

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Análisis comparativo de información satelital SRTM y ASTER
GDEM para la delimitación hidrológica de la cuenca del río
Higueras-Huánuco-2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Lavado Zevallos, Malko Antonio

ASESOR: Jacha Rojas, Johnny Prudencio

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43505192

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40895876

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0001-7920-1304

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
2	Verastegui Ayala, Yessica Julia	Maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes	43962020	0000-0002-4387-5013
3	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 09:30 horas del día **lunes 11 de noviembre de 2024**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- | | |
|--|------------|
| ✓ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO | PRESIDENTE |
| ✓ MG. YESSICA JULIA VERASTEGUI AYALA | SECRETARIA |
| ✓ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA | VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2489-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE INFORMACIÓN SATELITAL SRTM Y ASTER GDEM PARA LA DELIMITACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS-HUÁNUCO-2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. Malko Antonio LAVADO ZEVALLOS**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47).

Siendo las **10:30** horas del día **11 del mes de noviembre** del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769

PRESIDENTE

MG. YESSICA JULIA VERASTEGUI AYALA
DNI: 43962020
ORCID: 0000-0002-4387-5013

SECRETARIO (A)

MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135

VOCAL



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MALKO ANTONIO LAVADO ZEVALLOS, de la investigación titulada "Análisis comparativo de información satelital SRTM y ASTER GDEM para la delimitación hidrológica de la cuenca del Río Higuera – Huánuco - 2023", con asesor JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 124-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 11 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 02 de agosto de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

52. Lavado Zevallos, Malko Antonio.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	11%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
3	distancia.udh.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	www.revistaterraaustralis.cl	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
	Trabajo del estudiante	



RICHARD J. SOLIS TOLEDO,
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Manuel Lavado Rubio y Eulogia Zevallos De Lavado, su constante apoyo, aliento y amor incondicional han sido mi mayor inspiración para alcanzar este logro académico, gracias por estar siempre presentes en cada paso de este camino y por creer en mí sin importar nuestras diferencias de opiniones, esta investigación es también un tributo a su confianza en mí potencial. A mi esposa Rufina Tolentino Vega, que siempre he contado con ella para todo, que más que pareja es mi verdadera amiga, gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y profesional. A mi adorado hijo Mark Arthur Lavado Tolentino, por ser la razón de mi existir, su afecto y su amor son los detonantes de mi felicidad para superarme día a día. A mis hermanos Dorcas Madleny, Williams, Yenny, Gaudencia, Gilder Eugenio, Gilmer Manuel, Flor Mila, Guadalupe y familiares en general, con gratitud, dedico esta tesis de investigación a todos ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor, a mis Padres, a mi familia Lavado Tolentino y a mis amigos, así como a todas las fuentes bibliográficas que fueron fundamentales en el desarrollo de esta tesis. Su apoyo, colaboración y conocimiento fueron vitales para el éxito de este trabajo de investigación. Cada uno de ustedes dejó una huella imborrable en este proceso y contribuyó significativamente a mi crecimiento académico.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPITULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	18
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	19
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPITULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	22
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	28
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	35
2.2. BASES TEÓRICAS	41
2.2.1. INFORMACIÓN DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)	41

2.2.2. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	42
2.2.3. PRECISIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL	43
2.2.4. ANÁLISIS ESPECTRAL PARA IMÁGENES DEM	44
2.2.5. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE ELEVACIÓN DIGITAL	45
2.2.6. VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL	46
2.2.7. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA Y GEOMÉTRICA	48
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	49
2.3.1. CUENCA HIDROGRÁFICA	49
2.3.2. PRECIPITACIÓN SOBRE UNA CUENCA	61
2.3.3. CAUDAL DE DISEÑO	70
2.3.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	75
2.3.5. MODELO DIGITAL DE TERRENO	76
2.3.6. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	76
2.3.7. GLOSARIO DE TÉRMINOS	77
2.4. HIPÓTESIS	78
2.5. VARIABLES	79
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	79
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	79
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	80
CAPITULO III	82
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	82
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	82
3.1.1. ENFOQUE	82
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	82
3.1.3. DISEÑO	82
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	82
3.2.1. POBLACIÓN	82
3.2.2. MUESTRA	83
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	84
3.3.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	84
3.3.2. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	88
CAPITULO IV	95
RESULTADOS	95

