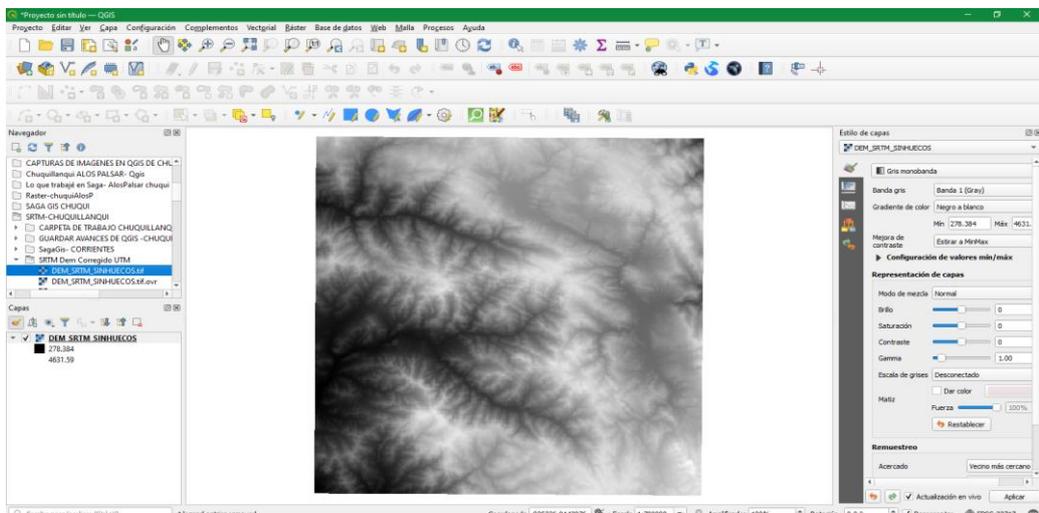
Para descargar la imagen, se da click en *Download Options* y aparecerán 3 opciones, se hace click en *Download (GeoTIFF 1 Arc-second 24.76 MiB)*.



Paso 6:

Figura 23

En el navegador de Qgis buscamos la imagen SRTM DEM que se a descargado anteriormente desde la página Earthexplorer, lo abrimos y a continuación se muestra la imagen lista para trabajarla.

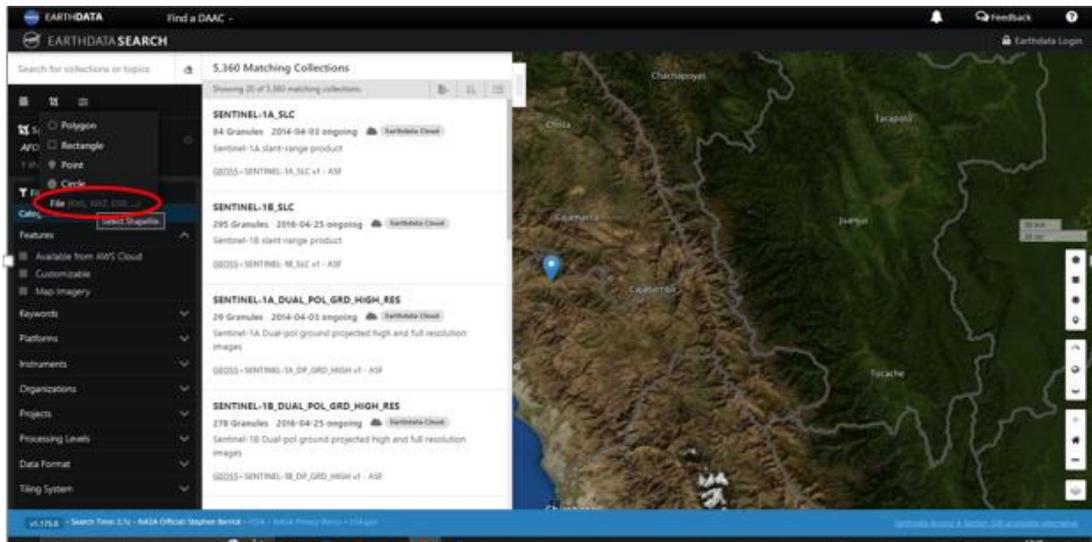


3.5.4 PASOS PARA DESCARGAR IMÁGENES SATELITALES – Aster DEM:

Paso 1

Figura 24

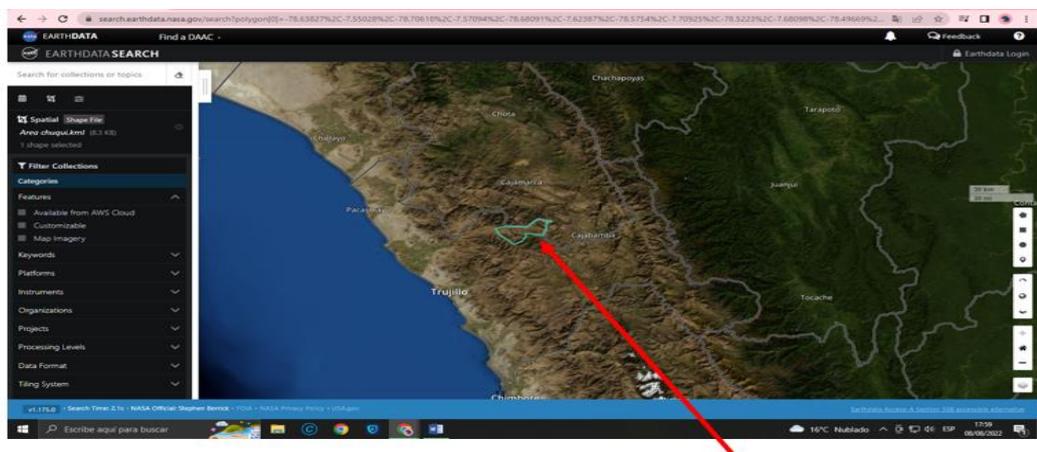
Aquí es donde se descargan las imágenes Aster global. Primero se tiene que dar el área de interés en este caso mediante google earth, luego mediante un archivo, se hace click en file.



Paso 2:

Figura 25

Como ya se tiene el área de estudio y se sabe dónde está ubicado, luego se le da la configuración para descargar las imágenes Aster.

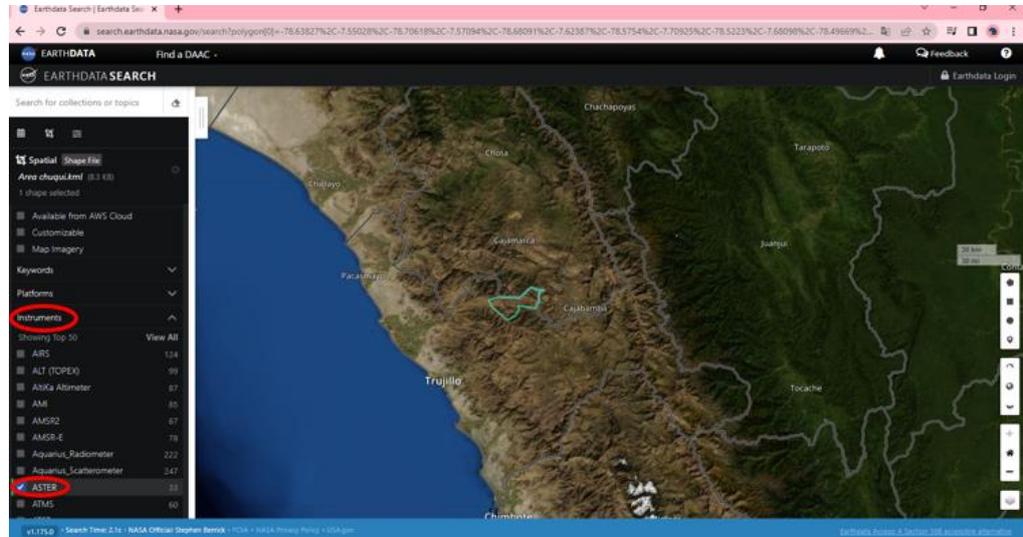


Fuente: Elaboración propia

Paso 3:

Figura 26

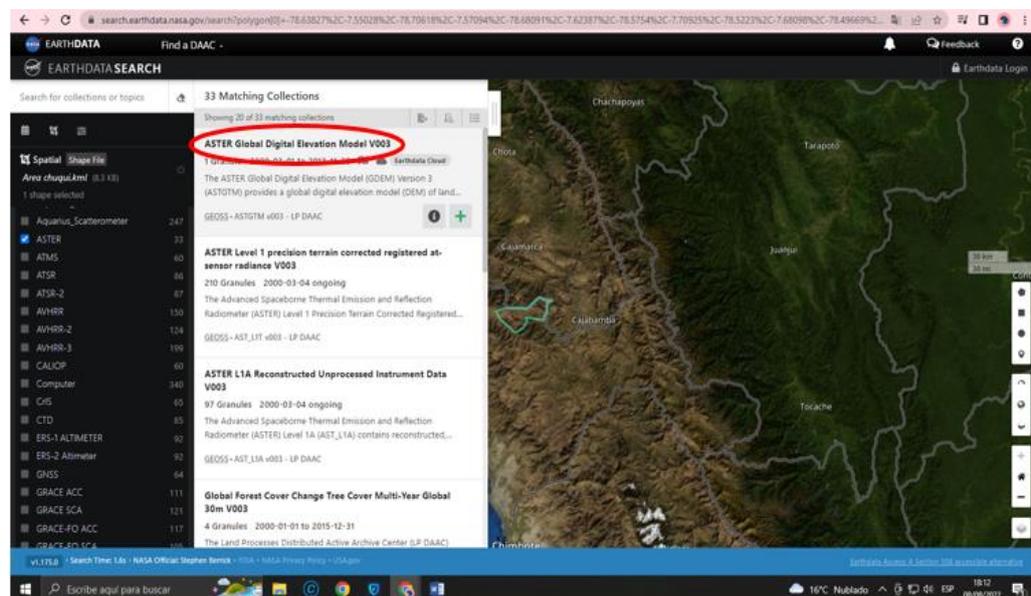
Luego se hace click en instruments, luego seleccionamos ASTER.



Paso 4:

Figura 27

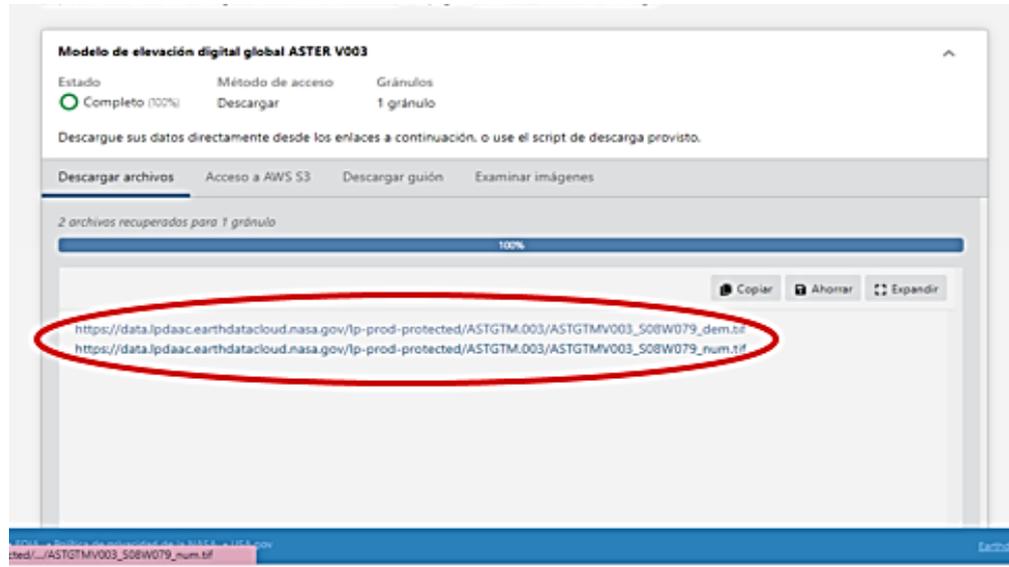
En la ventana “33 Matching Collections” seleccionamos: ASTER Global Digital Elevation Model V003.



Paso 5:

Figura 28

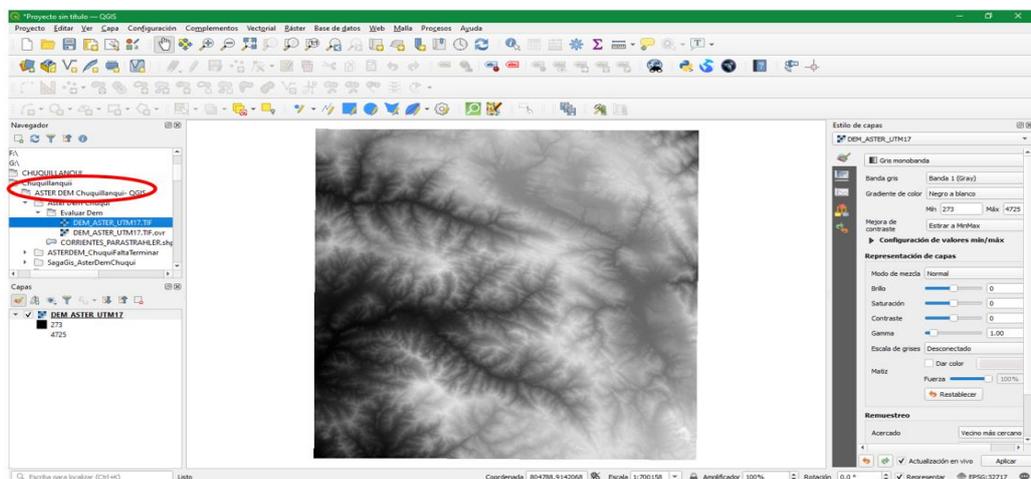
Luego se abre la siguiente ventana y habrá 2 links, quiere decir que el área de estudio está en dos empalmes, por lo tanto se tiene que descargar las 2 imágenes dando click en los links y se descargará el archivo.



Paso 6:

Figura 29

En el navegador de Qgis buscamos la imagen ASTER DEM que se a descargado anteriormente desde la página Earthdata, lo abrimos y a continuación se muestra la imagen lista para trabajarla.



3.5.5 PROCESAMIENTO DE DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS

Figura 30

Se aprecia la cartografía de la unidad hidrográfica de la cuenca del río Chicama, (de contorno verde) y la subcuenca Chuquillanqui con su río principal y red de drenaje.

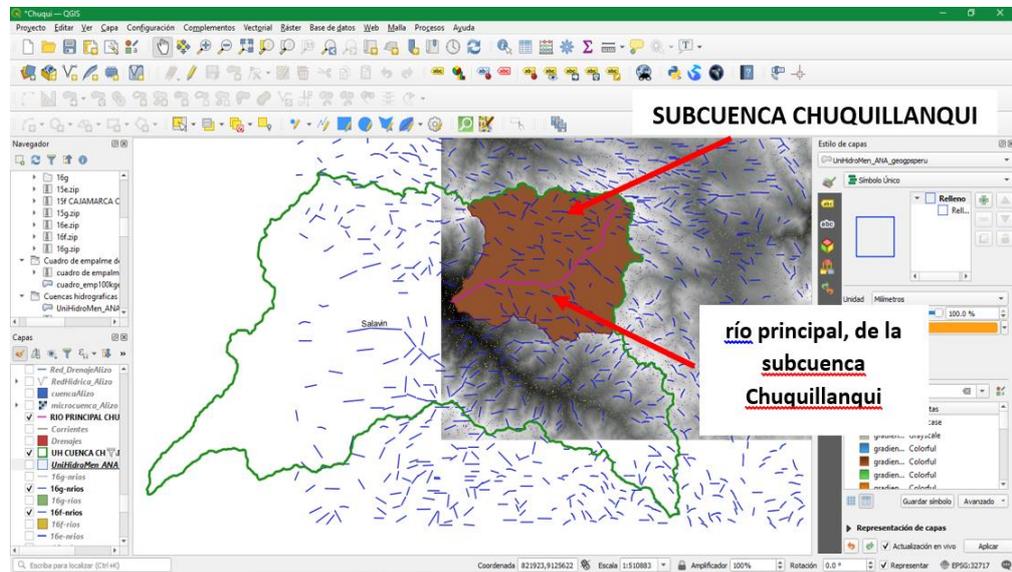


Figura 31

Claramente se visualiza el DEM SRTM de la subcuenca Quirripango con sumideros y picos, sin corregir.

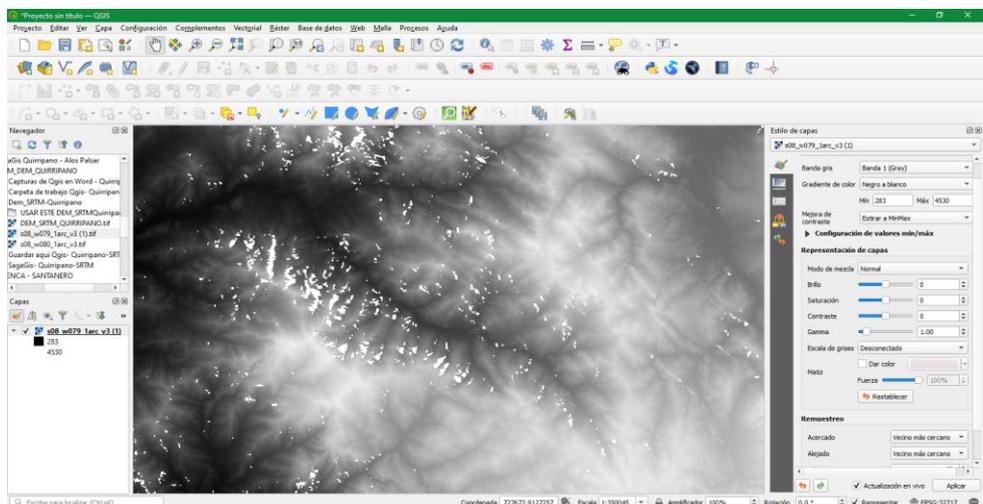


Figura 32

Se visualiza el DEM corregido de la subcuenca Quirripano.

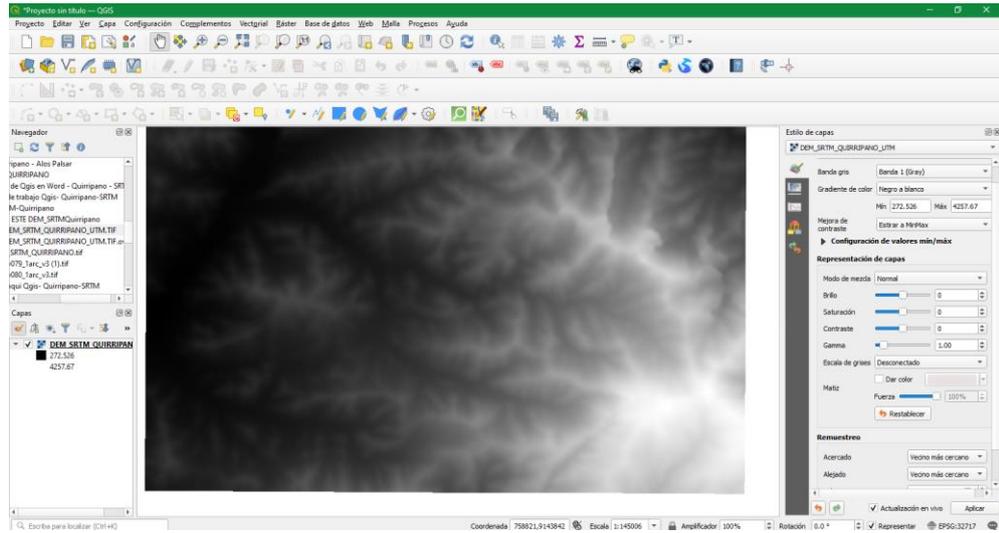


Figura 33

Mapa de direcciones de drenaje de la subcuenca Quirripano.