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	95
4.1.1. MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)	95
4.1.2. DETERMINACIÓN DE CAUDALES	100
4.1.3. ESTIMACIÓN DE ERROR PLANIMÉTRICO DE IMAGEN	107
4.1.4. ESTIMACIÓN DE ERROR ALTITUDINAL	113
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	122
CAPITULO V.....	125
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	125
CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de caracterización de acuerdo con la dimensión	51
Tabla 2	Factores de rugosidad de Manning.....	71
Tabla 3	Coeficientes de Mac-Math	75
Tabla 4	Factor C para Burkli	75
Tabla 5	Operacionalización de variables	80
Tabla 6	Cuadrantes de Muestra.....	83
Tabla 7	Prueba Outlier en serie de datos	87
Tabla 8	Ficha de Prueba de Bondad	88
Tabla 9	Ficha de perfiles de cauce por imágenes DEM.....	89
Tabla 10	Ficha de ubicación planimétrica.....	89
Tabla 11	Ficha de delimitación geomorfológica a partir de imágenes DEM ..	90
Tabla 12	Ficha de información pluviométrica.....	91
Tabla 13	Ficha de determinación de intensidades alternas	92
Tabla 14	Ficha de estimación de caudales.....	93
Tabla 15	Ficha de estimación de error.....	93
Tabla 16	Ficha de RMSE	94
Tabla 17	Cuadro de imágenes satelitales recolectadas.....	95
Tabla 18	Punto de aforo para delimitación de cuenca	95
Tabla 19	Valores geomorfológicos por modelos	96
Tabla 20	Información pluviométrica Estación Canchán	100
Tabla 21	Prueba Outlier Estación Canchán.....	102
Tabla 22	Valores de precipitación validados Estación Canchán.....	103
Tabla 23	Prueba de Bondad para Estación Canchán	104
Tabla 24	Valores de estimación de precipitación en diferentes PR	105
Tabla 25	Valores de curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)	105
Tabla 26	Valores de caudal para diferentes periodos de retorno	107
Tabla 27	Valores en coordenadas del cauce levantado	108
Tabla 28	Prueba de error ASTER-GDEM	111
Tabla 29	Prueba de error SRTM.....	112
Tabla 30	Análisis de malla SRTM.....	115
Tabla 31	Análisis de malla ASTER-GDEM	118
Tabla 32	Error planimétrico.....	122

Tabla 33 Error altimétrico.....	123
Tabla 34 Valores de caudal para diferentes periodos de retorno	123
Tabla 35 Matriz de Consistencia.....	136
Tabla 36 Altitudes divididas por áreas imagen SRTM	139
Tabla 37 Pendiente de cuenca imagen SRTM.....	139
Tabla 38 Pendiente de red hídrica imagen SRTM	139
Tabla 39 Altitudes divididas por áreas imagen ASTER GDEM	140
Tabla 40 Pendiente de cuenca imagen ASTER GDEM	140
Tabla 41 Pendiente de red hídrica imagen ASTER GDEM.....	140
Tabla 42 Distribución Normal – Estación Canchán.....	141
Tabla 43 Distribución Log Normal 2P – Estación Canchán	142
Tabla 44 Distribución Log Normal 3P – Estación Canchán	144
Tabla 45 Distribución Gamma 2P – Estación Canchán	146
Tabla 46 Distribución Gamma 3P – Estación Canchán	147
Tabla 47 Distribución Gumbel – Estación Canchán.....	149
Tabla 48 Distribución Log-Gumbel – Estación Canchán.....	151
Tabla 49 Perfil de cauce	158
Tabla 50 Ubicación planimétrica.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imagen de elevación digital	42
Figura 2 Esquema de delimitación de una cuenca hidrográfica.....	50
Figura 3 Perímetro y área de cuenca.....	52
Figura 4 Esquema de determinación de curva hipsométrica	52
Figura 5 Curva de frecuencia y curva hipsométrica	53
Figura 6 Clasificación de cuencas por su forma	54
Figura 7 Rectángulo equivalente	55
Figura 8 Estimación de la pendiente de la cuenca por Alvord	57
Figura 9 Perfil longitudinal de cauce	57
Figura 10 Orden de corrientes de cuenca.....	59
Figura 11 Génesis de precipitación.....	62
Figura 12 Esquema generalizado de un pluviómetro.....	63
Figura 13 Esquema de un pluviógrafo	63
Figura 14 Gráfica de un pluviograma.....	64
Figura 15 Esquema de una cuenca aplicada el Polígono de Thiessen.....	65
Figura 16 Isoyetas de la región Huánuco	66
Figura 17 Esquema generalizado de un hietograma	68
Figura 18 Gráfica de curva masa y su hietograma	69
Figura 19 Periodo de retorno de acuerdo con el tipo de obra.....	70
Figura 20 Estimación de rugosidad en cauces naturales.....	73
Figura 21 Mapa de cuadrantes de imágenes satelitales del Perú.....	83
Figura 22 Visita a la zona del cauce de interés.....	84
Figura 23 Entorno ArcMap para el tratamiento de imágenes DEM.....	85
Figura 24 Servidor Earth Explorer para la obtención de información SRTM.....	86
Figura 25 Servidor ANDREA de la Autoridad Nacional del Agua.....	86
Figura 26 Información pluviométrica recolectada del sistema ANDREA.....	91
Figura 27 Delimitación de DEMs.....	96
Figura 28 Pendientes de la cuenca del río Higuera	98
Figura 29 Red hídrica de la cuenca del río Higuera	98
Figura 30 Curva hipsométrica Cuenca Higuera – ASTER GDEM.....	99
Figura 31 Curva hipsométrica Cuenca Higuera – SRTM	99
Figura 32 Prueba Outlier Estación Canchán.....	103

Figura 33 Distribución de Gamma de 2 parámetros	104
Figura 34 Curva IDF	106
Figura 35 Hietograma para PR de 100 años	106
Figura 36 Determinación de caudal SRTM para 100 años	107
Figura 37 Vista de cauce en planta.....	110
Figura 38 Vista de perfil longitudinal del cauce.....	110
Figura 39 Vista en Civil3D – Levantamiento con GPS.....	113
Figura 40 Modelo de elevaciones de la zona.....	114
Figura 41 Presentación de mallas de análisis.....	115
Figura 42 Ubicación de la zona de investigación.....	138
Figura 43 Distribución Normal – Estación Canchán.....	142
Figura 44 Distribución Log Normal 2P – Estación Canchán	144
Figura 45 Distribución Log Normal 3P – Estación Canchán	146
Figura 46 Distribución Gamma 2P – Estación Canchán	147
Figura 47 Distribución Gamma 3P – Estación Canchán	149
Figura 48 Distribución Gumbel – Estación Canchán.....	150
Figura 49 Distribución Log-Gumbel – Estación Canchán	152
Figura 50 Hietograma Pr=10 años.....	152
Figura 51 Hietograma Pr=25 años.....	153
Figura 52 Hietograma Pr=50 años.....	153
Figura 53 Hietograma Pr=100 años.....	154
Figura 54 Hietograma Pr=500 años.....	154
Figura 55 Caudal PR=10 años – SRTM.....	155
Figura 56 Caudal PR=25 años – SRTM.....	155
Figura 57 Caudal PR=50 años – SRTM.....	155
Figura 58 Caudal PR=100 años – SRTM.....	156
Figura 59 Caudal PR=500 años – SRTM.....	156
Figura 60 Caudal PR=10 años – ASTER GDEM	156
Figura 61 Caudal PR=25 años – ASTER GDEM	157
Figura 62 Caudal PR=50 años – ASTER GDEM	157
Figura 63 Caudal PR=100 años – ASTER GDEM	157
Figura 64 Caudal PR=500 años – ASTER GDEM	158
Figura 65 Inicio de recorrido de zona de interés	162
Figura 66 Identificación de las zonas cercanas al cauce	162

Figura 67 Reconocimiento topográfico de la zona	162
Figura 68 Estacionamiento de estación total	163
Figura 69 Primer tramo de levantamiento topográfico	163
Figura 70 Levantamiento de márgenes de cauce	163
Figura 71 Inicio de levantamiento segundo día	164
Figura 72 Levantamiento de cauce.....	164
Figura 73 Levantamiento de cauce aguas arriba.....	164
Figura 74 Verificación de nivel de cauce	165
Figura 75 Recorrido de identificación de características de bancos de cauce	165
Figura 76 Identificación de edificaciones vulnerables	165
Figura 77 Identificación de viviendas vulnerables.....	166

RESUMEN

En la elaboración de esta investigación, se concluyó que, al realizar una comparación entre modelos de elevación digital (DEM), como el modelo SRTM y el modelo ASTER GDEM, el modelo SRTM demostró una mayor validez y confiabilidad. Esta evaluación se basó en la identificación altimétrica y planimétrica en un tramo de 1 km de extensión del cauce del río Higueras. En el caso de los modelos digitales de elevación SRTM y ASTER GDEM, se observó una variación planimétrica de 95.77 y 96.48 metros, respectivamente. Esto indica que el modelo más preciso para la delimitación hidrológica es el modelo SRTM. En cuanto a los valores de delimitación geomorfológica, para el modelo de elevación digital SRTM se obtuvieron los siguientes resultados: coeficiente de compacidad de 2.04, factor de forma de 0.80, densidad de drenaje de 0.65, frecuencia de ríos de 0.32, altitud media de 3973.50 metros sobre el nivel del mar (msnm), pendiente de cuenca de 8.19%, y pendiente de cauce de río de 20.99%. Para el modelo ASTER GDEM, se registraron los siguientes valores: coeficiente de compacidad de 2.02, factor de forma de 0.71, densidad de drenaje de 0.67, frecuencia de ríos de 0.34, altitud media de 3991.00 msnm, pendiente de cuenca de 14.16%, y pendiente de cauce de río de 26.94%. En lo que respecta a los valores de caudal para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, se obtuvieron los siguientes resultados: Para el modelo SRTM, los caudales fueron de 195.50, 210.00, 221.80, 234.90 y 274.50 metros cúbicos por segundo (m³/s), respectivamente. Para el modelo ASTER GDEM, los caudales correspondientes fueron de 169.80, 182.30, 192.60, 204.20 y 239.80 m³/s. En resumen, se determinó que el modelo que mejor se ajusta a la realidad es el modelo SRTM, ya que ofrece valores más precisos en comparación con el terreno real.

Palabras Clave: ASTER GDEM, SRTM, estimación de error, Río Higueras, precisión, caudal, geomorfología, cuenca.

ABSTRACT

In carrying out this research, it was concluded that, when making a comparison between digital elevation models (DEM), such as the SRTM model and the ASTER GDEM model, the SRTM model demonstrated greater validity and reliability. This evaluation was based on altimetric and planimetric identification in a 1 km stretch of the Higuera River channel. In the case of the SRTM and ASTER GDEM digital elevation models, a variation of 95.77 and 96.48 meters was observed, respectively. This indicates that the most accurate model for hydrological delimitation is the SRTM model. Regarding the geomorphological delimitation values, for the SRTM digital elevation model the following results were obtained: compactness coefficient of 2.04, shape factor of 0.80, drainage density of 0.65, river frequency of 0.32, average altitude of 3973.50 meters above sea level (masl), basin slope of 8.19%, and river channel slope of 20.99%. For the ASTER GDEM model, the following values were recorded: compactness coefficient of 2.02, shape factor of 0.71, drainage density of 0.67, river frequency of 0.34, average altitude of 3991.00 meters above sea level, basin slope of 14.16%, and river channel slope of 26.94%. Regarding the flow values for the return periods of 10, 25, 50, 100 and 500 years, the following results were obtained: For the SRTM model, the flows were 195.50, 210.00, 221.80, 234.90 and 274.50 cubic meters per second (m³/s), respectively. For the ASTER GDEM model, the corresponding flow rates were 169.80, 182.30, 192.60, 204.20 and 239.80 m³/s. In summary, it was determined that the model that best fits reality is the SRTM model, since it offers more accurate values compared to the real terrain.