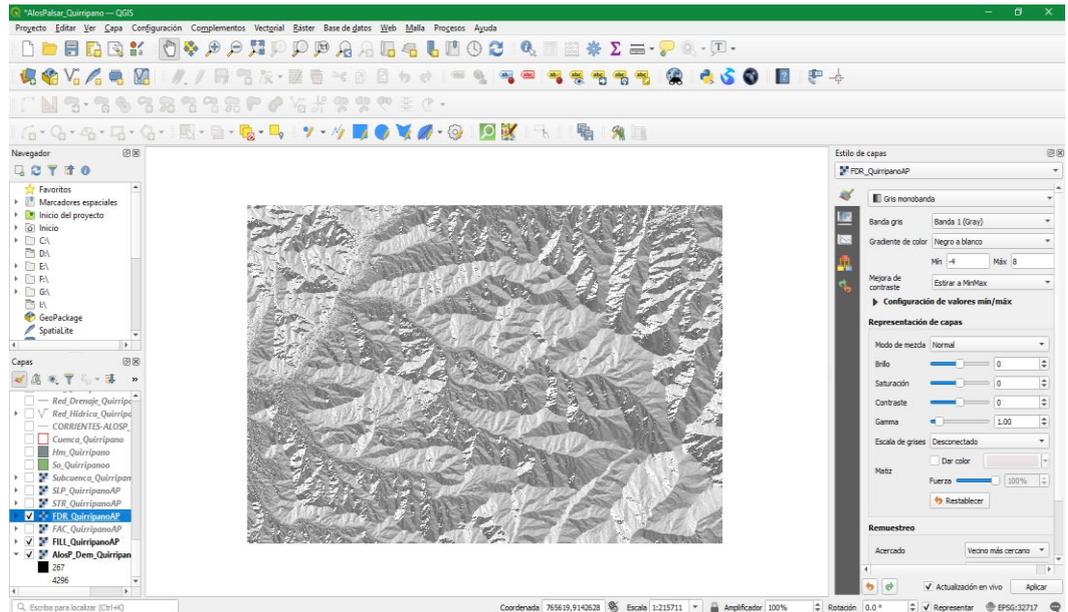


Figura 34

Mapa de pendiente de la Subcuenca Quirripano.

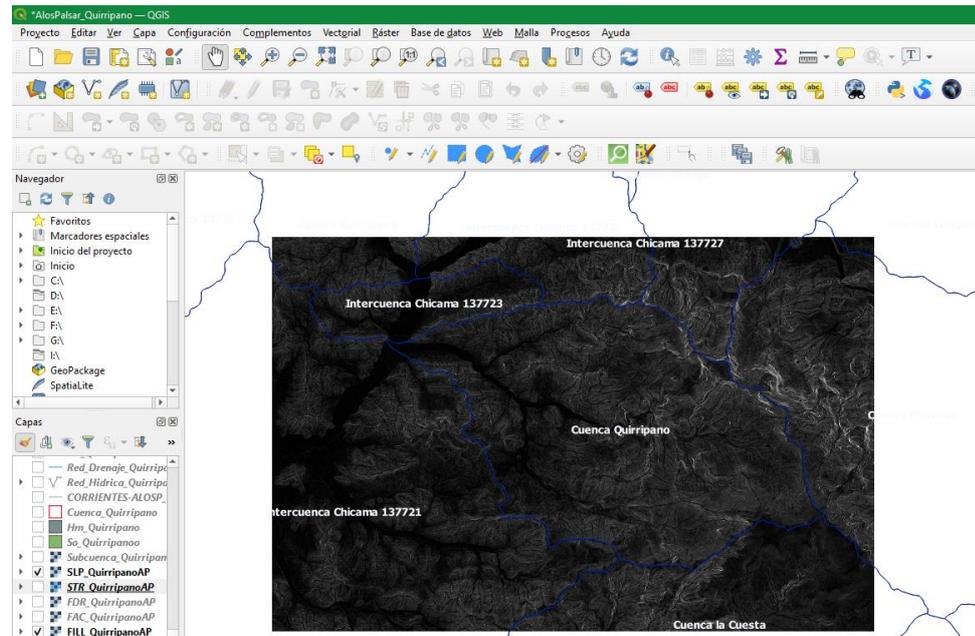
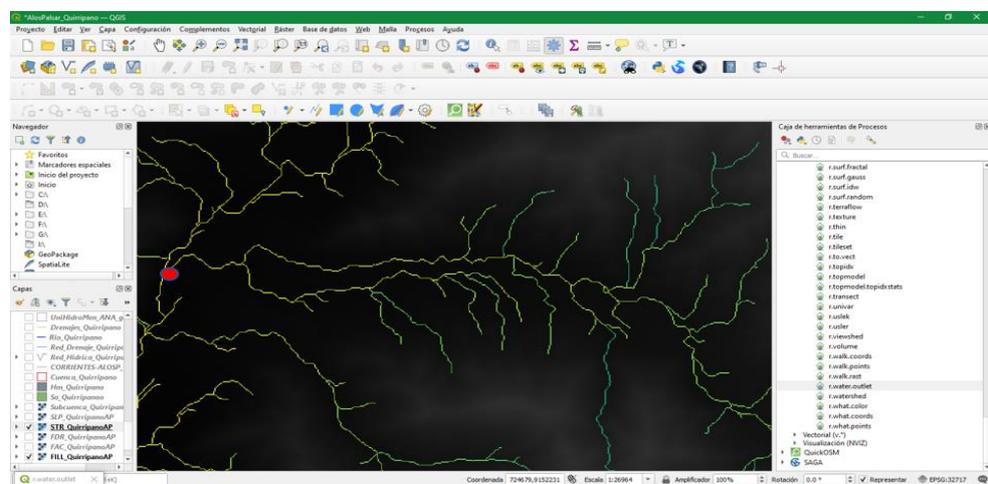


Figura 35

Se clickea sobre una quebrada el punto de cierre para cada subcuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Se muestra el polígono de la subcuenca Quirripano.

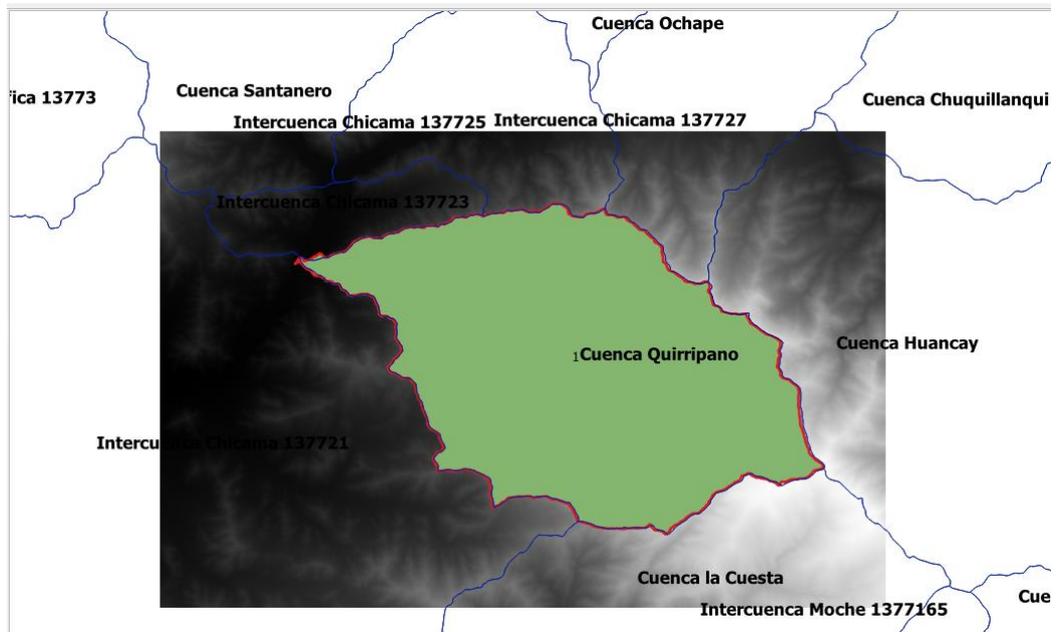


Figura 37

Se observa la subcuenca Quirripano, red de drenaje y río principal.

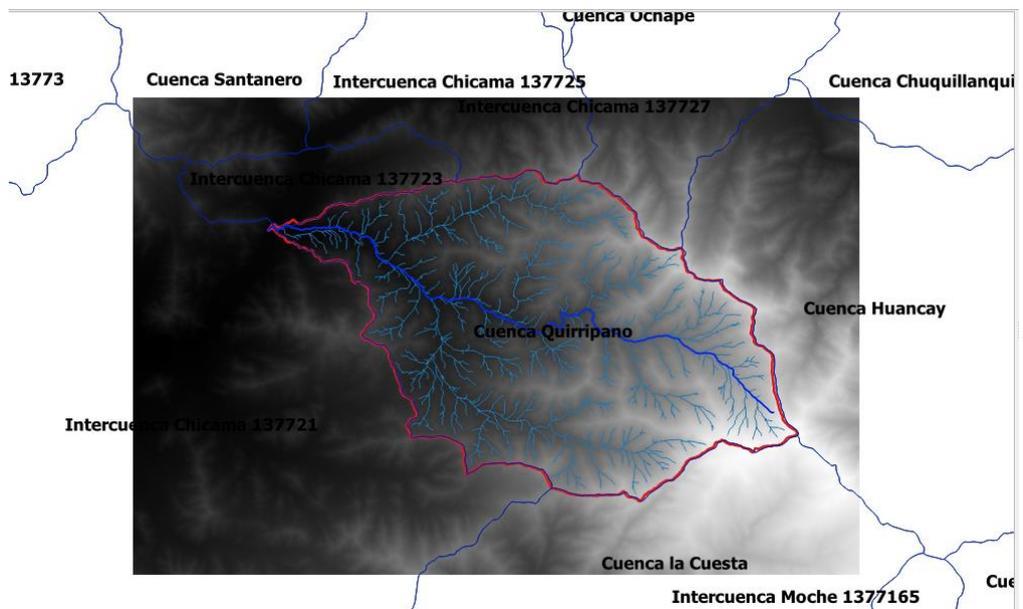
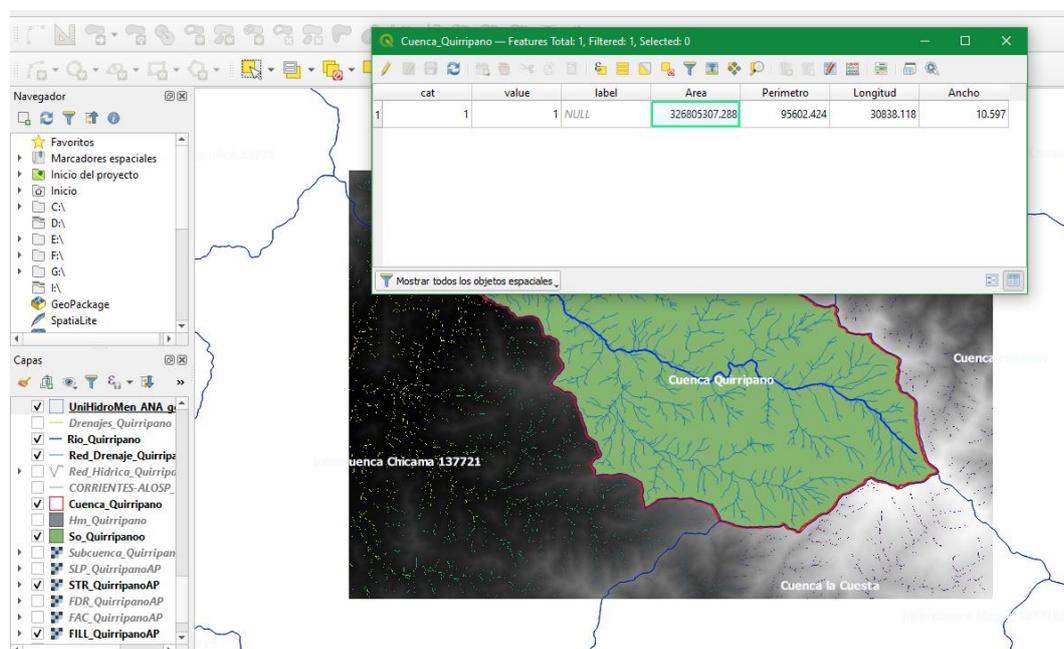


Figura 40

Se hace click derecho sobre la capa raster subcuenca Quirripano- se selecciona la tabla de atributos y obtenemos: área, perímetro, longitud y ancho de la subcuenca Quirripano, las otras características son cálculos en gabinete.



3.5.6 CÁLCULOS DE LA CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CHICAMA

Finalmente se realizan los cálculos de caracterización morfométrica para cada subcuenca llevando un orden primero usando Alos Palsar, luego Aster Dem y por último Srtm Dem. Las características morfométricas: H. mínima (cota mínima), H. máxima (cota máxima), área, longitud, ancho y perímetro se calcularon en el mismo programa a través de la calculadora de campos, luego se hace click derecho sobre la cuenca delimitada y se abre la ventana de atributos en el cual se mostrarán dichos datos calculados.

Las demás características morfométricas, se calcularon en gabinete a través de fórmulas, llevando un orden y control mediante un cuadro de excel, con una lista de los parámetros que se va a calcular.

Tabla 5

Características morfométricas de la Subcuenca Chuquillanqui.

SUBCUENCA CHUQUILLANQUI				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	913.001	
	Perímetro	(Km)	165.098	
	Longitud	(Km)	42.438	
	Ancho	(Km)	21.514	
	Pendiente media	(%)	52.34%	
	Cota máxima	(msnm)	4305	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	719	
	Elevación media	(msnm)	2539	
	Desnivel altitudinal	(m)	3586	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	54.857	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	55.519	
	Cota mayor	(msnm)	3840	
	Cota menor	(msnm)	719	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	6.54	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	0.93	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.06	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	4.14	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	4.30	
	Orden de Strahler	orden 1		489
		orden 2		215
		orden 3		163
		orden 4		34
		orden 5		58
		orden 6		18
Nº Total de ríos	-		977	
Grado de ramificación	-		6	
Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	<input type="button" value="▼"/>	Suma de Km	
	1		405.826	
	2		213.115	
	3		143.941	
	4		31.888	
	5		38.938	
	6		10.988	
Longitud total de drenajes	km		844.696	
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.30	
	Coefficiente de compacidad	Kc	1.54	
	Coefficiente de circularidad	Cc	0.42	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	754344.7	
	Coordenada Y	(m)	9160823.5	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 6

Características morfométricas de la Subcuenca Huancay.

SUBCUENCA HUANCAY				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	1182.324	
	Perímetro	(Km)	219.794	
	Longitud	(Km)	64.993	
	Ancho	(Km)	18.191	
	Pendiente media	(%)	52.03%	
	Cota máxima	(msnm)	4317	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	716	
	Elevación media	(msnm)	2637	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Desnivel altitudinal	(m)	3601	
	Longitud	(Km)	82.679	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	82.943	
	Cota mayor	(msnm)	4079	
	Cota menor	(msnm)	716	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	4	
	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.02	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.04	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	6.64	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Tiempo de concentración (horas)	Tc	6.84	
	Orden de Strahler	orden 1		2850
		orden 2		1301
		orden 3		687
		orden 4		493
		orden 5		147
		orden 6		201
	N° Total de ríos	-		5679
	Grado de ramificación	-		6
	Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	Suma de Km	
1			1233.888	
2			578.937	
3			273.653	
4			189.093	
5			49.125	
6			61.453	
Longitud total de drenajes	Total general		2386.149	
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.17	
	Coeficiente de compacidad	Kc	1.80	
	Coeficiente de circularidad	Cc	0.31	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	754271.9	
	Coordenada Y	(m)	9160761.6	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 7

Características Morfométricas de la Subcuenca Ochape.

SUBCUENCA OCHAPE				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	215.767	
	Perímetro	(Km)	84.519	
	Longitud	(Km)	24.174	
	Ancho	(Km)	8.926	
	Pendiente media	(%)	51.76%	
	Cota máxima	(msnm)	4323	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	544	
	Elevación media	(msnm)	2328	
	Desnivel altitudinal	(m)	3779	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	31.271	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	55.446	
	Cota mayor	(msnm)	3418	
	Cota menor	(msnm)	544	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	12.08	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	1.96	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.09	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	2.12	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	3.67	
	Orden de Strahler	orden 1		472
		orden 2		209
		orden 3		94
		orden 4		99
		orden 5		67
	N° Total de ríos	-		941
	Grado de ramificación	-		5
Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	Suma de Km		
	1		213.642	
	2		108.99	
	3		42.596	
	4		34.658	
	5		23.611	
Longitud total de drenajes	Total general		423.497	
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.07	
	Coefficiente de compacidad	Kc	1.62	
	Coefficiente de circularidad	Cc	0.38	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	741299.6	
	Coordenada Y	(m)	9162106	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 8

Características Morfométricas de la Subcuenca Medio Alto Chicama.

SUBCUENCA MEDIA ALTA CHICAMA				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	270.376	
	Perímetro	(Km)	81.084	
	Longitud	(Km)	12.755	
	Ancho	(Km)	21.198	
	Pendiente media	(%)	52.47%	
	Cota máxima	(msnm)	4313	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	541	
	Elevación media	(msnm)	1707	
	Desnivel altitudinal	(m)	3772	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	18.695	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	18.695	
	Cota mayor	(msnm)	716	
	Cota menor	(msnm)	549	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	20	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.09	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.01	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	1.17	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	3.70	
	Orden de Strahler	orden 1		619
		orden 2		284
		orden 3		115
		orden 4		138
		orden 5		7
	N° Total de ríos	-		1163
Grado de ramificación	-		5	
Orden de ramificación (longitud total)		ORDEN	Suma de Km	
		1	291.77	
		2	141.333	
		3	53.207	
		4	57.433	
		5	3.053	
Longitud total de drenajes	6	18.258		
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Total general	565.054	
	Coeficiente de compacidad	Kc	1.39	
	Coeficiente de circularidad	Cc	0.52	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	741454.3	
	Coordenada Y	(m)	9162106.5	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 9

Características Morfométricas de la Subcuenca Santanero.

SUBCUENCA SANTANERO				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	563.338	
	Perímetro	(Km)	122.852	
	Longitud	(Km)	39.213	
	Ancho	(Km)	14.366	
	Pendiente media	(%)	44.02%	
	Cota máxima	(msnm)	3731	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	389	
	Elevación media	(msnm)	1394	
	Desnivel altitudinal	(m)	3342	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	40.256	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	40.800	
	Cota mayor	(msnm)	2483	
	Cota menor	(msnm)	389	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	8	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.19	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.05	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	2.98	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	3.64	
	Orden de Strahler	orden 1		1402
		orden 2		691
		orden 3		331
		orden 4		172
		orden 5		110
		orden 6		42
orden 7			45	
Nº Total de ríos	-		2793	
Grado de ramificación	-		7	
Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	Suma de Km		
	1		594.455	
	2		335.791	
	3		146.168	
	4		79.16	
	5		45.174	
	6		17.088	
	7		13.296	
Longitud total de drenajes	Total general	1231.132		
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.34	
	Coeficiente de compacidad	Kc	1.46	
	Coeficiente de circularidad	Cc	0.47	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	727074.3	
	Coordenada Y	(m)	9156544.6	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 10

Características Morfométricas de la Subcuenca Media Chicama.