Keywords: ASTER GDEM, SRTM, error estimation, Río Higuera, precision, flow, geomorphology, basin.

INTRODUCCIÓN

La delimitación hidrológica de una cuenca es de suma importancia para la gestión sostenible del agua y la toma de decisiones informadas en materia de recursos hídricos. Al considerar la cuenca del río Higuera, se puede afirmar que la utilización de información satelital mejora significativamente los resultados obtenidos en este proceso de delimitación hidrológica. Teniendo en cuenta el desarrollo de información satelital se pudo identificar que los modelos más aplicados en la modelización hidrológica son los modelos de elevación digital ASTER GDEM y SRTM si dicha información está mal o no corresponde al terreno actualizado el modelo ejecutado no presentará resultados confiables y por ende los recursos hidrológicos determinados serán erróneos en el proceso de estimación. A partir de esto la presente investigación plantea una serie de parámetros de comparación con la finalidad de determinar qué modelo es el más adecuado para una modelización hidrológica en la cuenca del río Higuera. Con ello la investigación se estructura de la siguiente forma:

CAPÍTULO I: Se plantea el contexto de la investigación, la descripción de la problemática y se formulan los problemas y objetivos de la investigación, así también se establecen la justificación, limitación y viabilidad en la que se encuentra la investigación en su realización.

CAPÍTULO II: Se fundamentan las bases teóricas sobre la cual regirán los procesos de los resultados obtenidos, también se establece la hipótesis con sus respectivas variables.

CAPÍTULO III: Se fundamentan las bases metodológicas que se establecieron para la investigación con la finalidad de seguir un orden determinado para la obtención de resultados.

CAPÍTULO IV: Se evidencian los resultados obtenidos de la investigación con lo cual se establecerá el análisis de contrastación de hipótesis.

CAPITULO V: Se plantea la discusión de los resultados, comparando los valores obtenidos con la información encontrada en los antecedentes planteados.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para la delimitación de la morfología y morfometría de una cuenca hidrográfica es relevante tener en cuenta los parámetros que permiten establecer las descripciones dentro de los procesos hidrológicos que se originan dentro de la cuenca, tales como caudales máximos, erosión del suelo y el incremento de agua subterránea. En los países en vías de desarrollo, la investigación morfométrica es menos frecuente, sin embargo por el contexto en el que se encuentran su aplicación toma una gran relevancia, especialmente en las regiones no instrumentadas. Con ello también se fundamenta que de la delimitación de una cuenca se puede estimar los parámetros de relieve, forma y drenaje, esta información se logra caracterizar a partir de los sistemas de información geográfica (SIG). (Mejía, 2021)

A nivel global los Sistemas de Información Geográfica (SIG), disponen de una metodología de administración y observación de los recursos naturales con bases de datos de centros urbanos, a partir de los cuales se pueden establecer, analizar y evaluar los riesgos en las que se ven ciertas áreas influenciadas por los factores de riesgo naturales, esto con el fin de analizar las situaciones de vulnerabilidad y con ello se lograría llegar a influenciar en el sector urbano o rural mediante SIG para la prevención de riesgos en la zona. La aplicación del SIG puede influenciar en la determinación del número de curva (CN), esta metodología es aplicada de manera recurrente para la transformación de los valores de precipitación efectiva en caudales de diseño, planteándose directamente a partir de la observación de los fenómenos hidrológicos para distintos tipos de suelo con variaciones en los estados, en las condiciones de humedad considerados. (Lavao, 2014)

Para la última década en la investigación de información satelital se han incrementado las bases de datos generando así una amplia oferta de información en tiempo más continuo, si bien la cuenca del río Higuera presenta un estudio presentado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) esta

se elaboró en el año 1981 para el denominado Proyecto Manejo de Cuencas esta información si bien puede servir de base para la delimitación de la cuenca no está actualizada acorde a los parámetros actuales, adicionalmente a ello el río Higueras forma parte importante de la región ya que es uno de los puntos de captación de agua para la distribución a la población es por ello que se requiere una delimitación de la cuenca y estimar cuál de los tipos de información se deberían aplicar en la delimitación de una cuenca tan importante para la región ya sea mediante datos satelitales SRTM o ASTER GDEM y cuáles son las principales diferencias entre ellas en medida de la delimitación hidrológica de la cuenca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál información satelital SRTM o ASTER GDEM presenta una mayor precisión, en la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higueras?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cómo influye en la delimitación satelital planimétrica y altimétrica de la cuenca del río Higueras, la información satelital SRTM o ASTER GDEM?

¿Cuáles son los valores de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Higueras, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM?

¿Cuáles son los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar cuál información satelital SRTM o ASTER GDEM presenta mayor precisión, en la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higueras.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular la diferencia de la planimetría y altimétrica de la cuenca del río Higuera, con la información satelital SRTM o ASTER GDEM.

Determinar los valores de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Higuera, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM.