SUBCUENCA MEDIA CHICAMA				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	135.012	
	Perímetro	(Km)	53.961	
	Longitud	(Km)	15.134	
	Ancho	(Km)	8.921	
	Pendiente media	(%)	45.11%	
	Cota máxima	(msnm)	2452	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	389	
	Elevación media	(msnm)	892	
	Desnivel altitudinal	(m)	2063	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	20.035	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	20.035	
	Cota mayor	(msnm)	544	
	Cota menor	(msnm)	390	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	10	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.14	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.01	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	1.60	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	3.91	
	Orden de Strahler	orden 1		333
		orden 2		172
		orden 3		78
		orden 4		18
		orden 5		0
		orden 6		65
N° Total de ríos	-		666	
Grado de ramificación	-		6	
	Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN ▾	Suma de Km	
		1	136.949	
		2	84.686	
		3	36.765	
		4	10.666	
		6	19.819	
		Total general	288.885	
Longitud total de drenajes				
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.34	
	Coefficiente de compacidad	Kc	1.31	
	Coefficiente de circularidad	Cc	0.58	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	727162	
	Coordenada Y	(m)	9156581.5	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 11

Características Morfométricas de la Subcuenca Quirripano.

SUBCUENCA QUIRRIPANO				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	326.805	
	Perímetro	(Km)	95.602	
	Longitud	(Km)	30.838	
	Ancho	(Km)	10.597	
	Pendiente media	(%)	53.12%	
	Cota máxima	(msnm)	4310	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	350	
	Elevación media	(msnm)	1763	
	Desnivel altitudinal	(m)	3960	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	39.780	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	40.217	
	Cota mayor	(msnm)	3594	
	Cota menor	(msnm)	355	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	10	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	1.89	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.08	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	2.75	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	3.00	
	Orden de Strahler	orden 1		698
		orden 2		339
		orden 3		167
		orden 4		104
		orden 5		51
		orden 6		33
Nº Total de ríos	-		1392	
Grado de ramificación	-		6	
Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	Suma de Km		
	1		304.48	
	2		170.388	
	3		68.84	
	4		41.037	
	5		20.308	
	6		13.237	
Longitud total de drenajes	Total general		618.29	
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.20	
	Coeficiente de compacidad	Kc	1.49	
	Coeficiente de circularidad	Cc	0.45	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	724686.83	
	Coordenada Y	(m)	9152231.66	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 12

Características Morfométricas de la Subcuenca Medio Bajo Chicama.

SUBCUENCA MEDIO BAJO CHICAMA				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	51.735	
	Perímetro	(Km)	39.022	
	Longitud	(Km)	4.339	
	Ancho	(Km)	11.923	
	Pendiente media	(%)	36.58%	
	Cota máxima	(msnm)	1532	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	353	
	Elevación media	(msnm)	664	
	Desnivel altitudinal	(m)	1179	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	5.524	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	5.524	
	Cota mayor	(msnm)	388	
	Cota menor	(msnm)	358	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	21	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.41	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.01	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	0.45	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	1.45	
	Orden de Strahler	orden 1		138
		orden 2		62
		orden 3		57
		orden 4		5
		orden 5		0
		orden 6		2
		orden 7		19
	Nº Total de ríos	-		283
	Grado de ramificación	-		7
ÍNDICE DE FORMA	Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	Suma de Km	
		1	70.891	
		2	25.862	
		3	20.26	
		4	2.217	
		6	0.265	
		7	5.111	
		Longitud total de drenajes	Total general	124.606
Factor forma	Kf	1.70		
Coeficiente de compacidad	Kc	1.53		
Coeficiente de cicircularidad	Cc	0.43		
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	724961.8	
	Coordenada Y	(m)	9152666.2	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

Tabla 13

Características Morfométricas de la Subcuenca Bajo Chicama.

SUBCUENCA BAJO CHICAMA				
	Parámetros	Unidad	Valor	
PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA	Área	(Km ²)	857.183	
	Perímetro	(Km)	172.225	
	Longitud	(Km)	47.486	
	Ancho	(Km)	18.051	
	Pendiente media	(%)	28.73%	
	Cota máxima	(msnm)	2529	
	Cota salida (mínima)	(msnm)	14	
	Elevación media	(msnm)	621	
	Desnivel altitudinal	(m)	2515	
PROPIEDADES DEL RÍO PRINCIPAL	Longitud	(Km)	66.495	
	Longitud hasta la divisoria	(Km)	66.50	
	Cota mayor	(msnm)	360	
	Cota menor	(msnm)	15	
	Pendiente promedio de la cuenca	(%)	4	
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE	Densidad de drenaje	(Km/Km ²)	2.45	
	Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.01	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	5.93	
	Tiempo de concentración (horas)	Tc	9.84	
	Orden de Strahler	orden 1		2555
		orden 2		1168
		orden 3		627
		orden 4		354
		orden 5		179
		orden 6		33
		orden 7		174
	Nº Total de ríos	-	5090	
	Grado de ramificación	-	7	
Orden de ramificación (longitud total)	ORDEN	<input type="text" value="7"/>	Suma de Km	
	1		1050.091	
	2		514.348	
	3		257.509	
	4		136.163	
	5		63.276	
	6		15.869	
	7		63.457	
Longitud total de drenajes	Total general	2100.713		
ÍNDICE DE FORMA	Factor forma	Kf	0.19	
	Coeficiente de compacidad	Kc	1.66	
	Coeficiente de circularidad	Cc	0.36	
PUNTO DE CIERRE DE LA CUENCA	Coordenada X	(m)	689146.78	
	Coordenada Y	(m)	9121412.23	

Nota: La tabla muestra algunas características morfométricas que se han considerado para la caracterización morfométrica y red de drenaje.

- Mediante un análisis visual se escogieron 3 características morfométricas de cada subcuenca, para realizar la evaluación de los resultados. A continuación, se detalla en las tablas las características morfométricas escogidas para la evaluación de los resultados:

Tabla 14

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma datos de la subcuenca Chuquillanqui y cuencas que la componen, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	IDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Chuquillanqui	H mínima de la cuenca	719	696	703
	Densidad de drenaje	0.93	0.90	0.36
	Factor forma	0.30	0.23	0.37
Subcuenca Alizo	H mínima de la cuenca	2820	2814	2850
	Densidad de drenaje	4.05	1.05	0.10
	Factor forma	0.26	0.27	0.32
Subcuenca Agua Blanca	H mínima de la cuenca	2216	2194	2214
	Densidad de drenaje	4.94	0.90	0.30
	Factor forma	0.27	0.27	0.28
Subcuenca Sunchubamba	H mínima de la cuenca	2124	2100	2100
	Densidad de drenaje	4.86	1.06	0.24
	Factor forma	0.24	0.22	0.27
Subcuenca Casis	H mínima de la cuenca	1901	1881	1927
	Densidad de drenaje	4.36	0.86	0.04
	Factor forma	0.39	0.24	0.30
Subcuenca Colpa	H mínima de la cuenca	1424	1388	1418
	Densidad de drenaje	4.50	0.89	0.29
	Factor forma	0.29	0.27	0.33
Subcuenca Sayapullu	H mínima de la cuenca	1216	1202	1223
	Densidad de drenaje	3.97	0.75	0.44
	Factor forma	0.12	0.09	0.11
Subcuenca Higueron	H mínima de la cuenca	1120	1091	1117
	Densidad de drenaje	4.09	1.09	0.39
	Factor forma	0.19	0.18	0.21
Subcuenca Caña Brava	H mínima de la cuenca	1005	988	1022
	Densidad de drenaje	3.67	0.80	0.47
	Factor forma	0.20	0.19	0.22
Subcuenca Pinchaday	H mínima de la cuenca	821	797	811
	Densidad de drenaje	4.31	0.97	0.26
	Factor forma	0.22	0.20	0.26
Subcuenca Honda	H mínima de la cuenca	782	766	769
	Densidad de drenaje	4.23	1.09	0.09
	Factor forma	0.16	0.23	0.20
Subcuenca Del Cardonal	H mínima de la cuenca	739	705	724
	Densidad de drenaje	5.18	1.19	0.31
	Factor forma	0.21	0.21	0.22
Subcuenca Ingenio	H mínima de la cuenca	2380	2372	2403
	Densidad de drenaje	3.87	0.84	0.42
	Factor forma	0.22	0.23	0.27
Subcuenca Salagual	H mínima de la cuenca	1739	1732	1747
	Densidad de drenaje	4.47	0.93	0.38
	Factor forma	0.20	0.20	0.23
Subcuenca Peña Grande	H mínima de la cuenca	1404	1386	1391
	Densidad de drenaje	4.02	0.82	0.32
	Factor forma	0.19	0.19	0.23
Subcuenca Santa Rosa	H mínima de la cuenca	1167	1148	1185
	Densidad de drenaje	3.51	0.87	0.46
	Factor forma	0.26	0.26	0.29
Subcuenca Cospan	H mínima de la cuenca	949	933	952
	Densidad de drenaje	4.03	0.86	0.35
	Factor forma	0.23	0.24	0.28

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 15

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Huancay y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Huancay	H mínima de la cuenca	716	6.99	704
	Densidad de drenaje	2.02	0.68	0.35
	Factor forma	0.17	0.18	0.21
Subcuenca Huarichac	H mínima de la cuenca	2509	2498	2507
	Densidad de drenaje	2.29	0.64	0.40
	Factor forma	0.18	0.22	0.22
Subcuenca Rumuro	H mínima de la cuenca	2034	2018	2055
	Densidad de drenaje	2.30	0.80	0.33
	Factor forma	0.24	0.26	0.27
Subcuenca Cuyuchugo	H mínima de la cuenca	1796	1781	1842
	Densidad de drenaje	2.44	0.69	0.32
	Factor forma	0.23	0.24	0.35
Subcuenca Mash Huai	H mínima de la cuenca	1607	1587	1633
	Densidad de drenaje	1.71	0.49	0.34
	Factor forma	0.19	0.21	0.20
Subcuenca Charat	H mínima de la cuenca	1397	1392	1411
	Densidad de drenaje	2.01	0.64	0.34
	Factor forma	0.21	0.22	0.26
Subcuenca Compín	H mínima de la cuenca	1050	1034	1075
	Densidad de drenaje	1.73	0.55	0.43
	Factor forma	0.19	0.19	0.21
Subcuenca Chacomás	H mínima de la cuenca	2223	2222	2242
	Densidad de drenaje	2.20	0.68	0.38
	Factor forma	0.30	0.35	0.41
Subcuenca Huamanchal	H mínima de la cuenca	1835	1819	1832
	Densidad de drenaje	2.24	0.78	0.37
	Factor forma	0.38	0.44	0.43
Subcuenca Parangaran	H mínima de la cuenca	1554	1547	1609
	Densidad de drenaje	2.12	0.76	0.32
	Factor forma	0.16	0.17	0.23
Subcuenca Huaranchal	H mínima de la cuenca	1371	1343	1368
	Densidad de drenaje	2.01	0.75	0.37
	Factor forma	0.35	0.38	0.43
Subcuenca Lucma	H mínima de la cuenca	1.004	984	1007
	Densidad de drenaje	2.00	0.62	0.29
	Factor forma	0.18	0.19	0.20

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 16

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Ochape y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Ochape	H mínima de la cuenca	544	528	540
	Densidad de drenaje	1.96	0.93	0.39
	Factor forma	0.07	0.21	0.26
Subcuenca Coan	H mínima de la cuenca	2586	2560	2628
	Densidad de drenaje	2.04	0.95	0.44
	Factor forma	0.35	0.36	0.40
Subcuenca La Cárcel	H mínima de la cuenca	2165	2145	2221
	Densidad de drenaje	1.46	0.79	0.43
	Factor forma	0.25	0.23	0.29
Subcuenca Higuero	H mínima de la cuenca	932	924	946
	Densidad de drenaje	1.59	0.76	0.26
	Factor forma	0.38	0.30	0.31
Subcuenca Cascas	H mínima de la cuenca	648	631	706
	Densidad de drenaje	1.98	0.99	0.41
	Factor forma	0.13	0.13	0.17

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 17

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Medio Alta Chicama y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Alta Chicama	H mínima de la cuenca	541	524	542
	Densidad de drenaje	2.09	0.93	0.38
	Factor forma	1.39	0.74	1.00
Subcuenca Machansen	H mínima de la cuenca	655	644	660
	Densidad de drenaje	3.87	1.62	0.62
	Factor forma	0.16	0.15	0.19
Subcuenca San Felipe	H mínima de la cuenca	700	686	695
	Densidad de drenaje	4.21	1.81	0.91
	Factor forma	0.12	0.12	0.19
Subcuenca La Mina	H mínima de la cuenca	618	595	605
	Densidad de drenaje	4.97	2.44	0.73
	Factor forma	0.21	0.30	0.26
Subcuenca del Torno	H mínima de la cuenca	645	623	629
	Densidad de drenaje	3.74	1.40	1.02
	Factor forma	0.10	0.20	0.23
Subcuenca el Peligro	H mínima de la cuenca	642	623	629
	Densidad de drenaje	4.32	1.96	0.90
	Factor forma	0.19	0.21	0.18
Subcuenca Salavin	H mínima de la cuenca	639	622	631
	Densidad de drenaje	3.91	1.53	0.75
	Factor forma	0.10	0.15	0.11
Subcuenca la Talega	H mínima de la cuenca	608	586	595
	Densidad de drenaje	3.90	1.73	0.97
	Factor forma	0.11	0.11	0.17
Subcuenca el Sol	H mínima de la cuenca	551	527	544
	Densidad de drenaje	4.09	2.04	0.69
	Factor forma	0.24	0.29	0.27

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 18

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Santanero y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Santanero	H mínima de la cuenca	389	368	375
	Densidad de drenaje	2.19	1.02	0.45
	Factor forma	0.34	0.32	0.44
Subcuenca Jondo	H mínima de la cuenca	1281	1270	1244
	Densidad de drenaje	2.03	0.85	0.31
	Factor forma	0.27	0.25	0.28
Subcuenca Pampa Larga	H mínima de la cuenca	689	686	686
	Densidad de drenaje	2.38	1.09	0.49
	Factor forma	0.18	0.20	0.23
Subcuenca Huangamarca	H mínima de la cuenca	1018	1007	1025
	Densidad de drenaje	1.86	0.76	0.32
	Factor forma	0.20	0.20	0.24
Subcuenca Huayaba	H mínima de la cuenca	808	794	815
	Densidad de drenaje	2.02	0.81	0.32
	Factor forma	0.27	0.26	0.36
Subcuenca San Benito	H mínima de la cuenca	548	539	533
	Densidad de drenaje	1.92	0.90	0.40
	Factor forma	0.21	0.22	0.24

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 19

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Media Chicama y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Chicama	H mínima de la cuenca	389	363	379
	Densidad de drenaje	2.14	1.07	0.46
	Factor forma	0.34	0.28	0.46
Subcuenca Calvayuque	H mínima de la cuenca	521	486	512
	Densidad de drenaje	4.07	1.82	0.85
	Factor forma	0.17	0.16	0.19
Subcuenca del Limo	H mínima de la cuenca	452	435	445
	Densidad de drenaje	3.37	1.50	0.99
	Factor forma	0.12	0.13	0.15
Subcuenca Casa Quemada	H mínima de la cuenca	445	424	431
	Densidad de drenaje	4.34	2.00	0.07
	Factor forma	0.19	0.24	0.26
Subcuenca Honda	H mínima de la cuenca	516	501	510
	Densidad de drenaje	3.66	1.73	0.98
	Factor forma	0.17	0.17	0.18
Subcuenca Salavin	H mínima de la cuenca	505	487	496
	Densidad de drenaje	3.89	1.94	0.83
	Factor forma	0.15	0.17	0.19
Subcuenca Cortamoño	H mínima de la cuenca	493	471	484
	Densidad de drenaje	3.58	1.88	0.82
	Factor forma	0.19	0.2	0.23

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 20

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Quirripango y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Quirripango	H mínima de la cuenca	350	340	346
	Densidad de drenaje	1.89	0.70	0.35
	Factor forma	0.20	0.20	0.25
Subcuenca Miragón	H mínima de la cuenca	1647	1637	1674
	Densidad de drenaje	1.57	1.15	0.55
	Factor forma	0.21	0.22	0.23
Subcuenca Playa Grande	H mínima de la cuenca	655	634	646
	Densidad de drenaje	1.93	1.42	0.67
	Factor forma	0.16	0.17	0.16
Subcuenca de Pollitos	H mínima de la cuenca	2009	1992	2016
	Densidad de drenaje	2.08	1.85	0.74
	Factor forma	0.20	0.18	0.19
Subcuenca del Portero	H mínima de la cuenca	1929	1979	1997
	Densidad de drenaje	1.55	1.16	0.63
	Factor forma	0.30	0.41	0.39
Subcuenca de los Chiclayos	H mínima de la cuenca	1316	1297	1258
	Densidad de drenaje	1.75	1.16	0.74
	Factor forma	0.11	0.39	0.39

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 21

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Medio Bajo Chicama y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	H mínima de la cuenca	353	331	343
	Densidad de drenaje	2.41	1.09	0.46
	Factor forma	1.70	1.14	2.27
Subcuenca Shimba	H mínima de la cuenca	355	332	343
	Densidad de drenaje	4.06	2.01	0.92
	Factor forma	0.17	0.05	0.20

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

Tabla 22

Valores de H. mínima, densidad de drenaje y factor forma de la subcuenca Bajo Chicama y cuencas que la conforman, a través de los modelos digitales de elevación Alos Palsar, Aster Dem y Srtm Dem.

Cuenca	Parámetros de la cuenca	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Bajo Chicama	H mínima de la cuenca	14	0	2
	Densidad de drenaje	2.45	0.95	0.45
	Factor forma	0.19	0.15	0.28
Subcuenca Mala Alma	H mínima de la cuenca	285	268	272
	Densidad de drenaje	2.17	0.16	0.48
	Factor forma	0.18	0.16	0.21
Subcuenca de la Mónica	H mínima de la cuenca	252	233	240
	Densidad de drenaje	2.23	1.06	0.52
	Factor forma	0.13	0.12	0.17

Nota: La tabla muestra las tres características escogidas visualmente, para la evaluación de resultados.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN: Aplicativa, mediante las metodologías siguientes:

1. Uso de la cartografía del Instituto Geográfico del Perú
2. Uso de imágenes satelitales
3. Uso del programa Qgis
4. Uso del programa Rstudio
5. Uso del método de regresión y correlación lineal.
6. Uso del programa Microsoft Excel

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se detalla el resumen de los resultados obtenidos del análisis e interpretación de los resultados:

- a) Los resultados obtenidos de la caracterización morofométrica y red de drenaje de cada subcuenca trabajada mediante los tres modelos digitales de elevación, se agruparon por: H. mínima, red de drenaje y factor forma, de alguna manera para tener un cuadro de datos organizado y sea más práctico evaluarlo a través del programa RStudy.

- b) Se elaboró el histograma, a través del programa RStudio, para explorar la normalidad de los datos obtenidos de la delimitación de la Sub Cuenca Chuquillanqui realizada para cada modelo digital de elevación: Alos Palsar, Aster MED y SRTM MDE. Buscando que el histograma presente un patrón más o menos simétrico, de ser así se debe usar otras herramientas como el QQplot o pruebas de hipótesis para obtener una mejor conclusión.
- c) Se creó el gráfico cuantil cuantil (QQplot). Realizando una primera aproximación visual de si hay o no normalidad, se ejecutó a través del programa RStudio los datos obtenidos de la delimitación de la Sub Cuenca Chuquillanqui realizada para cada modelo digital de elevación: Alos Palsar, Aster MED y SRTM MDE.
- d) Para la prueba de normalidad, se usó el test de Shapiro-Wilk, con la función `shapiro.test()`. Realizada para cada modelo digital.
- e) Para el análisis de datos en la parte baja de la cuenca del río Chicama, por tener poca data se analizó por medio del coeficiente de correlación de Pearson entre dos modelos digitales (ALOS PALSAR – ASTER ; ASTER – SRTM ; SRTM – ALOS PALSAR), motivo por el cual no se puede forzar para trabajar los datos y correr en el programa Rstudio.