Estimar los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Esta investigación se fundamenta en la aplicación de técnicas de delimitación de cuencas a través de la utilización de datos satelitales provenientes de SRTM y ASTER GDEM. Este enfoque permite ampliar la perspectiva en cuanto a la calidad de la información utilizada para definir los límites de una cuenca hidrográfica específica. En consecuencia, se logró discernir los parámetros esenciales que optimizan la selección de datos pertinentes al iniciar una investigación, posibilitando así la generalización del proceso a diversas cuencas de interés. De manera adicional, esta investigación propició el análisis detallado del comportamiento hidrológico de la región, basándose en la información recolectada. Este análisis permitió identificar las variaciones significativas presentes en los datos, proporcionando una comprensión más profunda de la dinámica hidrológica. Finalmente, a partir de este análisis, se logró establecer una sólida base de información que servirá como fundamento para investigaciones futuras relacionadas con la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera. En resumen, la investigación no solo se justifica por la aplicación de métodos avanzados de delimitación de cuencas a través de datos satelitales, sino también por su contribución al establecimiento de parámetros fundamentales y la generación de conocimientos valiosos sobre el comportamiento

hidrológico de la zona, lo cual tendrá implicaciones significativas para futuras investigaciones en el mismo campo.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Esta investigación planteó establecer los parámetros geomorfológicos de la cuenca, con la cual se lograron identificar las características hidrológicas de la cuenca del río Higuera con ello se actualizaron los valores paramétricos de la cuenca en esta zona, esta delimitación se hizo a partir de 2 tipos de informaciones satelitales, las cuales fueron el SRTM y ASTER GDEM de estas se estableció cuál es la información que más se ajusta a la realidad de la zona estableciendo así que tipo de información es la más adecuada para la delimitación de cuencas en la zona. El proceso y tratamiento de la información satelital se realizó en el software ArcGIS, dentro de las herramientas que contiene el software se pudo identificar las herramientas de simplificación en la delimitación geométrica y morfométrica de la cuenca del río Higuera, la caracterización hidrológica de la cuenca se estimó a partir de la aplicación del software Hec-HMS, el programa presentó herramientas simplificadas para la estimación de caudales a partir del cálculo de intensidades con los valores de precipitación recolectadas.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Esta investigación ha alcanzado la creación de fichas de comparación y gráficos que permiten identificar de manera clara y detallada las discrepancias existentes entre los datos satelitales proporcionados por SRTM y ASTER GDEM. Este análisis ha desempeñado un papel significativo en el proceso de delimitación de cuencas hidrológicas en la región de Huánuco, facilitando la identificación de particularidades en los conjuntos de datos. Como resultado, se han establecido parámetros cruciales para la selección de información durante el proceso de delimitación de cuencas. Estos parámetros proporcionan directrices fundamentales que no solo aumentan la eficacia de la investigación actual, sino que también sientan las bases para futuros estudios en el ámbito de la delimitación

hidrológica en la mencionada región. En resumen, a través de la creación de fichas comparativas y gráficos detallados, esta investigación ha contribuido de manera significativa a la comprensión de las diferencias entre los datos satelitales de SRTM y ASTER GDEM, fortaleciendo así la capacidad de realizar delimitaciones precisas de cuencas hidrológicas en la región de Huánuco y estableciendo criterios sólidos para la selección de datos en futuros proyectos relacionados.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Aunque la investigación se basa en antecedentes en la zona, es importante destacar que estos datos no se encuentran actualizados. Por ende, se utilizaron únicamente como referencia para valores geomorfológicos durante la investigación. Esta elección permitió iniciar el estudio con una guía inicial y a partir de ahí, determinar con precisión las características específicas de la zona. En relación con la información de pluviometría y caudales, se procedió al cálculo de estos datos utilizando la estación ubicada dentro del cauce del río Higuerras. Este enfoque aseguró la obtención de información directa y reciente, fortaleciendo la validez y relevancia de los resultados obtenidos en la investigación. En resumen, aunque se aprovecharon los antecedentes existentes como punto de partida, la investigación se centró en datos actualizados y directos para garantizar la precisión de las características geomorfológicas y la información relacionada con pluviometría y caudales en la zona del río Higuerras.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación si bien presentó ausencia de datos actualizados estas se lograron subsanar a partir de la nueva delimitación que se obtuvo en la investigación estableciendo los valores de parámetros importantes para el análisis hidrológico de la zona, a partir de ello se identificó que la investigación se encuentra viable en su realización debido a la factibilidad económica y de ejecución. La investigación se fundamenta en la aplicación de herramientas especializadas como ArcGIS y HEC-HMS, las cuales desempeñan roles cruciales en el análisis geoespacial y la modelización hidrológica. ArcGIS un Sistema de Información Geográfica, posibilita la integración de datos