4.2.1 SUBCUENCA OCHAPE:

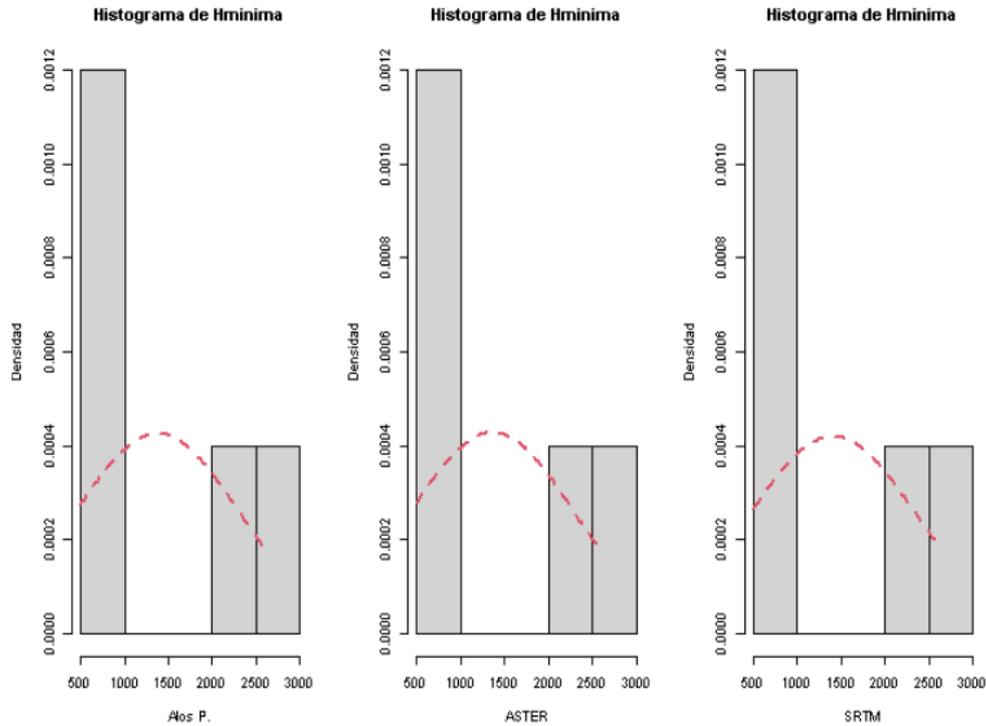
4.2.1.1 SUBCUENCA OCHAPE – H. MÍNIMA - MDE ALOS PALSAR: Se elaboró el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Ochape parte Alta de la Cuenca del Río Chicama.

4.2.1.2 NORMALIDAD DE LAS VARIABLES

Figura 41

Subcuenca Ochape - Gráfico de Histograma (Se observa en

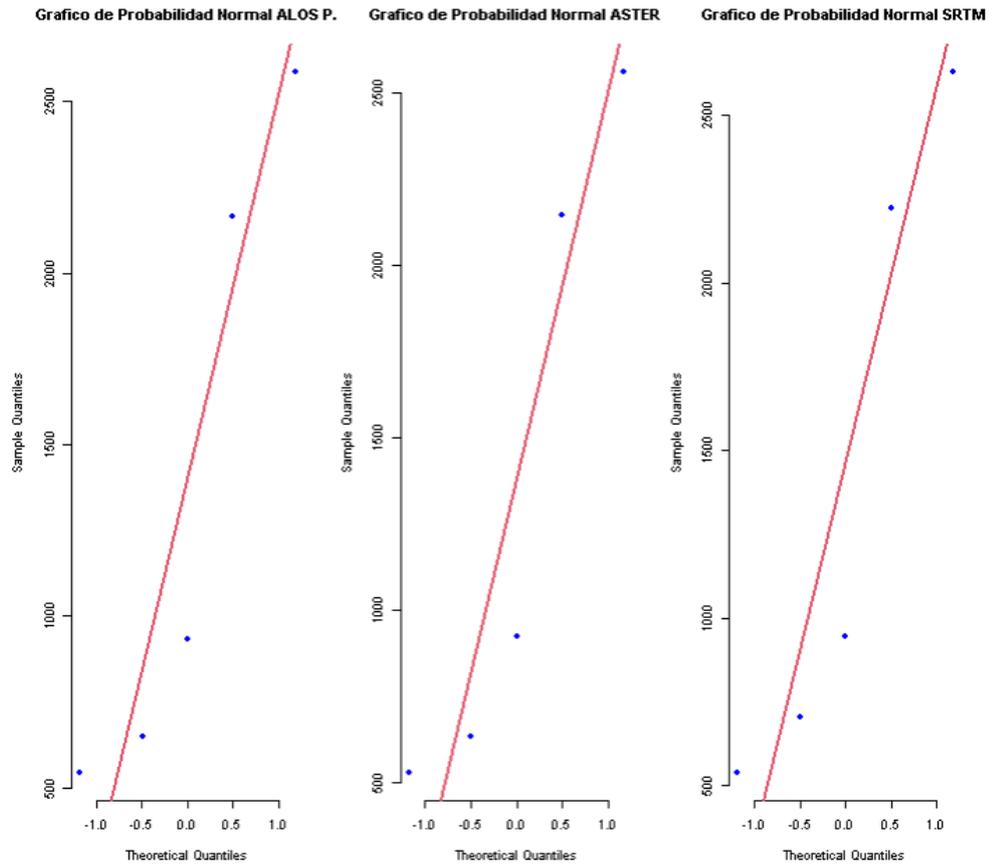
los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).



4.2.1.3 GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 42

Subcuenca Ochape- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



4.2.1.4 PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 43

Subcuenca Ochape – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ###
> shapiro.test(Hm$`ALOS P.`)

Shapiro-Wilk normality test

data: Hm$`ALOS P.`
W = 0.8471, p-value = 0.1855

> jarque.bera.test(Hm$`ALOS P.`)

Jarque Bera Test

data: Hm$`ALOS P.`
X-squared = 0.70753, df = 2, p-value = 0.702
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.1.5 PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 44

Subcuenca Ochape – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad

```
> ### ASTER ###
> shapiro.test(Hm$ASTER)

Shapiro-Wilk normality test

data:  Hm$ASTER
W = 0.84858, p-value = 0.1901

> jarque.bera.test(Hm$ASTER)

Jarque Bera Test

data:  Hm$ASTER
X-squared = 0.70527, df = 2, p-value = 0.7028
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.1.6 PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 45

Subcuenca Ochape – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### SRTM ###
> shapiro.test(Hm$SRTM)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Hm$SRTM
W = 0.85189, p-value = 0.2006

> jarque.bera.test(Hm$SRTM)

      Jarque Bera Test

data:  Hm$SRTM
X-squared = 0.70876, df = 2, p-value = 0.7016

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal

4.2.1.7 SUBCUENCA OCHAPE – Densidad de drenaje – MDE

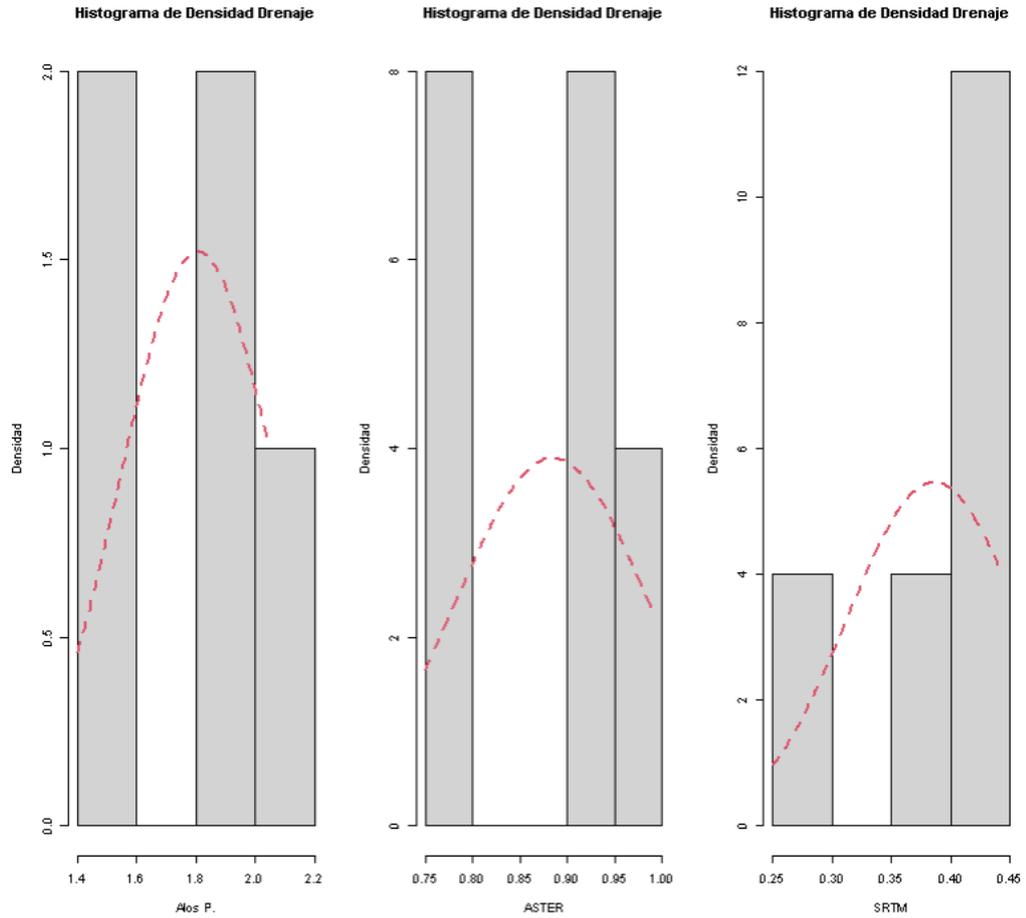
ALOS PALSAR:

Se realizó el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Chuquillanqui.

4.2.1.8 NORMALIDAD DE LAS VARIABLES:

Figura 46

Subcuenca Ochape - Gráfico de Histograma (Se observa en los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).

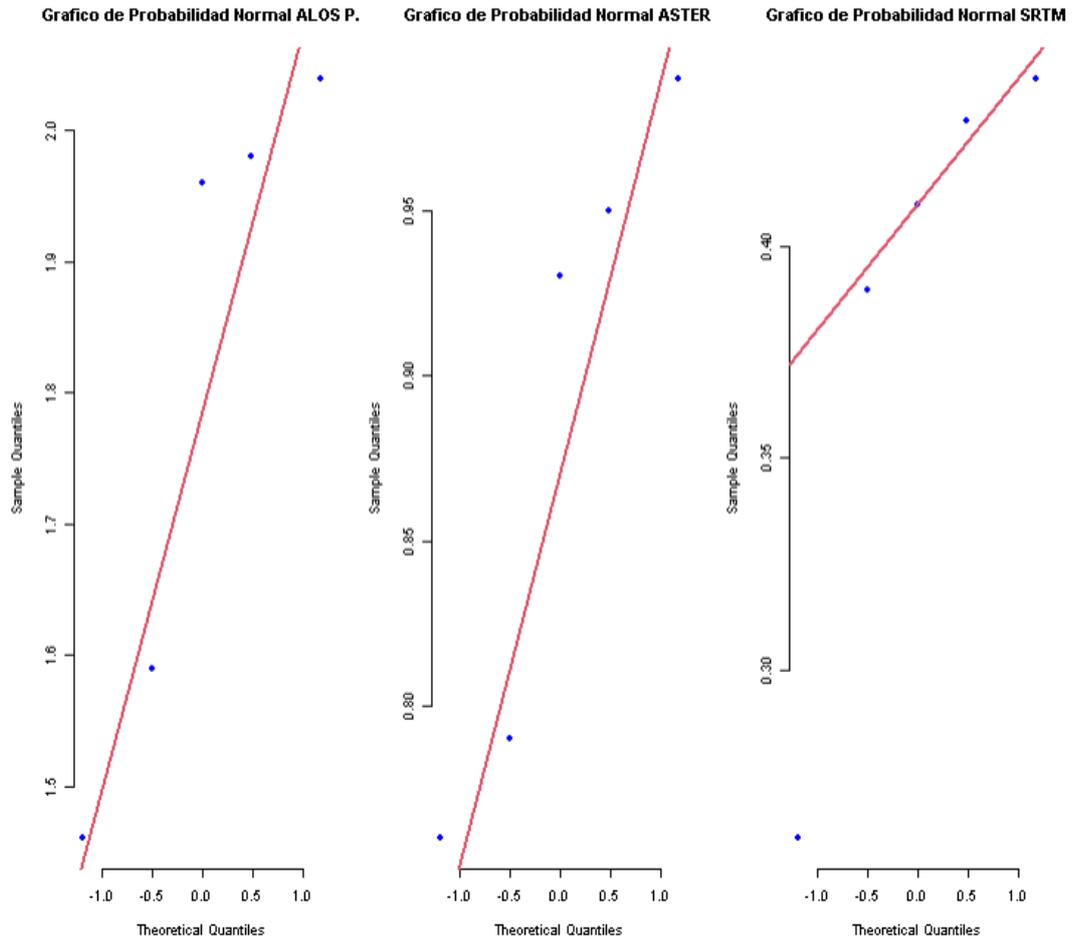


Fuente: Elaboración propia – programa RStudio

4.2.1.9 GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 47

Subcuenca Ochape- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



4.2.1.10 PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 48

Subcuenca Ochape – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ####
> shapiro.test(Ddrenaje$`ALOS P.`)

Shapiro-Wilk normality test

data: Ddrenaje$`ALOS P.`
W = 0.83613, p-value = 0.1545

> jarque.bera.test(Ddrenaje$`ALOS P.`)

Jarque Bera Test

data: Ddrenaje$`ALOS P.`
X-squared = 0.71979, df = 2, p-value = 0.6977
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal

4.2.1.11 PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 49

Subcuenca Ochape – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### ASTER ###
> shapiro.test(Ddrenaje$ASTER)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Ddrenaje$ASTER
W = 0.87467, p-value = 0.2859

> jarque.bera.test(Ddrenaje$ASTER)

      Jarque Bera Test

data:  Ddrenaje$ASTER
X-squared = 0.66375, df = 2, p-value = 0.7176
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.1.12 PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 50

Subcuenca Ochape – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### SRTM ###
> shapiro.test(Ddrenaje$SRTM)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Ddrenaje$SRTM
W = 0.78404, p-value = 0.05968

> jarque.bera.test(Ddrenaje$SRTM)

      Jarque Bera Test

data:  Ddrenaje$SRTM
X-squared = 1.3091, df = 2, p-value = 0.5197

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

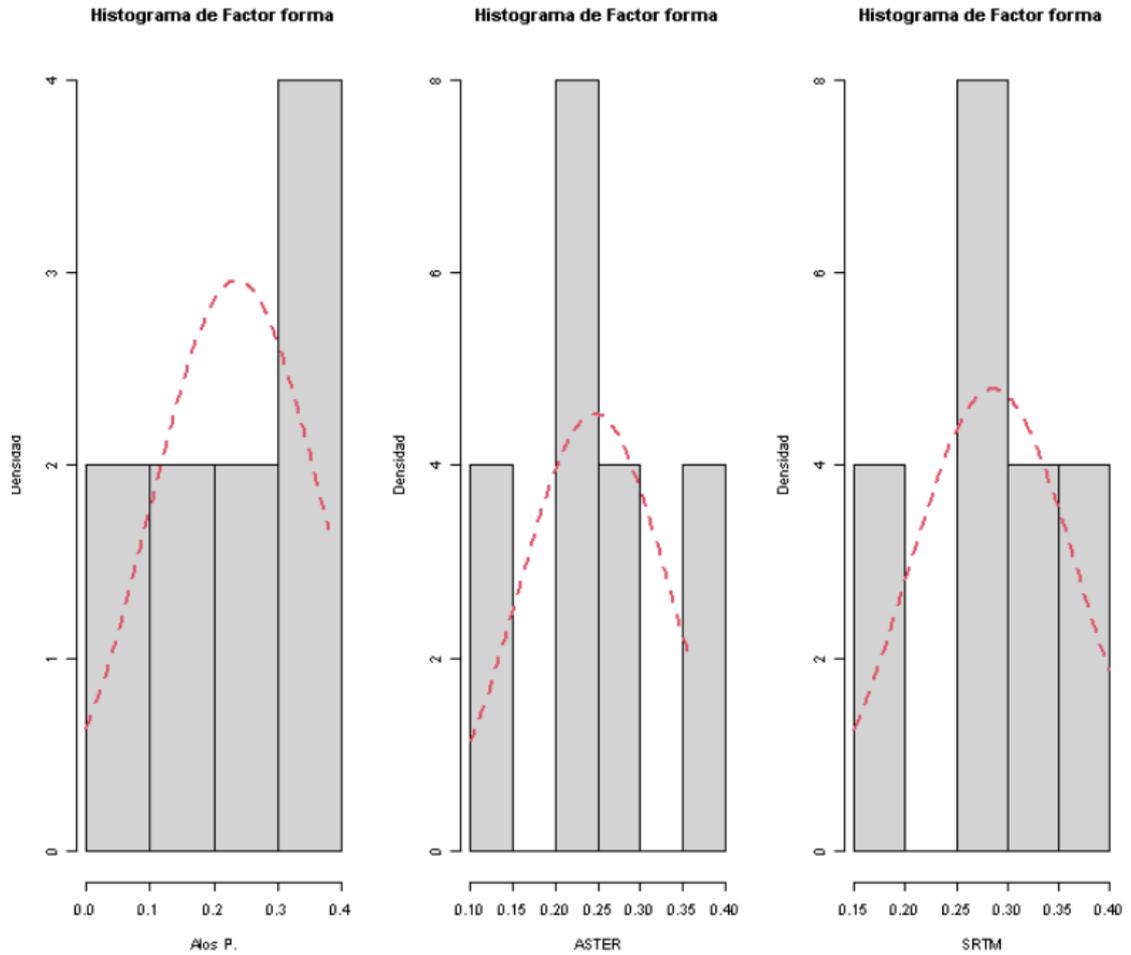
4.2.1.13 SUBCUENCA OCHAPE – FACTOR FORMA- MDE ALOS PALSAR:

Se elaboró el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Ochape.

4.2.1.14 NORMALIDAD DE LAS VARIABLES:

Figura 51

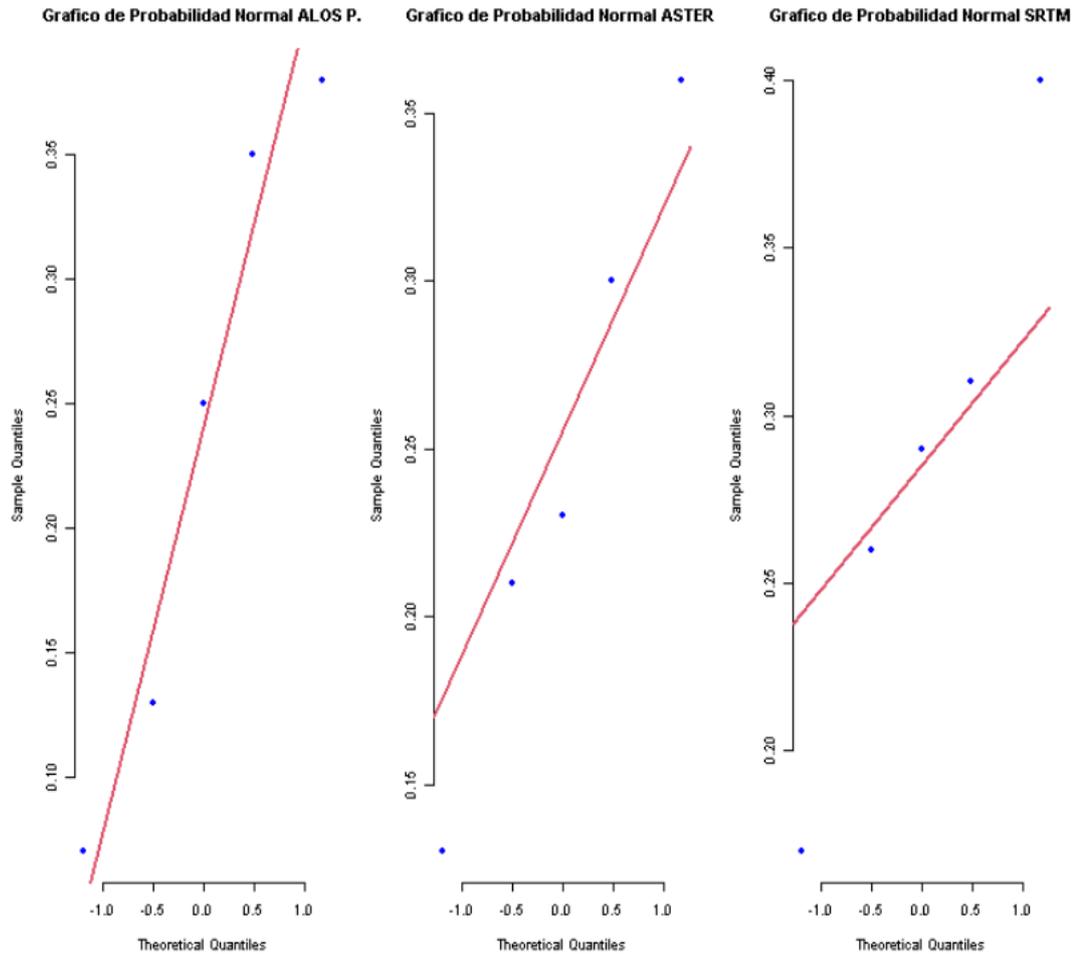
Subcuenca Ochape - Gráfico de Histograma (Se observa en los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).



4.2.1.15 GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 52

Subcuenca Ochape- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



Fuente: Elaboración propia – programa RStudio.

4.2.1.16 PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 53

Subcuenca Ochape – Factor forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ###
> shapiro.test(Fforma$`ALOS P.`)

Shapiro-Wilk normality test

data:  Fforma$`ALOS P.`
W = 0.92343, p-value = 0.5523

> jarque.bera.test(Fforma$`ALOS P.`)

Jarque Bera Test

data:  Fforma$`ALOS P.`
X-squared = 0.54911, df = 2, p-value = 0.7599
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.1.17 PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 54

Subcuenca Ochape – Factor forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### ASTER ###
> shapiro.test(Fforma$ASTER)

Shapiro-Wilk normality test

data:  Fforma$ASTER
W = 0.98582, p-value = 0.9631

> jarque.bera.test(Fforma$ASTER)

Jarque Bera Test

data:  Fforma$ASTER
X-squared = 0.25965, df = 2, p-value = 0.8782
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.1.18 PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 55

Subcuenca Ochape – Factor Forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### SRTM ###
> shapiro.test(Fforma$SRTM)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Fforma$SRTM
W = 0.98137, p-value = 0.9418

> jarque.bera.test(Fforma$SRTM)

      Jarque Bera Test

data:  Fforma$SRTM
X-squared = 0.10865, df = 2, p-value = 0.9471

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

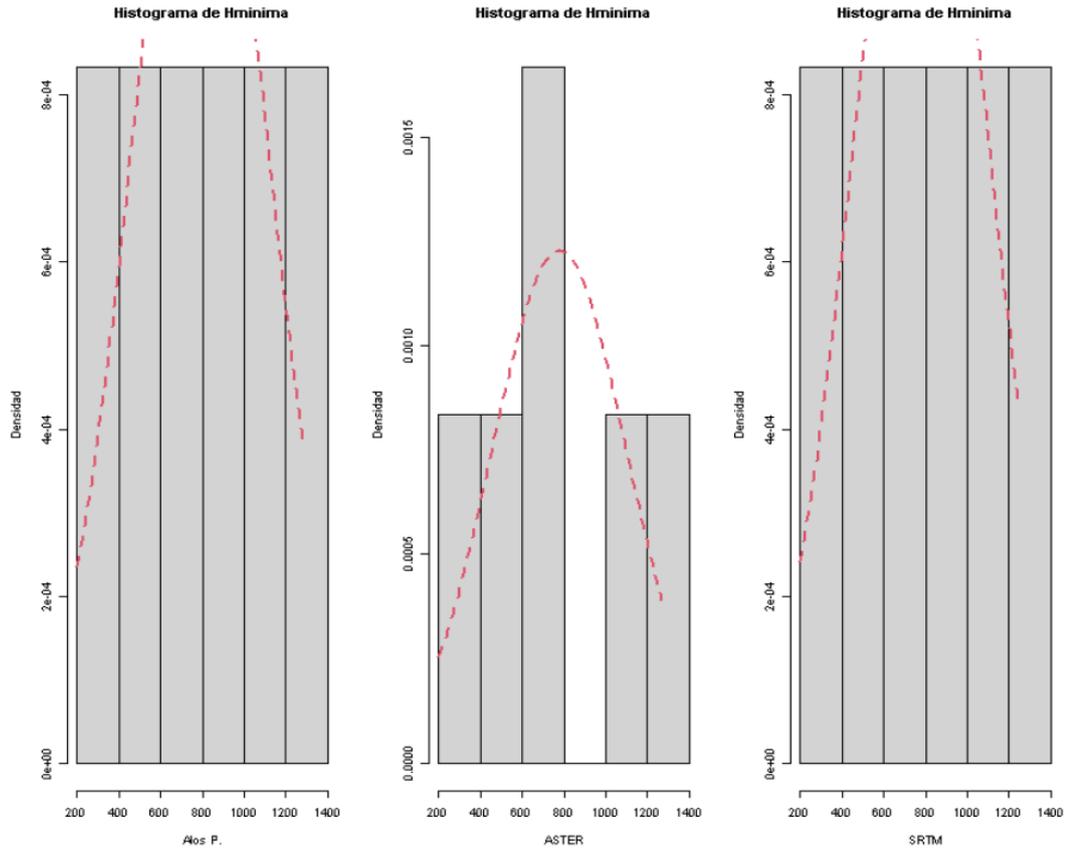
4.2.2. SUBCUENCA SANTANERO – PARTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO CHICAMA:

4.2.2.1. **SUBCUENCA SANTANERO – H. MÍNIMA - MDE ALOS PALSAR:** Se elaboró el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Santanero parte Media de la cuenca del río Chicama.

4.2.2.2. NORMALIDAD DE LAS VARIABLES:

Figura 56

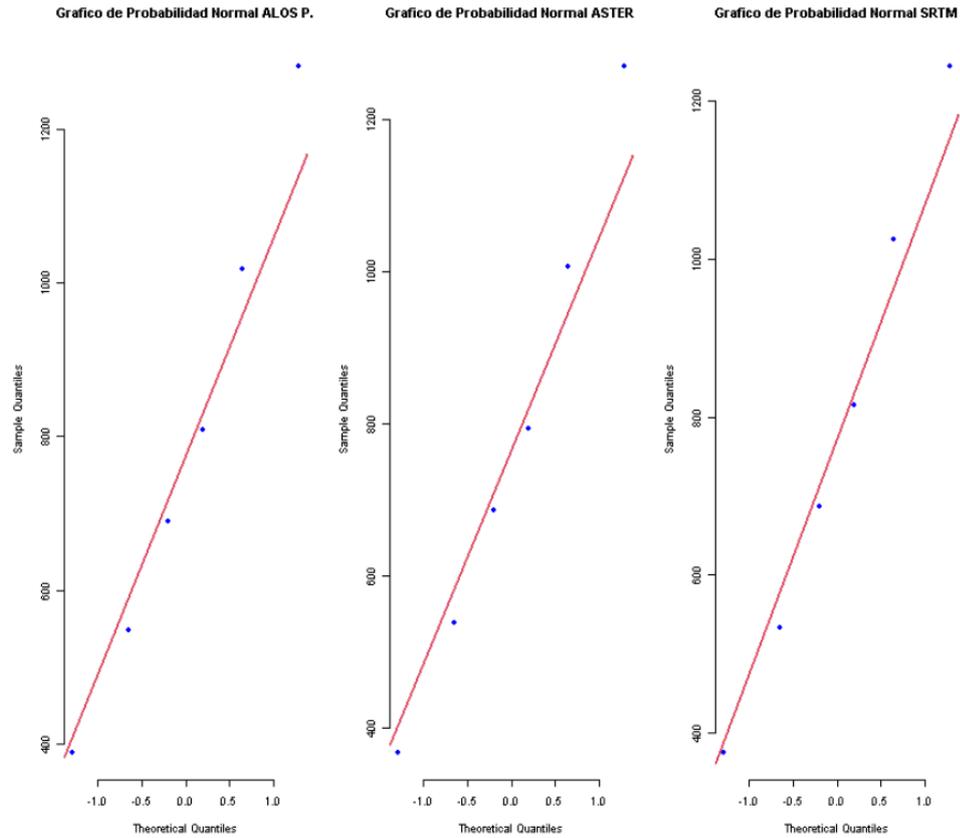
Subcuenca Santanero - Gráfico de Histograma (Se observa en los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).



4.2.2.3. GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 57

Subcuenca Santanero- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



4.2.2.4. PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 58

Subcuenca Santanero – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ###
> shapiro.test(Hm$`ALOS P.`)

Shapiro-Wilk normality test

data: Hm$`ALOS P.`
W = 0.98023, p-value = 0.9527

> jarque.bera.test(Hm$`ALOS P.`)

Jarque Bera Test

data: Hm$`ALOS P.`
X-squared = 0.37288, df = 2, p-value = 0.8299
```

Fuente: Elaboración propia – programa RStudio.

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.2.5. PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 59

Subcuenca Santanero – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad

```
> ### ASTER ###
> shapiro.test(Hm$ASTER)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Hm$ASTER
W = 0.98335, p-value = 0.967

> jarque.bera.test(Hm$ASTER)

      Jarque Bera Test

data:  Hm$ASTER
X-squared = 0.34708, df = 2, p-value = 0.8407
```

Fuente: Elaboración propia – programa RStudio.

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H₀, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.2.6. PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 60

Subcuenca Santanero – H. mínima – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### SRTM ###
> shapiro.test(Hm$SRTM)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Hm$SRTM
W = 0.98273, p-value = 0.9643

> jarque.bera.test(Hm$SRTM)

      Jarque Bera Test

data:  Hm$SRTM
X-squared = 0.37428, df = 2, p-value = 0.8293
```

Fuente: Elaboración propia – programa RStudio.

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal

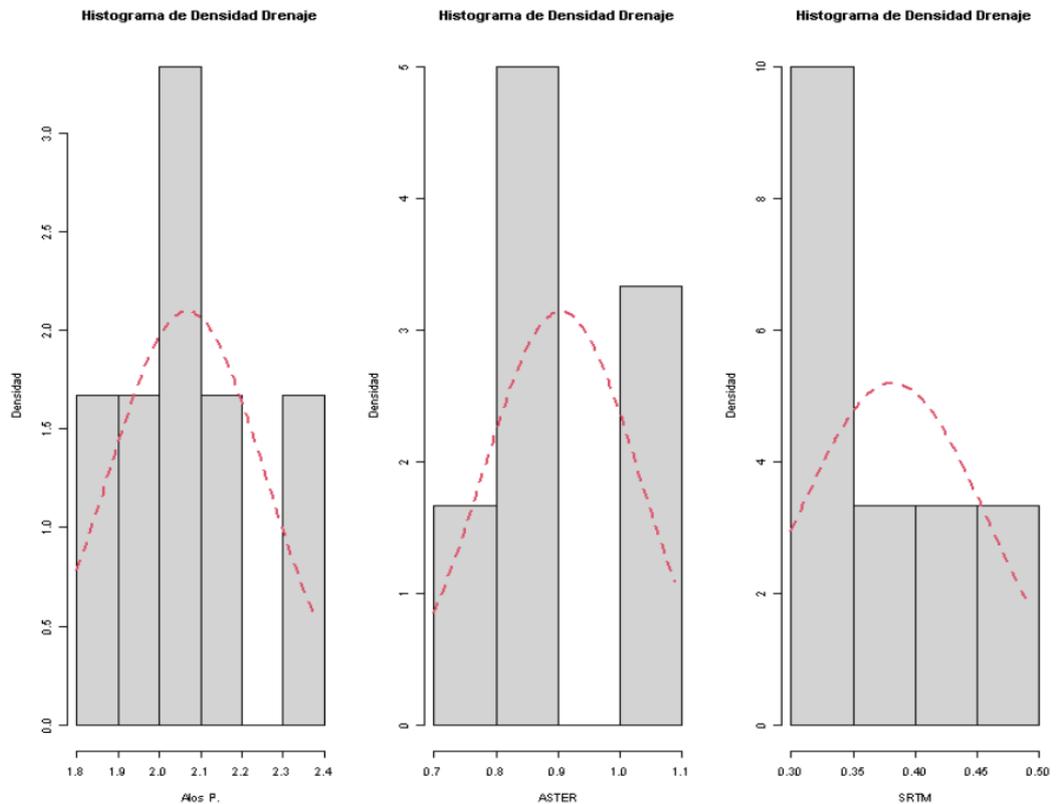
4.2.2.7. SUBCUENCA SANTANERO – Densidad de drenaje - MDE ALOS PALSAR:

Se realizó el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Santanero.

4.2.2.8. NORMALIDAD DE LAS VARIABLES

Figura 61

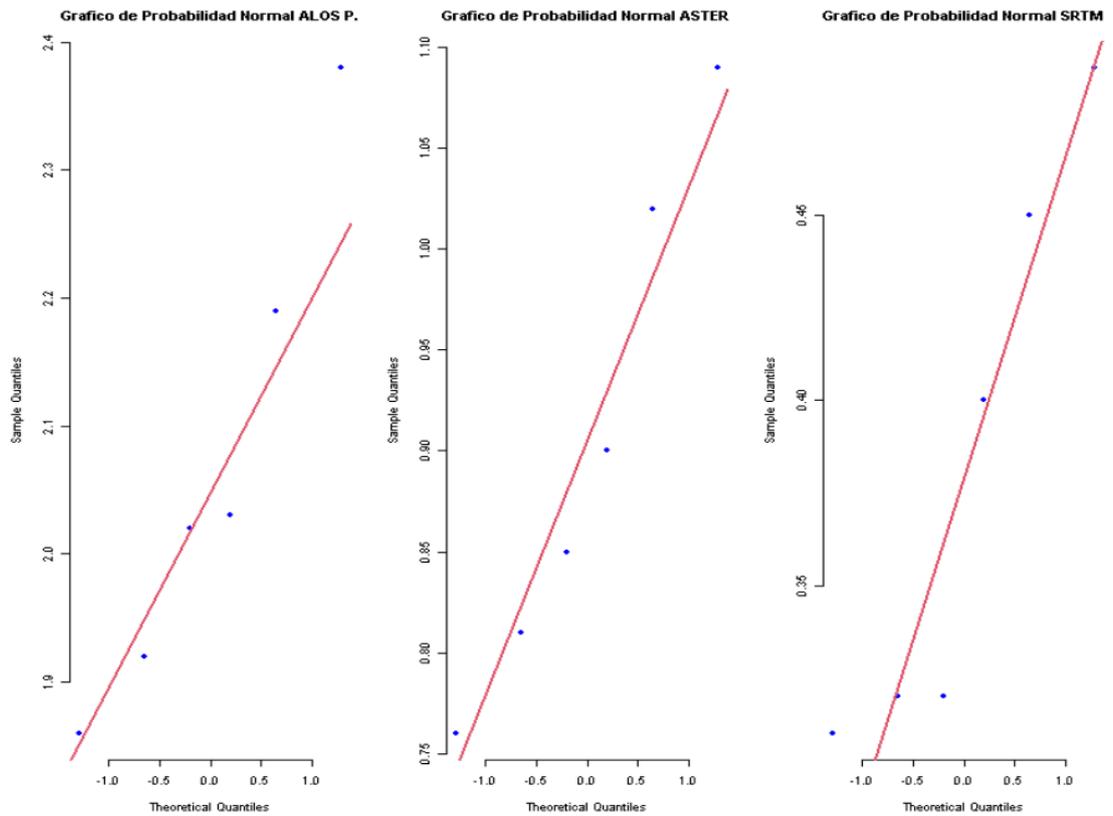
Subcuenca Santanero - Gráfico de Histograma (Se observa en los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).



4.2.2.9. GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 62

Subcuenca Santanero- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



4.2.2.10. PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 63

Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p -value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ####
> shapiro.test(Ddrenaje$`ALOS P.`)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Ddrenaje$`ALOS P.`
W = 0.93267, p-value = 0.6009

> jarque.bera.test(Ddrenaje$`ALOS P.`)

      Jarque Bera Test

data:  Ddrenaje$`ALOS P.`
X-squared = 0.57489, df = 2, p-value = 0.7502

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal

4.2.2.11. PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 64

Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### ASTER ####
> shapiro.test(Ddrenaje$ASTER)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Ddrenaje$ASTER
W = 0.94257, p-value = 0.6799

> jarque.bera.test(Ddrenaje$ASTER)

      Jarque Bera Test

data:  Ddrenaje$ASTER
X-squared = 0.56251, df = 2, p-value = 0.7548

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.2.12. PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 65

Subcuenca Santanero – Densidad de drenaje – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### SRTM ###  
> shapiro.test(Ddrenaje$SRTM)  
  
Shapiro-Wilk normality test  
  
data: Ddrenaje$SRTM  
W = 0.86057, p-value = 0.1911  
  
> jarque.bera.test(Ddrenaje$SRTM)  
  
Jarque Bera Test  
  
data: Ddrenaje$SRTM  
X-squared = 0.70986, df = 2, p-value = 0.7012
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

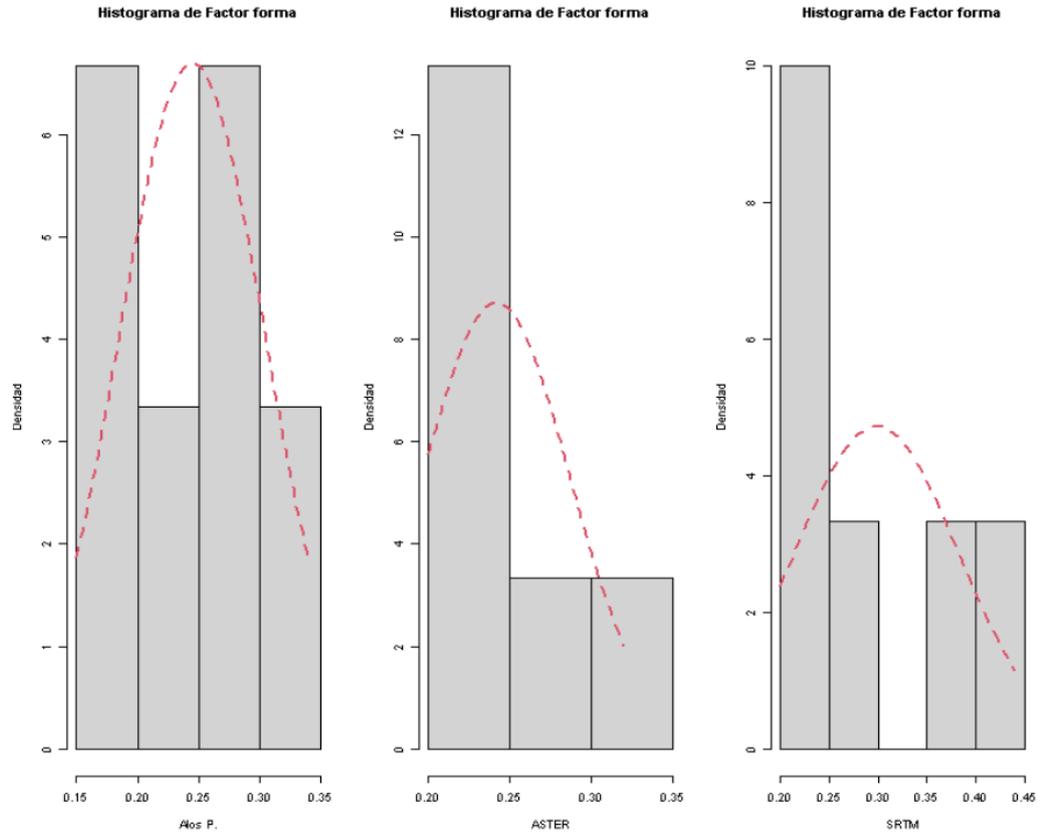
4.2.2.13. SUBCUENCA SANTANERO – FACTOR FORMA- MDE ALOS PALSAR:

Se elaboró el Histograma, gráfico cuantil cuantil (QQplot) y el test de Shapiro-Wilk, para los 3 parámetros (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma) de la caracterización morfométrica y red de drenaje de la sub cuenca Santanero.

4.2.2.14. NORMALIDAD DE LAS VARIABLES:

Figura 66

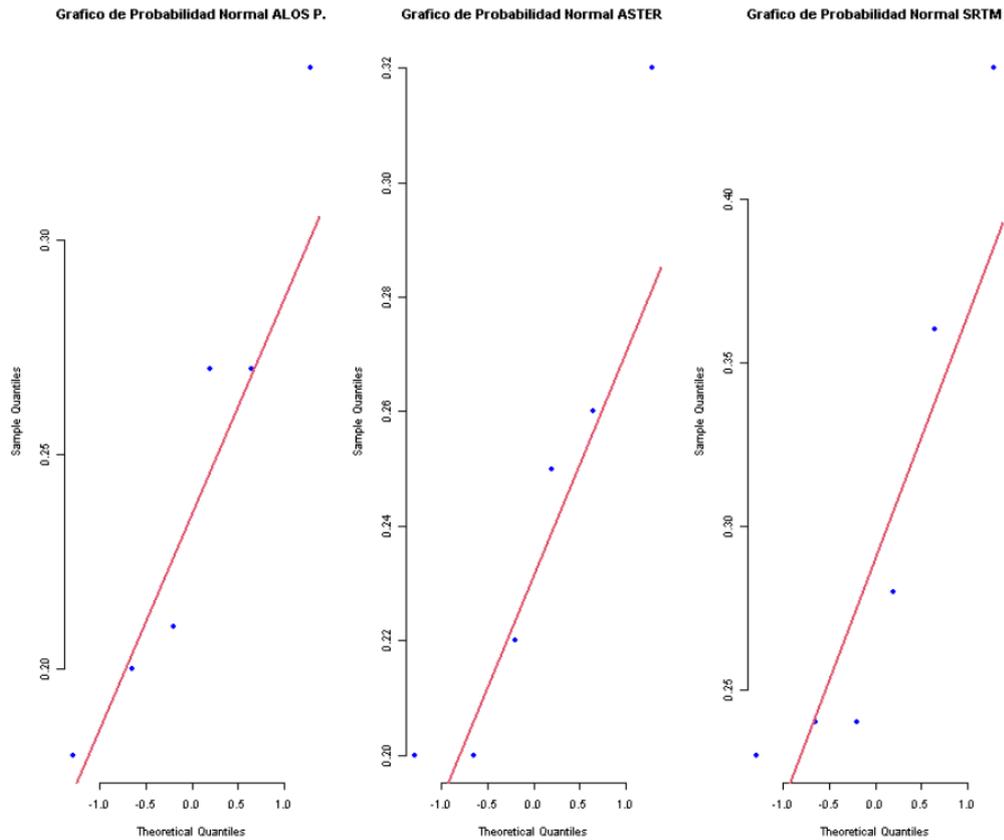
Subcuenca Santanero - Gráfico de Histograma (Se observa en los gráficos que cada variable posiblemente presenta una distribución normal de los datos).



4.2.2.15. GRAFICO DE PROBABILIDAD NORMAL:

Figura 67

Subcuenca Santanero- Gráfico cuantil cuantil (QQplot). Se observa que los puntos se sitúan cerca a la recta. En principio se aprecia que los datos cumplen el supuesto de normalidad.



4.2.2.16. PRUEBA DE NORMALIDAD – ALOS PALSAR DEM:

Figura 68

Subcuenca Santanero – Factor forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### PRUEBA DE NORMALIDAD ###
> ### ALOS P. ###
> shapiro.test(Fforma$`ALOS P.`)

Shapiro-Wilk normality test

data:  Fforma$`ALOS P.`
W = 0.92045, p-value = 0.5086

> jarque.bera.test(Fforma$`ALOS P.`)

Jarque Bera Test

data:  Fforma$`ALOS P.`
X-squared = 0.49092, df = 2, p-value = 0.7823
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.2.17. PRUEBA DE NORMALIDAD – ASTER DEM:

Figura 69

Subcuenca Santanero – Factor forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```
> ### ASTER ###  
> shapiro.test(Fforma$ASTER)  
  
Shapiro-Wilk normality test  
  
data: Fforma$ASTER  
W = 0.891, p-value = 0.3234  
  
> jarque.bera.test(Fforma$ASTER)  
  
Jarque Bera Test  
  
data: Fforma$ASTER  
X-squared = 0.665, df = 2, p-value = 0.7171
```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05 , por lo tanto, se acepta la H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.2.18. PRUEBA DE NORMALIDAD – SRTM DEM:

Figura 70

Subcuenca Santanero – Factor forma – Prueba de Normalidad - Shapiro.test. Con un p-value mayor de 0.05 no se puede rechazar la hipótesis nula (hipótesis de normalidad). Por lo tanto, se puede concluir que los datos cumplen el supuesto de normalidad.

```

> ### SRTM ###
> shapiro.test(Fforma$SRTM)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Fforma$SRTM
W = 0.83138, p-value = 0.1104

> jarque.bera.test(Fforma$SRTM)

      Jarque Bera Test

data:  Fforma$SRTM
X-squared = 0.90136, df = 2, p-value = 0.6372

```

Interpretación: Se observa que el p-value > 0.05, por lo tanto, se acepta la H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.2.3. SUBCUENCA MEDIA BAJA CHICAMA – PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RIO CHICAMA

4.2.3.1. COMPARACIÓN DEL MDE ALOS PALSAR Y MDE ASTER

4.2.3.1.1. Agrupación de Subcuencas – Características:

Tabla 23

Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para la calcular media de la Hmínima.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	353	331
Subcuenca Shimba	355	332
MEDIA - H MINIMA	354	331.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Comparación de Alos Palsar y MDE Aster, para calcular la media de la densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	2.41	1.09
Subcuenca Shimba	4.06	2.01
MEDIA - DENSIDAD DE DRENAJE	3.235	1.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	1.70	1.14
Subcuenca Shimba	0.17	0.05
MEDIA - FACTOR FORMA	0.935	0.595

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular el factor forma.

4.2.3.1.2. DIFERENCIA DE MEDIA – CARACTERISTICAS**Tabla 26***Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
Subcuenca Media Baja Chicama	-1	-0.5
Subcuenca Shimba	1	0.5
DIFERENCIA - H MINIMA	0	0

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular la diferencia de H. mínima.

Tabla 27*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
Subcuenca Media Baja Chicama	-0.83	-0.46
Subcuenca Shimba	0.83	0.46
DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE	0	0

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular la diferencia de densidad de drenaje.

Tabla 28*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
Subcuenca Media Baja Chicama	0.77	0.55
Subcuenca Shimba	-0.77	-0.55
DIFERENCIA - FACTOR FORMA	0	0

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular la diferencia del factor forma.

4.2.3.1.3. CUADRADO DE DIFERENCIA DE MEDIA – CARACTERISTICAS

Tabla 29*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	
Subcuenca Media Baja Chicama	1	0.25	CUADRADOS DE DIFERENCIA - H MINIMA
Subcuenca Shimba	1	0.25	
SUMATORIA	1	0.25	
RAIZ CUADRADA	1	0.50	

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular el cuadrado de diferencia de la H. mínima.

Tabla 30*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.68	0.21	CUADRADOS DE DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.68	0.21	
SUMATORIA	0.68	0.21	
RAIZ CUADRADA	0.83	0.46	

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular el cuadrado de diferencia de la H. mínima para calcular el cuadrado de diferencia de la densidad de drenaje.

Tabla 31*Comparación de Alos Palsar y MDE Aster.*

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.59	0.30	CUADRADOS DIFERENCIA - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.59	0.30	
SUMATORIA	0.59	0.30	
RAIZ CUADRADA	0.77	0.55	

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular el cuadrado de diferencia del factor forma.

4.2.3.1.4. COVARIANZA – CARACTERISTICAS**Tabla 32***Cálculo de la covarianza de la H. mínima.*

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.50	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - H. MINIMA
Subcuenca Shimba	0.50	
SUMATORIA	0.50	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la covarianza de la H. mínima.

Tabla 33*Cálculo de la covarianza de la densidad de drenaje.*

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.38	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.38	
SUMATORIA	0.38	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la comparación de ambos DEM para calcular de la covarianza – densidad de drenaje..

Tabla 34*Cálculo de la covarianza del factor forma.*

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.42	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.42	
SUMATORIA	0.42	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la covarianza del factor forma.

4.2.3.1.5. CORRELACION – CARACTERISTICAS**Tabla 35**

Comparación de correlación de H. mínima entre Alos Palsar y MDE Aster.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
CORRELACION - H. MINIMA		1.00

Nota: La tabla muestra la correlación de la H. mínima.

Tabla 36

Comparación de correlación de densidad de drenaje entre Alos Palsar y MDE Aster.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
CORRELACION - DENSIDAD DE DRENAJE		1.00

Nota: La tabla muestra la correlación de densidad de drenaje

Tabla 37

Comparación de correlación de factor forma entre Alos Palsar y MDE Aster.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER
CORRELACION - FACTOR FORMA		1.00

Nota: La tabla muestra la correlación del factor forma.

4.2.3.2. COMPARACIÓN DEL MDE ASTER Y MDE SRTM

4.2.3.2.1. AGRUPACION DE SUB CUENCAS – CARACTERISTICAS

Tabla 38

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la media de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ASTER MDE SRTM		
	X	Y	
Subcuenca Media Baja Chicama	331	343	MEDIA - H MINIMA
Subcuenca Shimba	332	343	
MEDIA - H MINIMA	331.5	343	

Nota: La tabla muestra la media de la H. mínima.

Table 39

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la media de la densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ASTER MDE SRTM	
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	1.09	0.46
Subcuenca Shimba	2.01	0.92
MEDIA - DENSIDAD DE DRENAJE	1.55	0.69

Nota: La tabla muestra la media de la densidad de drenaje.

Tabla 40

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la media del factor forma.

SUB CUENCA	MDE ASTER MDE SRTM	
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	1.14	2.27
Subcuenca Shimba	0.05	0.2
MEDIA - FACTOR FORMA	0.595	1.235

Nota: La tabla muestra la media del factor forma.

4.2.3.2.2. DIFERENCIA DE MEDIA - CARACTERISTICAS

Tabla 41

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la diferencia de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	-0.5	0
Subcuenca Shimba	0.5	0
DIFERENCIA - H MINIMA	0	0

Nota: La tabla muestra la diferencia de la H. mínima.

Tabla 42

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la diferencia de la densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	-0.46	-0.23
Subcuenca Shimba	0.46	0.23
DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE	0	0

Nota: La tabla muestra la diferencia de la densidad de drenaje.

Tabla 43

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la diferencia del factor forma.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	0.55	1.04
Subcuenca Shimba	-0.55	-1.04
DIFERENCIA - FACTOR FORMA	0	0

Nota: La tabla muestra la diferencia del factor forma.

4.2.3.2.3. CUADRADO DE DIFERENCIA DE MEDIA – CARACTERISTICAS

Tabla 44

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.25	0.00	CUADRADOS DE DIFERENCIA - H MINIMA
Subcuenca Shimba	0.25	0.00	
SUMATORIA	0.25	0	
RAIZ CUADRADA	0.5	0	

Nota: La tabla muestra los cuadrados de diferencia de la H. mínima.

Tabla 45

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia de la Densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.21	0.05	CUADRADOS DE DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.21	0.05	
SUMATORIA	0.21	0.05	
RAIZ CUADRADA	0.46	0.23	

Nota: La tabla muestra los cuadrados de diferencia de la densidad de drenaje.

Tabla 46

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia del Factor Forma.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.30	1.07	CUADRADOS DIFERENCIA - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.30	1.07	
SUMATORIA	0.30	1.07	
RAIZ CUADRADA	0.55	1.04	

Nota: La tabla muestra los cuadrados de diferencia del factor forma.

4.2.3.2.4. COVARIANZA – CARACTERISTICAS

Tabla 44

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la covarianza de la H. mínima.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.00	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - H. MINIMA
Subcuenca Shimba	0.00	
SUMATORIA	0.00	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la covarianza de la H. mínima.

Tabla 48

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la covarianza de la densidad de drenaje.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.11	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.11	
SUMATORIA	0.11	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la covarianza de la densidad de drenaje.

Tabla 49

Comparación de MDE Aster y MDE Srtm, para calcular la covarianza del factor forma.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.56	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.56	
SUMATORIA	0.56	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra la covarianza del factor forma.

4.2.3.2.5. CORRELACION – CARACTERISTICAS

Tabla 50

Comparación de correlación de H. mínima entre MDE Aster y MDE Srtn.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
CORRELACION - H. MINIMA		0.00

Nota: La tabla muestra que no hay correlación de la H. mínima entre Aster y Srtn.

Tabla 51

Comparación de correlación de densidad de drenaje entre MDE Aster y MDE Srtn.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
CORRELACION - DENSIDAD DE DRENAJE		1.00

Nota: La tabla muestra que si hay correlación de densidad de drenaje entre Aster y Srtn.

Tabla 52

Comparación de correlación de factor forma entre MDE Aster y MDE Srtn.

SUB CUENCA	MDE ASTER	MDE SRTM
CORRELACION - FACTOR FORMA		1.00

Nota: La tabla muestra si hay correlación del factor forma entre Aster y Srtn.

4.2.3.3. COMPARACIÓN DEL MDE ALOS PALSAR Y MDE SRTM
4.2.3.3.1. AGRUPACION DE SUB CUENCAS – CARACTERISTICAS

Tabla 53

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la media de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	353	343
Subcuenca Shimba	355	343
MEDIA - H MINIMA	354	343

Nota: La tabla muestra los resultados de la media de la H. mínima.

Tabla 54

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la media de la densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	2.41	0.46
Subcuenca Shimba	4.06	0.92
MEDIA - DENSIDAD DE DRENAJE	3.235	0.69

Nota: La tabla muestra los resultados de la media de la densidad de drenaje.

Tabla 55

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la media el factor forma.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
	X	Y
Subcuenca Media Baja Chicama	1.70	2.27
Subcuenca Shimba	0.17	0.2
MEDIA - FACTOR FORMA	0.935	1.235

Nota: La tabla muestra los resultados de la media del factor forma.

4.2.3.3.2. DIFERENCIA DE MEDIA – CARACTERISTICAS

Tabla 56

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la diferencia de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	-1	0
Subcuenca Shimba	1	0
DIFERENCIA - H MINIMA	0	0

Nota: La tabla muestra los resultados de la diferencia de la H. mínima.

Tabla 57

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la diferencia de densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	-0.83	-0.23
Subcuenca Shimba	0.825	0.23
DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE	0	0

Nota: La tabla muestra los resultados de la diferencia de densidad de drenaje.

Tabla 58

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la diferencia del factor forma.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
Subcuenca Media Baja Chicama	0.77	1.04
Subcuenca Shimba	-0.77	-1.04
DIFERENCIA - FACTOR FORMA	0	0

Nota: La tabla muestra los resultados de la diferencia del factor forma.

4.2.3.3.3. CUADRADO DE DIFERENCIA DE MEDIA – CARACTERISTICAS

Tabla 59

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia de la H. mínima.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	1	0	CUADRADOS DE DIFERENCIA - H MINIMA
Subcuenca Shimba	1	0	
SUMATORIA	1	0	
RAIZ CUADRADA	1	0	

Nota: La tabla muestra los resultados de los cuadrados de diferencia de la H. mínima.

Tabla 60

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia de densidad de drenaje.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.68	0.05	CUADRADOS DE DIFERENCIA - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.68	0.05	
SUMATORIA	0.68	0.05	
RAIZ CUADRADA	0.83	0.23	

Nota: La tabla muestra los resultados de la diferencia de densidad de drenaje.

Tabla 61

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular los cuadrados de diferencia del factor forma.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.59	1.07	CUADRADOS DIFERENCIA - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.59	1.07	
SUMATORIA	0.59	1.07	
RAIZ CUADRADA	0.77	1.04	

Nota: La tabla muestra los resultados de los cuadrados de diferencia del factor forma.

4.2.3.3.4. COVARIANZA – CARACTERISTICAS

Tabla 62

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la covarianza de la H. mínima.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.00	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - H. MINIMA
Subcuenca Shimba	0.00	
SUMATORIA	0.00	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra los resultados de la covarianza de la H. mínima.

Tabla 63

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la covarianza de densidad de drenaje.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.19	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - DENSIDAD DE DRENAJE
Subcuenca Shimba	0.19	
SUMATORIA	0.19	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra los resultados de la covarianza de densidad de drenaje.

Tabla 64

Comparación de Alos Palsar y MDE Srtm, para calcular la covarianza del factor forma.

SUB CUENCA	PRODUCTO - MODELO DIGITAL	
Subcuenca Media Baja Chicama	0.79	PRODUCTO DE SUB CUENCAS - FACTOR FORMA
Subcuenca Shimba	0.79	
SUMATORIA	0.79	COVARIANZA

Nota: La tabla muestra los resultados de la covarianza del factor forma entre Alos Palsar y Srtm.

4.2.3.3.5. CORRELACION – CARACTERISTICAS

Tabla 65

Comparación de correlación de H. mínima entre Alos Palsar y MDE Srtm.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
CORRELACION - H. MINIMA	0.00	CORRELACION

Nota: La tabla muestra los resultados de correlación de H. mínima entre Alos Palsar y Srtm.

Tabla 66

Comparación de correlación de densidad de drenaje entre Alos Palsar y MDE Srtm.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
CORRELACION - DENSIDAD DE DRENAJE		1.00

Nota: La tabla muestra los resultados de correlación de de densidad de drenaje entre Alos Palsar y Srtm.

Tabla 67

Comparación de correlación de factor forma entre Alos Palsar y MDE Srtm.