geoespaciales y facilita la representación precisa del relieve mediante el procesamiento de imágenes satelitales, como SRTM y ASTER GDEM. Además, con la extensión Arc Hydro Tools, se lleva a cabo un detallado modelado de cuencas hidrográficas. Por su parte, HEC-HMS se centra en la modelización hidrológica, permitiendo la simulación de procesos como la precipitación, la escorrentía y la infiltración, y posibilitando la creación de curvas IDF y análisis de hidrogramas. Estas herramientas son clave para establecer parámetros de selección de información, calibrar, validar modelos y en última instancia comprender en profundidad el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Higuera, sentando bases sólidas para futuras investigaciones en delimitación hidrológica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Para Gonzales (2020), en la investigación que titula “Determinación de factores de corrección altitudinal para modelos digitales de elevación”, elaborada para la revista geográfica de Chile, establece como objetivo dar información relacionada a la precisión con la cual se elaboran modelos digitales de elevación (MDE), establecer los parámetros con la cual se trata la información geodésica, determinar la precisión vertical en la cual se realice los modelos de terreno comparados desde la vista de altimetría a partir de 3 metodologías las cuales fueron: SRTM, ASTER GDEM y PALSAR, identificar los factores para la corrección altitudinal local a partir de la metodología de la ecuación de observación que basan en los parámetros de los mínimos cuadrados. De la investigación se pudo concluir lo siguiente: La zona escogida para la elaboración de la investigación fue la zona central de Chile la cual comprende las zonas de la comunidad de Pudahuel, Estación Central y la zona de Santiago. De este tipo de líneas geográficas se tomaron en cuenta a 4 zonas. Se pudo estimar que para la línea denominada Valparaíso – Santiago, en la realización de la investigación se pudo estimar que la variación altitudinal en la zona entre los valores estimados por MDE y una nivelación presenta una diferencia de alrededor de los -28 m a +10 m el promedio de error estimado RMSE es de ± 11 m, estimados a partir de los 3 MDE. Para la línea comprendida entre Santiago – Los Andes, los MDE realizados en la zona arrojan alrededor de un rango de valores de entre -23 m a +16 m, el promedio de error presentado por el RMSE de ± 9 m. Para la tercera línea que comprende Los Andes – Río Blanco, el error estimado para el MDE para la zona se estimó alrededor de los -20 m a 21 m, estimándose así un promedio de error presentado por el RMSE de ± 9 m. Para la última línea geográfica la cual comprende la zona de Río Blanco – Portillo, de esta

zona se logró evaluar los MDE estimando una nivelación entre los rangos de -18 m a +15 m, con un promedio de error por RMSE de ± 6 m. De la investigación se determinó el rango de variaciones de acuerdo a las 3 metodologías y las 4 zonas de nivelación, las cuales fueron: Para la zona de Valparaíso – Santiago, se obtuvieron los valores de ± 9 , ± 4 y ± 5 m mediante las metodologías de ASTER-GDEM, SRTM y PALSAR respectivamente. Para la zona de Santiago – Los Andes, se obtuvieron los valores de ± 7 , ± 4 y ± 4 m mediante las metodologías de ASTER-GDEM, SRTM y PALSAR respectivamente. Para la zona de Los Andes – Río Blanco, se obtuvieron los valores de ± 6 , ± 6 y ± 4 m mediante las metodologías de ASTER-GDEM, SRTM y PALSAR respectivamente. Para la zona de Río Blanco – Portillo, se obtuvieron los valores de ± 6 , ± 5 y ± 6 m mediante las metodologías de ASTER-GDEM, SRTM y PALSAR respectivamente. Se pudo identificar que la zona de Valparaíso – Santiago, presente una corrección altitudinal del 41%, para Santiago – Los Andes, una corrección de 45%, para Los Andes – Río Blanco, una corrección del 42% y para el tramo de Río Blanco – Portillo, una corrección del 16%. Se pudo estimar que a partir de la determinación de parámetros de ajuste desarrollados a partir de la ecuación de observación lo cual se pudo deducir a partir de una expresión polinómica. Se concluye que los resultados obtenidos de la expresión polinómica se ajustan de manera óptima a la forma del terreno obteniendo de manera más próxima el modelo del terreno, esta metodología es netamente aplicada a la exactitud vertical y ajusta los valores locales de la zona de análisis. Se pudo identificar que de las líneas de nivelación analizadas evidenciando que a una mayor altitud se presenta una disminución del error de exactitud, dándose así una variación de acuerdo con la característica de pendiente en la zona. De la elaboración de los modelos se pudo identificar que las metodologías SRTM y ALOS PALSAR son las más precisas. En parte de la información recopilada se pudo determinar que para los modelos de elevación se presentaron errores sistemáticos en la zona central de Chile estos siendo ligados directamente a factores de relieve de la zona en la cual se lograron determinar que ciertas zonas fueron sobre dimensionadas causadas directamente por las sombras,

distorsiones de terreno que fueron directamente captados por los lentes de los radares y mal interpretados al momento de elaborar el MDE. Si bien la investigación fundamenta ciertos puntos los cuales influyen directamente en la elaboración de un MDE se requiere elaborar una investigación más detallada con el fin de elaborar una caracterización más precisa en la cual se logren determinar los factores de error que se ocasionen dentro de la zona de interés.

Según Tomé (2020), en la investigación que titula “Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México” realizada para la Universidad Nacional del Comahue plantea como objetivos de investigación los siguientes: En esta investigación se plantea la elaboración de una caracterización morfológica de la cuenca del río Huitzilac, establecer los parámetros cuantitativos y modelos de información geográfica (SIG), estimar los valores geométricos característicos que comprende la zona de la cuenca, determinación del orden de los ríos que conforman la cuenca de interés, identificación de las características morfométricas. De la investigación se pudo concluir: Una de los programas usadas para la cuenca fue el software SNAP 8.0, con la metodología SIG, identificando así que la zona de la cuenca se encuentra en la zona E14, delimitando e identificando los parámetros geométricos netamente en el software ArcGIS. Se aplicaron para la obtención de la curva hipsométrica, curvas de nivel distanciadas cada 200 metros. Se pudo caracterizar que la zona presenta un 46% de llanura aluvial, un 20% de meseta basáltica, un 19% de estrato volcánico, 12% de meseta basáltica con lomerío, 3% de sierra compleja, 1% de ladera escarpada y 1% de aluvión antiguo. Se pudo caracterizar que la cuenca posee un área de 615 km² cumpliendo así los parámetros de clasificación para cuenca, un perímetro de 188.2 km, una longitud de 55 km y un ancho de 11.6 km. Para las características de relieve de la cuenca se pudo estimar que tiene una cota máxima de 5300 msnm, cota mínima de 1150 msnm, una pendiente estimada de 16.3% presentando un relieve accidentado. De los factores de forma se pudo estimar que el índice de forma es de 0.21 teniendo una forma alargada, una razón de