SUB CUENCA	MDE ALOS PALSAR	MDE SRTM
CORRELACION - FACTOR FORMA	1.00	

Nota: La tabla muestra los resultados de correlación de factor forma entre Alos Palsar y Srtm.

4.2.3.4. CUADRO DE RESULTADOS – MEDIO BAJO CHICAMA

Tabla 68

Cuadro comparativo final de la evaluación de resultados entre: Alos Palsar, MDE Aster y MDE Srtm. Se puede apreciar que los modelos digitales de elevación: Alos Palsar y MDE Aster, son los modelos idóneos para ser usados en la parte baja de la cuenca del río Chicama.

CUENCA N° 08	MDE ALOS PALSAR	MDE ASTER	MDE ASTER	MDE SRTM	MDE SRTM	MDE ALOS PALSAR
H. MINIMA	1.00			0.00		0.00
DENSIDAD DE DRENAJE	1.00			1.00		1.00
FACTOR FORMA	1.00			1.00		1.00

Nota: La tabla muestra los resultados de comparación, donde se aprecia que Alos Plasar y Aster MDE, son idóneos para ser usados en la parte baja.

4.3. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS

Un procedimiento menos subjetivo de analizar, es la normalidad de un conjunto de datos es a través de la prueba de normalidad. En este caso analizaremos la normalidad de los datos obtenidos de la caracterización morfométrica y red de drenaje trabajados con cada modelo digital de elevación.

Las hipótesis para este tipo de pruebas son:

***H₀:** la muestra proviene de una distribución normal.

***H_A:** la muestra no proviene de una distribución normal.

En una prueba estadística, se rechaza la hipótesis nula H_0 si el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que un nivel establecido arbitrariamente, convencionalmente 0,05 o 0,01.

Para el análisis de datos en la parte baja de la cuenca del río Chicama, por tener poca data se analizó por medio del coeficiente de correlación de Pearson entre dos modelos digitales (ALOS PALSAR – ASTER ; ASTER – SRTM ; SRTM – ALOS PALSAR), motivo por el cual no se puede forzar para trabajar los datos y correr en el programa Rstudio.

4.3.1. SUBCUENCA OCHAPE:

4.3.1.1 *Prueba de normalidad de H.mínima de:* Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.1855 a 0.7028

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.1.2 *Prueba de normalidad de Densidad de:* drenaje de Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.1545 a 0.7176

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.1.3 *Prueba de normalidad de Factor forma de:* Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.5523 a 0.9631

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H_0 , es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.2. SUBCUENCA SANTANERO:

4.3.2.1 Prueba de normalidad de H.mínima de: Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.8293 a 0.967

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.2.2 Prueba de normalidad de Densidad de: drenaje de Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.1911 a 0.6009

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.2.3 Prueba de normalidad de Factor forma de: Alos Palsar Dem, Aster Dem y Srtm Dem:

P-value: 0.1104 a 0.7823

Interpretación: Se observa que el p-value **>0.05**, por lo tanto se acepta el H0, es decir los datos tienen una distribución normal.

4.3.3 SUBCUENCA MEDIA BAJA CHICAMA:

4.3.3.1 MODELOS DIGITALES: ALOS PALSAR VS ASTER

a) Coeficiente de correlación:

- Altura mínima: 1.00
- Densidad de Drenaje: 1.00
- Factor forma: 1.00

b) INTERPRETACIÓN

La comparación y evaluación de los datos brindados por la subcuena nos arroja coeficientes de correlación de factor 1.00 en las tres características diferentes brindadas en donde se deduce una compatibilidad de datos entre estos dos modelos digitales, donde hay diferencias al momento de haber realizado el análisis

estadístico por los diferentes parámetros en consideración de sus características morfológicas y sus diferentes aspectos.

4.3.3.2 MODELOS DIGITALES: ASTER VS SRTM

a) Coeficiente de correlación:

- Altura mínima: 0.00
- Densidad de Drenaje: 1.00
- Factor forma: 1.00

b) INTERPRETACIÓN

El resultado obtenido de los coeficientes de correlación solo cumple dos de las tres características en donde se concluye que por tener un resultado cero en uno de sus características morfológicas se descarta la comparación y compatibilidad de análisis de los modelos descritos.

4.3.3.3 MODELOS DIGITALES: SRTM VS ALOS PALSAR

a) Coeficiente de correlación:

- Altura mínima: 0.00
- Densidad de Drenaje: 1.00
- Factor forma: 1.00

b) INTERPRETACIÓN

Al hacer la comparación de los dos modelos digitales nos arrojaron un resultado similar a lo descrito en el Ítem 2.1 en donde también solo dos de sus tres características cumplen, dejando en cero el factor de correlación de la altura mínima. Se concluye que por tener datos similares en esta característica nos arroja este factor de correlación en ceros.

V. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

1. Al trabajar con el modelo digital de elevación Alos Palsar en el programa Qgis with Grass, su DEM tiene mejor resolución y visión de sus drenajes, a comparación de Aster Dem, esto se debe a que Alos Palsar cuenta con un pixel de 12.5m x 12.5m, el nivel de detalle que brinda Alos Palsar para delimitar cuencas es muy bueno, obteniendo resultados aceptables. Mientras que Aster Y Srtm DEM , tienen un tamaño de pixel de 30m x 30m.
2. Una de las grandes ventajas que tiene el DEM Alos Palsar es el nivel de detalle y la proyección, ya no se proyecta como en el caso de Srtm y Aster. Así mismo, no tiene sumideros y vacíos como tal vez presentan Srtm y Aster. Las imágenes Alos Palsar en su gran mayoría están limpias y corregidas para poder trabajar, pero se recomienda darle un FILL para descartar si tienen imperfecciones pero sería muy pequeña la diferencia.
3. El modelo digital de elevación ASTER DEM, tiene una resolución intermedia a comparación del modelo digital SRTM DEM, esto puede ser debido a que SRTM presenta mayor cantidad de sumideros es por ello que se recomienda corregir los vacíos para poder ser trabajado en el programa QGis with grass y seguidamente realizar la caracterización morfométrica.
4. El programa RStudio (datos estadísticos), respalda la interpretación en el tipo de modelo digital idóneo a usar en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chicama.
5. Los resultados obtenidos utilizando las herramientas del programa QGis with Grass, permitieron conocer e interpretar los parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama.
6. Al analizar los resultados para la parte alta y media de la cuenca del río chicama en el programa Rstudio, se llegó a concluir lo siguiente: El modelo digital de elevación Alos Palsar, es idóneo para el uso en la parte alta y media. El DEM Aster, es idóneo el uso en la parte alta y parte media. Mientras que el DEM SRTM es idóneo usarlo en la parte alta.
7. Finalmente, para analizar los resultados para la subcuenca de la parte baja, se realizó a través del método de regresión y correlación lineal, dando como resultado final que los modelos digitales Alos Palsar y MDE Aster, son idóneos para el uso en la parte baja de la cuenca del río Chicama.

VI. CONCLUSIONES

1. Con el Modelo Digital de Elevación Alos Palsar DEM, se realizó la caracterización morfométrica y red de drenaje de la cuenca del río Chicama, el cual según el análisis estadístico su uso es idóneo en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chicama. Tomando como referencia la Subcuenca Ochape – en la parte Alta, se obtiene un p-Value=0.6977 a 0.7599, en la parte media se toma como referencia la Subcuenca Santanero, obteniendo un p-value=0.7502 a 0.8299, por lo mencionado anteriormente se acepta el H₀, quiere decir que tienen una relación normal entre sus datos. En la parte baja se toma como referencia a la Subcuenca Bajo Chicama, el coeficiente de relación de factor =1.00, en las tres características diferentes (H. mínima, densidad de drenaje y factor forma).
2. Con el modelo digital de terreno Aster Global Digital Elevation Model (ASTER DEM). En referencia a la Subcuenca Ochape - parte alta se obtiene un p-value=0.7028 a 0.8782, en la parte media en referencia a la Subcuenca Santanero, se obtiene un p-value=0.7171 a 0.8407 y en la parte Baja el coeficiente de relación de factor=1.00. Por lo tanto, se acepta el H₀, quiere decir que tienen una relación normal entre sus datos, siendo de uso idóneo para la parte Alta, Media y Baja de la cuenca del río Chicama.
3. Con el modelo digital de elevación del terreno de la misión topográfica Shuttle Radar (SRTM DEM). Tomando como referencia a la Subcuenca Ochape, en la parte Alta, se obtiene un p-value=0.5197 a 0.9471. Para la parte media – Subcuenca Santanero, se obtiene un p-value=0.6372 a 0.8293 y para la parte Baja, la H.mínim=0, densidad de drenaje=1, factor forma=1. Por ende, al tener 0 como resultado en una de las tres características se descarta la comparación y compatibilidad de análisis de los modelos descritos. Por lo tanto, el modelo digital de elevación SRTM solo es de uso idóneo para la parte Alta y Media del a cuenca del río Chicama.

4. Al concluir con la autenticidad a través de la prueba de normalidad y coeficiente de correlación usado en el análisis de evaluación de resultados en la presente tesis. Se propone considerar el procedimiento viable para la caracterización morfométrica y red de drenaje en cuencas hidrográficas mediante el uso del DEM Alos Palsar y Aster DEM para ser usado en la parte alta, media y baja de la cuenca del río Chicama. Por otro lado, Srtm DEM, solo es de uso viable en la parte alta y media, debido a que se obtuvo un valor igual a cero en una de las tres características morfométricas, se descarta la compatibilidad de análisis, para su uso en la parte baja de la cuenca del río Chicama.

VII. **RECOMENDACIONES**

1. Para el uso del Dem Alos Palsar, es viable para realizar la caracterización morfométrica y red de drenaje en cuencas hidrográficas, debido a que es una imagen con buena resolución (se puede visualizar mejor sus drenajes) teniendo una mejor trabajabilidad.
2. Para el Dem Aster, se recomienda corregir los sumideros (conocidos también como vacíos), de no ser corregido habrá ausencia de datos y los resultados de la caracterización morfométrica y red de drenaje serían alterados o no podría ver fluidez en la delimitación de la cuenca presentando dificultades de error en el proceso, se puede corregir haciendo uso de la herramienta: Grass - r.neighbors en Qgis.
3. El Dem SRTM, al descargarlo se encuentra proyectado en coordenadas geográficas, antes de ser usado se recomienda hacer el cambio a coordenadas UTM, porque si no la imagen satelital se desvía de la hoja de trabajo en Qgis with Grass, no logrando encontrarla y dificulta poder realizar el desarrollo de la delimitación de la cuenca.
4. Se recomienda realizar la caracterización morfométrica y red de drenaje en unidades hidrográficas, mediante la metodología usada en la presente tesis, ya que es de uso viable permitiendo revelar el

comportamiento morfométrico de una cuenca (permite analizar la forma, estructura, funcionamiento del sistema fluvial y extensión de las cuencas), para otros estudios permitirá realizar un inventario detallado de una unidad hidrográfica (cuenca), para interpretar la relación de las características geohidrológicas del terreno y sus correspondientes patrones de flujo, entre otros estudios que requiera el investigador.

Por otro lado, la tecnología espacial a través de la computación, usada en la presente tesis, permite de forma racional evaluar el funcionamiento de un sistema hidrológico, identificar áreas de peligrosidad por inundaciones y anegamientos, obtener y almacenar datos de cuencas. Así mismo, el uso del Qgis with Grass y la teledetección para analizar subcuencas, cuencas y microcuencas a través de modelos digitales de elevación como Alos Palsar DEM, Aster DEM y Srtm DEM, se han adaptado a los avances tecnológicos, proporcionando nuevos medios para la manipulación y análisis en función del problema a resolver, representando una buena alternativa para estudios morfométricos a bajo costo y en un menor tiempo.

VIII. REFERENCIAS

Aparicio, F., (2012). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F. Limusa S.A.

Autoridad Nacional del Agua. *Red de drenaje*.

<http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/glosario/red-de-drenaje>

Biblioteca de la Universidad de Syracuse. *Capas en un SIG*.

<https://researchguides.library.syr.edu/c.php?g=258118&p=1723814>

Cahuana, A., y Yugar W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CVI-233*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Civil.

Castillo, E., Chichiple, M. y López, R. (2017). *Comparación de los MDE ASTER y SRTM en el análisis morfométrico de la cuenca del Utcubamba (Perú)*. Instituto de Investigación Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable, (pp. 86,98).

Campos, D. (1987). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Potosí – México: Universidad Autónoma San Luis de Potosí.

Crespo, R., (2013). *Fórmulas y apuntes de estadísticas aplicada a las ciencias sociales*.

Diagnóstico Hídrico Rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua para servicios ecosistémicos hídricos para Sedalib S.A.

<http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5362926592.pdf>

Epicentro Geográfico.

<https://epicentrogeografico.com/2020/04/que-es-un-río-y-cuales-son-sus-partes/> .

Franz,. (2021). *Descargar un Modelo de Elevación DEM.*

<https://acolita.com/descargar-un-modelo-de-elevacion-dem/>

Ideas Medioambientales (2020). *Definición de una cuenca.*

<https://ideasmedioambientales.com/modelacion-hidrologica-de-verdad-es-tan-importante-en-mi-vida/>

De la Torre V., *Marco metodológico, criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de la cuenca “Ley 30640”.*

<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4423/ANA0002853.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, A., (5 de diciembre de 2013).

http://cuatrageografosyundestino.blogspot.com/2013/12/introduccion-los-riesgos-hidrologicos-i_5.html

Materano, L., (2015). Caracterización Morfométrica de una cuenca hidrográfica en los Andes Venezolanos a través de teledetección y Sig. Revista academia - Trujillo - Venezuela - ISSN 1690-3226- Julio-diciembre 2015. Volumen 14. N° 34.

Munir, M., y Triviño A., (2001). *Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación.* Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, ISSN 0212-9426, ISSN-e 2605-3322, N°. 31, (pp.23,46).

Olaya, V., (2004). *Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico.* Edición 0.95 (pp. 6, 9,18). <https://docplayer.es/27374201-Hidrologia-computacional-y-modelos-digitales-del-terreno.html>

Oñate, F., y Bosque, J., (2007). *Extracción de modelos digitales de elevación a partir de imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas de cuencas hidrográficas*. In Teledetección: Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional, (pp. 457,464).

Ordoñez, J., (2011). *Global Water Partnership*.

https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Hernández, J., y Correa. (2018). *Gráficos Con R*. Primera. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

<http://yihui.name/knitr/>.

Wikipedia. (30 de diciembre de 2020). *Misión topográfica Radar Shuttle*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle

Wikipedia. (8 de septiembre de 2008). *Cuenca hidrográfica*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_del_Amazonas#/media/Archivo:Amazonriverbasinbasemap.png

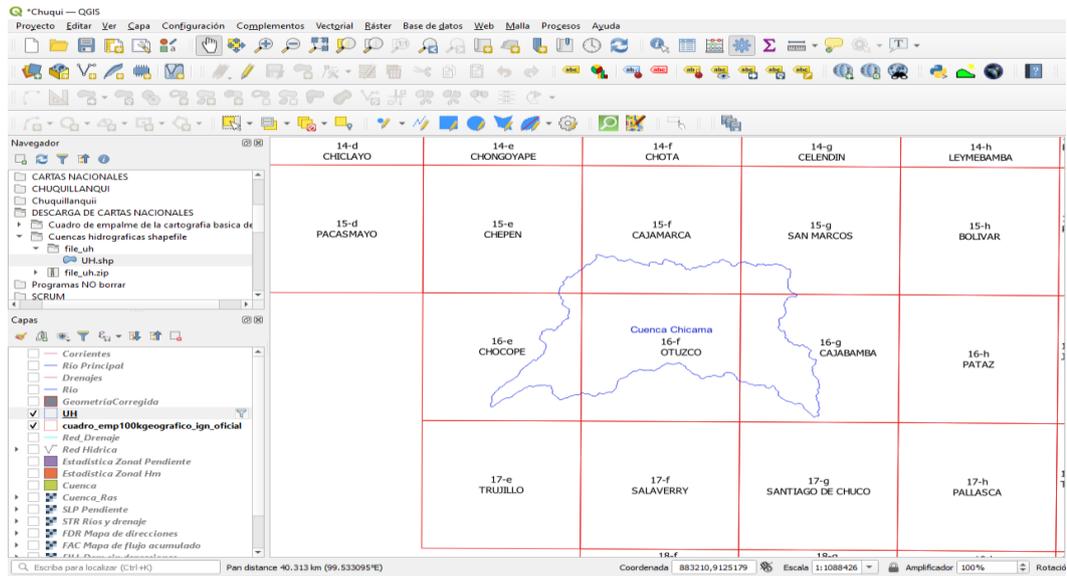
Wikipedia. (20 de mayo de 2021). *Cuenca hidrográfica*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_hidrogr%C3%A1fica

IX. ANEXOS

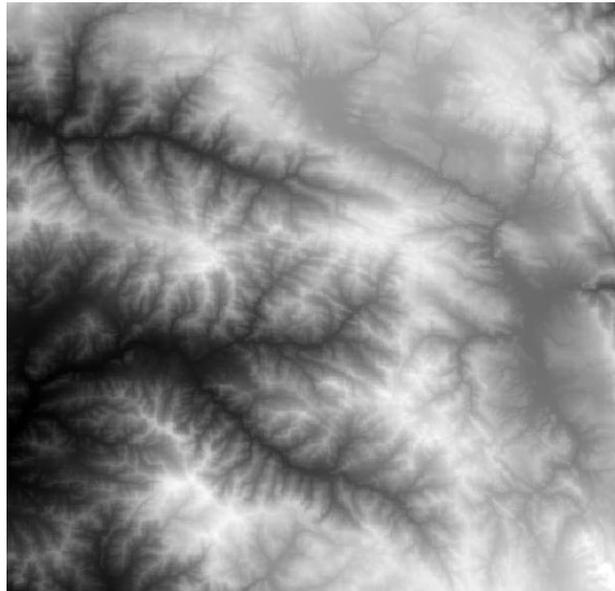
Anexo 1

Cuenca Chicama, cartas nacionales que la superponen.