elongación de 0.51 teniendo una circularidad media, un índice de compacidad de 2.13 teniendo forma alargada casi rectangular, el factor de circularidad es de 0.22 teniendo una circularidad baja. Para la caracterización de la red de drenaje se pudo determinar que posee una red de 5to orden. Se puede caracterizar a la cuenca como una cuenca alargada, de tamaño extenso y con valor de factor de forma baja se caracteriza por presentar valores de caudales máximos inferiores, pero con una mayor duración en comparación a las cuencas con un índice de forma alta y con un tamaño pequeño. De la caracterización de la cuenca del río Huitzilac se caracteriza por que las lluvias no se localizan en forma centralizada para la superficie que se analiza, se pudo identificar por el contrario que los eventos de precipitación se ocasionen a lo largo de la cuenca dando paso así a que el escurrimiento de la cuenca presente tiempos variables de llegada al río principal de desemboque logrando así una evacuación de agua entrante y drenada de manera simultánea sin ocasionar crecidas anómalas. Teniendo en cuenta la identificación del escurrimiento de la cuenca se puede determinar que los eventos de inundación en la zona del río Huitzilac tienen un riesgo bajo y si a esto se le suma que los puntos de drenaje de aguas se dan de manera natural en barrancas con una alta dimensión altitudinal los cuales generan un encausamiento y control del río se reduce aún más el riesgo frente a este tipo de eventos. De los valores característicos se puede resaltar los valores del índice de circularidad con la cual no solo se puede estimar los valores de forma sino adicionalmente a ello se le puede estimar la etapa de desarrollo en la cual se encuentra, dicho valor para la cuenca de interés se estimó de alrededor de 0.22 con lo cual no solo se evidencia las características alargadas sino también se evidencia que la cuenca se encuentra en una etapa madura con menos características del caudal máximo. De los parámetros altitudinales identificados de la cuenca se pudo determinar que el valor de la cota máxima se encuentra a 5300 msnm sobre un estrato volcánico, mientras que la parte inferior está a una altura de 1150 msnm ubicada en la desembocadura al río Necaxa, de dichos valores se pudo estimar que la cuenca presenta un desnivel de 4150 msnm. A partir de la identificación altitudinal de la cuenca se

puede elaborar la gráfica de curva hipsométrica con ella se pudo establecer que el grado de desarrollo de la cuenca era avanzado, en dicha gráfica también se pudo determinar que el punto de inflexión se encuentra en el valor relativamente bajo (0.3), esto demuestra un alto grado de degradación evidenciado en el paisaje de la zona, de la información recolectada en la cuenca se reconoce en el tramo cóncavo entre las alturas de 2100 msnm a 4200 msnm se presentan las diferencias altitudinales más representativas, dando origen a que en esta zona se presenta una mayor erosión. Se puede estimar a partir del modelo topográfico de la cuenca que el valor de la pendiente media de la cuenca perteneciente al río Huitzilac se comprende entre los valores del 12 al 20% remarcado por su relieve accidentado. De la caracterización hídrica del río Huitzilac se pudo identificar que la longitud de cauce es de 50.3 km, tomado desde la naciente hasta la desembocadura del río Nexapa, en total para toda la cuenca se tiene en cuenta que la red de drenaje comprende totalmente una longitud de 882 km y una pendiente media del cauce principal de 2.3% la misma que es clasificada como pendiente suave.

Según Ortiz (2021), en la investigación que titula “Influencia de la cobertura boscosa y la geomorfometría en la estimación anual de la oferta hídrica superficial en Colombia” elaborado para la Pontificia Universidad Javeriana, se plantearon como objetivos los siguientes: Identificar los parámetros relacionales con las cuales se logren establecer los vínculos entre las variables geomorfológicas y las características boscosas de un terreno que se relacionan con la estimación de oferta hídrica superficial de Colombia, calcular el valor porcentual en la cual se encuentra la cobertura boscosa dentro de las cuencas delimitadas, identificar las características geomorfológicas de las cuencas de interés con la finalidad de estimar los valores de oferta hídrica, plantear los parámetros de relación entre los valores de oferta hídrica y como se relacionan con la variabilidad de la cobertura boscosa. De la investigación se pudo concluir que: Para la delimitación de las cuencas se identificaron alrededor de 104 estaciones hidrológicas que