Anexo 2

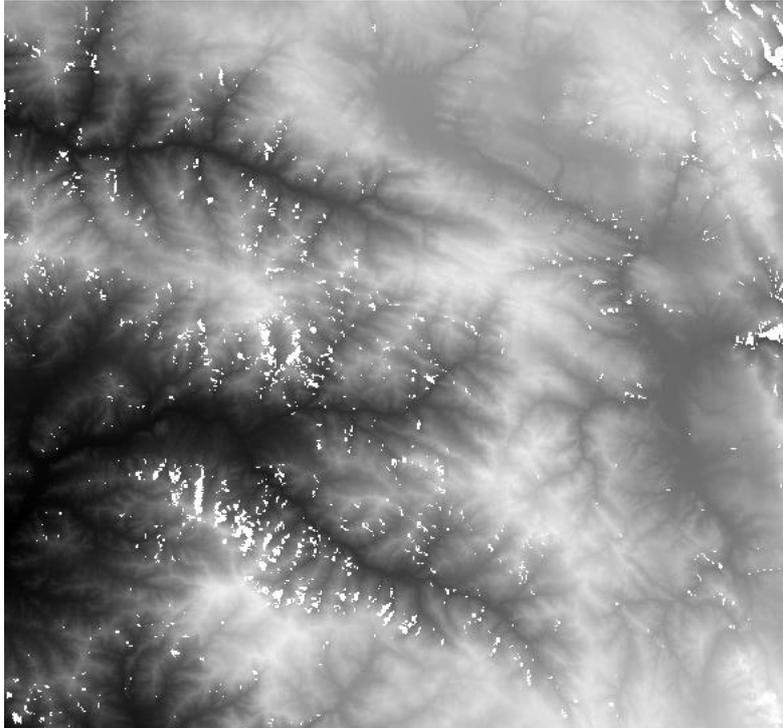
Aster Dem – Subcuenca Quirripano (DEM corregido, limpio y sin sumideros)



Nota: Imagen satelital descargada de earthdata.nasa.gov/search

Anexo 3

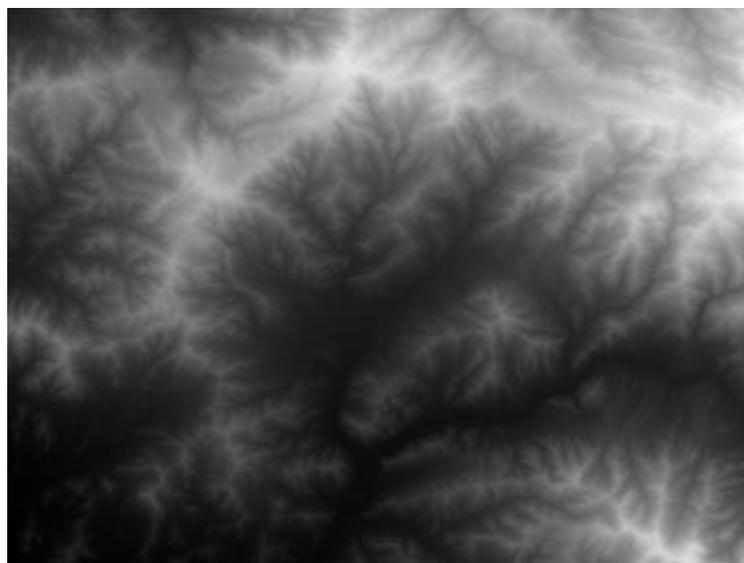
Srtm Dem – Subcuenca Bajo Chicama (DEM sin corregir con presencia de sumideros).



Nota: Imagen satelital descargada de earthexplorer.usgs.gov

Anexo 4

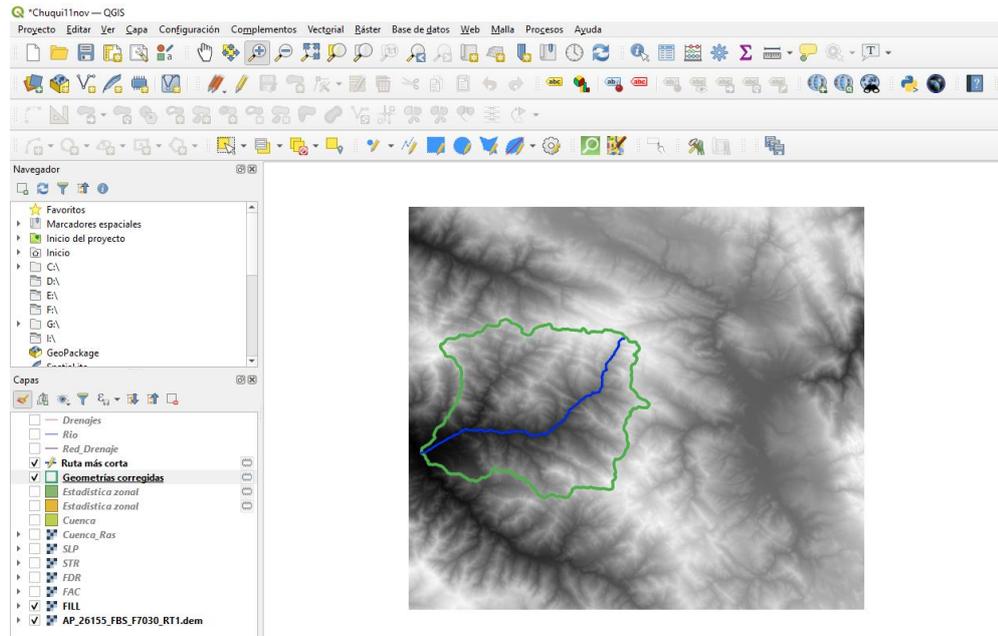
Alos Palsar DEM – Subcuenca Santanero (DEM corregido sin presencia de sumideros).



Nota: Imagen satelital descargada de search.asf.alaska.edu

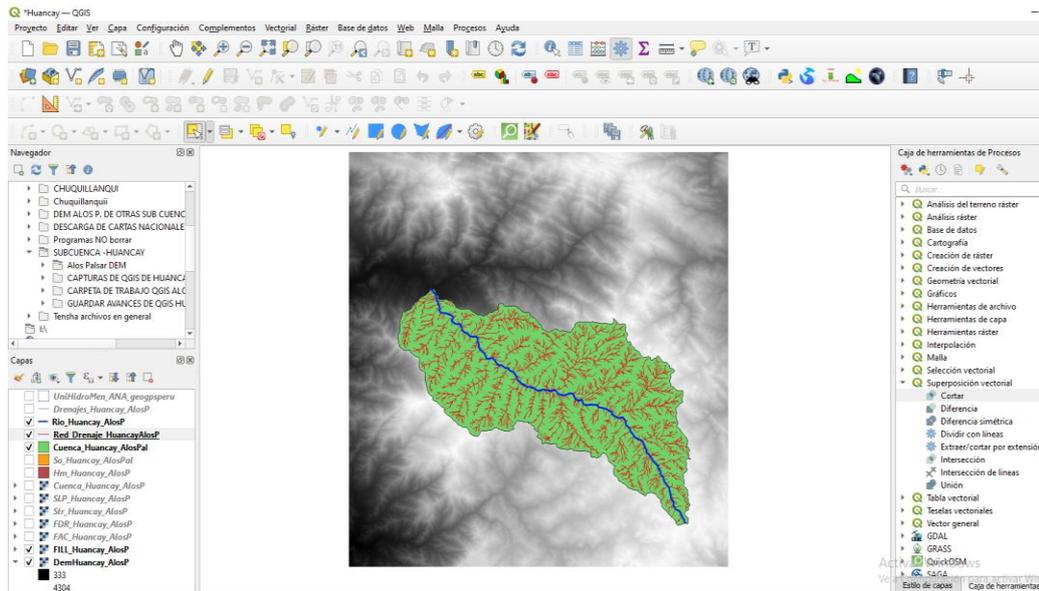
Anexo 5

Cauce principal de la Subcuenca Chuquillanqui.



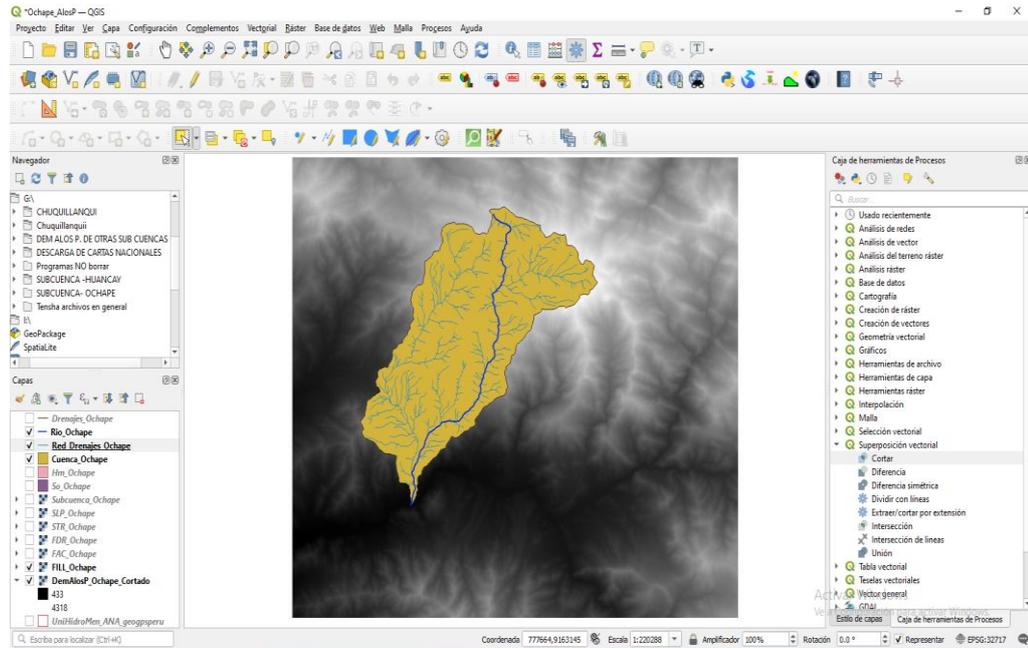
Anexo 6

Subcuenca Huancay, delimitada, red de drenajes y río principal.



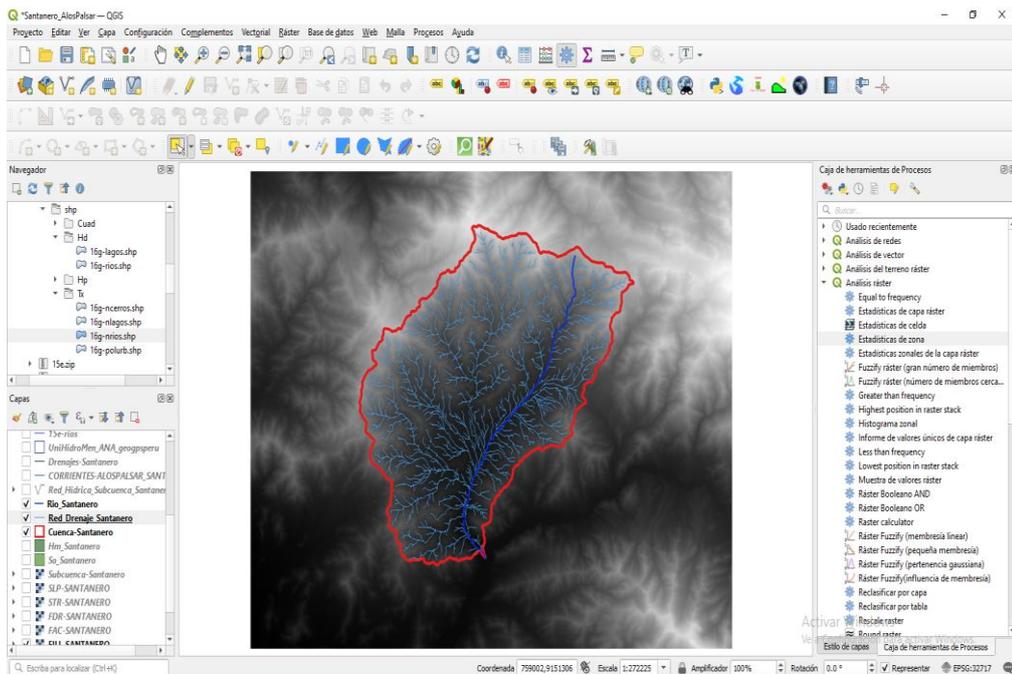
Anexo 7

Subcuenca Ochape, delimitada, red de drenaje y río principal.



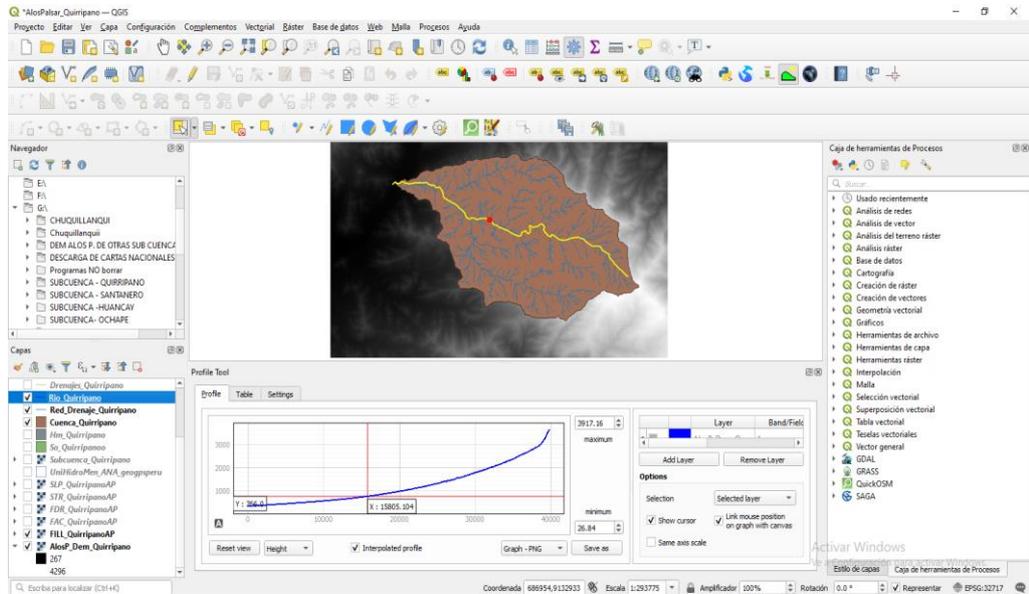
Anexo 8

Subcuenca Santanero, delimitada, red de drenaje y río principal



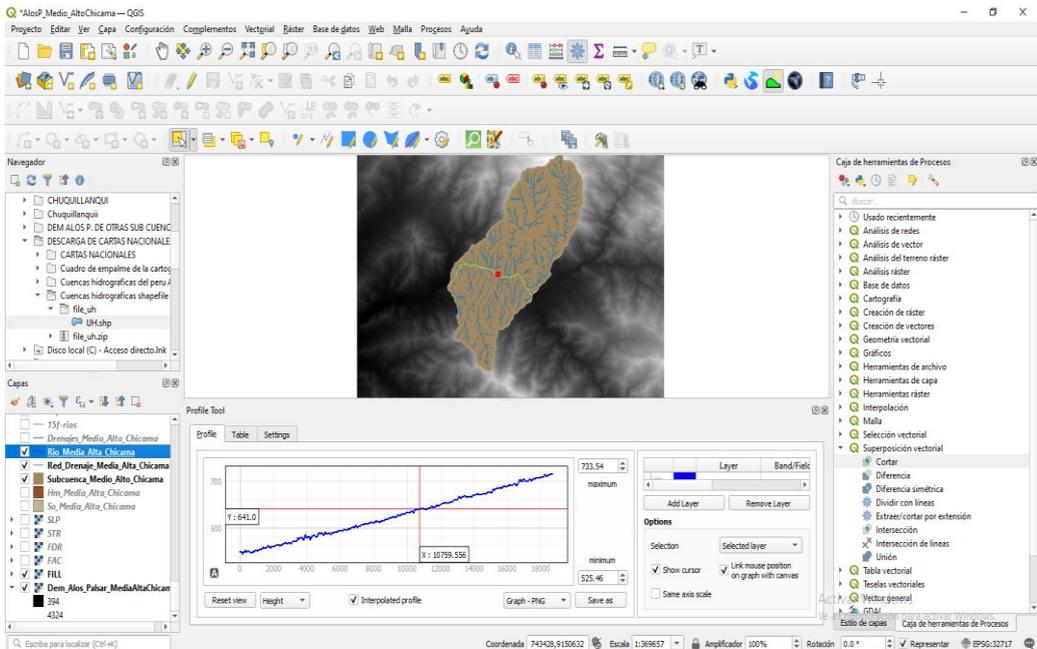
Anexo 9

Subcuenca Quirripano, delimitada, red de drenaje, río principal y su perfil altimétrico.



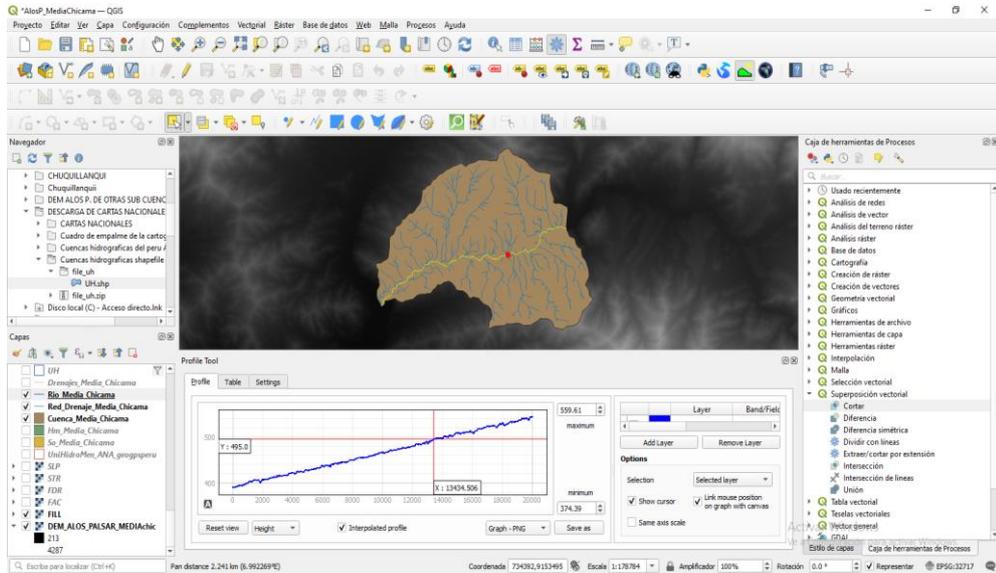
Anexo 10

Subcuenca Media Alta Chicama, delimitada, red de drenaje, río principal y su perfil altimétrico.



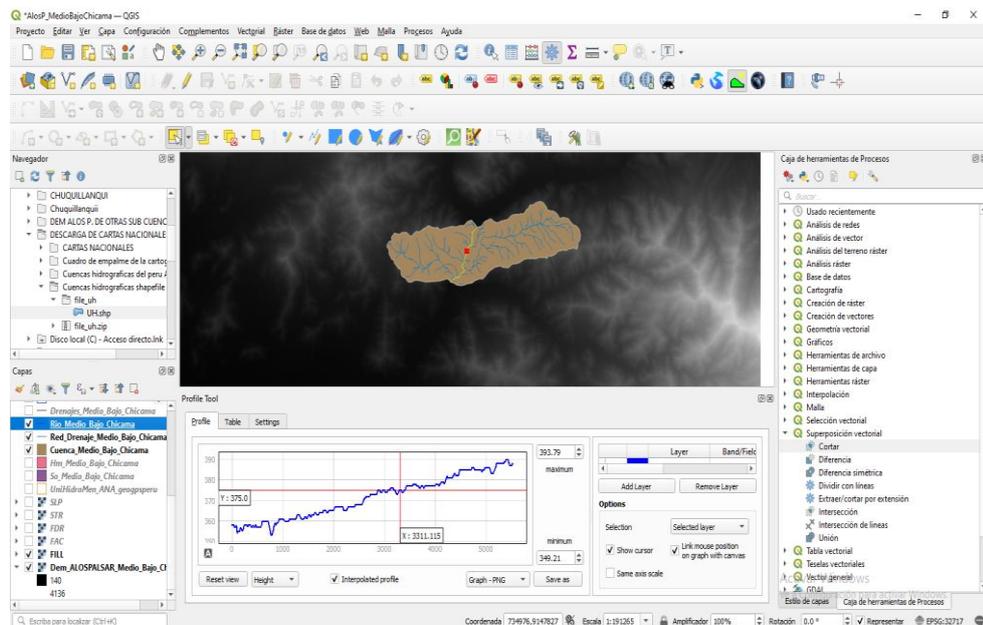
Anexo 11

Subcuenca Media Chicama, delimitada, red de drenaje, río principal y su perfil altimétrico.



Anexo 12

Subcuenca Medio Bajo Chicama, delimitada, red de drenaje, río principal y su perfil altimétrico.



Anexo 13

Subcuenca Bajo Chicama, delimitada, red de drenaje, río principal.