se encuentran en la potestad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Geográficamente las cuencas comprenden alrededor de 23 regiones, en las cuales se lograron identificar una gran variedad de subcuencas y de diferentes dimensiones, incluso se pudo determinar que del mapeo realizado del conjunto de cuencas algunas de ellas por su menor tamaño se encuentran anidadas con otras con lo cual del mapeo global no se logra observar a simple vista, de la cobertura boscosa se pudo determinar que en la zona andina del país la cobertura boscosa tiene una pérdida gradual a lo largo de los años del 2014 al 2017, en las partes cercanas a las zonas del Caribe, Pacífica, Orinoquia y Amazonia la cobertura boscosa se presenta en mayor densidad. Se pudo identificar que en algunas zonas se identificaron aumentos en el área de cobertura boscosa esto se puede deber a una mayor precisión de lectura de los satélites que completaron zonas no identificadas con anterioridad o por planes de reforestación en los municipios que comprenden las cuencas, sin embargo, no parece que la zona incrementada tenga una relación directa con los trazos boscosos identificados con anterioridad. De los resultados obtenidos de la caracterización geomorfométrica se pudo identificar que a lo largo del tiempo los parámetros identificados no varían en sus patrones espaciales, los valores de pendiente media de cuenca, pendiente media del cauce, coeficiente de compacidad, elevación media de la cuenca y la elevación media del cauce tienen valores similares en todos los parámetros calculados en los diferentes periodos de tiempo, los parámetros de tiempo de concentración y longitud de cauce tienen una directa relación, causado directamente por la relación de proporción que existe entre el tamaño de la cuenca y la longitud de cauce ya que si uno se incrementa la otra variable tiene el mismo comportamiento. Se puede estimar que, para el modelo estadístico realizado con la finalidad de modelar los componentes hidrológicos, con ello se logró estimar que la relación de variables que componen a un estudio hidrológico, dando, así como evidencia que los factores de variabilidad del paisaje ambiental tienen una relación considerable frente al análisis de recursos hídricos de la zona. La oferta

hídrica y la cobertura boscosa tiene una relación directa, este parámetro se pudo corroborar a partir del análisis de regresiones lineales con la metodología ACP, esta correlación presenta parámetros asociados con la geometría de la cuenca con los valores de caudal medidos que son alterados por la variabilidad de la cobertura boscosa, este efecto cambiante en la cobertura boscosa pone en riesgo a los valores de disponibilidad hídrica, a partir de la identificación de la variabilidad del área de cobertura boscosa se pueden identificar las áreas más afectadas por dicho cambio estableciendo los puntos críticos en las cuales se pueden plantear medidas de reforestación con el fin de equilibrar al ecosistema de la zona. En la presente investigación no se tomaron en cuenta los factores de pluviografía que presenta la cuenca, este factor es de relevancia debido a que para el cálculo de los caudales se tienen que observar los factores de precipitación, temperatura y sedimentología, estas ramas pueden ser complementarias a la presente investigación. De la investigación tampoco se tomó en cuenta las características de suelo para la cuenca, dicho factor se omitió por la complejidad de su caracterización en la amplitud de la zona de interés, pero es relevante en el sentido del análisis de la infiltración dando así aún más precisión en el cálculo del caudal de los cauces que comprenden la cuenca.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Vidal (2022), en la investigación que titula “Evaluación de modelos digitales de elevación (DEMs) mediante geomorfología tectónica: Ejemplo de la cuenca Moyobamba” elaborada para la Pontificia Universidad Católica del Perú, estableció los siguientes objetivos: Elaborar un análisis comparativo con la finalidad de establecer los valores de calidad de la información DEM con el fin de caracterizar la geomorfología para la aplicación tectónica a cuencas de drenaje, estimar los índices estadísticos para estimar la representatividad del análisis de perfil fluvial perteneciente a la cuenca de Moyobamba en cada uno de los DEMs, identificar las variaciones de los resultados finales obtenidos por diversos DEMs en los cálculos del perfil fluvial, estimar la curva

hipsométrica de las subcuencas de interés con los cuales se puedan identificar las características de la cuenca y a partir de los resultados se pueden estimar el nivel de rendimiento y confiabilidad de los diversos DEMs. De la investigación se pudo concluir: Para la elaboración de la investigación se tomaron en cuenta 3 escalas de dimensión, la escala que comprende a la cuenca, la escala que comprende a solo las subcuencas y la escala de cauces y ríos individuales. De los análisis de los perfiles fluviales se pudo establecer las correlaciones entre los factores de actividad tectónica y la pendiente en el lecho rocoso, si bien para este análisis se pudieron haber realizado un análisis de perfiles desde una perspectiva externa, en sí la investigación no se centra en esa perspectiva ya que ese tipo de análisis no es una evaluación en sí de la evaluación del rendimiento de los diferentes DEMs aplicando la geomorfología tectónica se logró determinar que, de las imágenes DEMs se lograron obtener respuestas satisfactorias a nivel de cálculo de concavidad con la cual se hizo un análisis de gradiente-área, con ello se logró identificar los puntos de transición de régimen fluvial a una zona con características de lecho rocoso aluvial, a partir del factor de chi se pudo optimizar los valores de variabilidad entre los DEMs analizados con lo cual se pudo determinar que las imágenes con un valor m/n satisfactorio son los de naturaleza SRTM, TanDEM-X y los del satélite Copernicus, de las imágenes satelitales de la estación Copernicus DEM se pudo identificar que los valores de suavizado en el valor del factor normalizado con el cual se pudo realizar una corrección del río Mayo más adecuado, las imágenes TanDEM-X presenta una alta caracterización de errores causada por los valores de resolución alto que presenta. Para el análisis de las subcuencas se lograron determinar que: Las imágenes AW3D30 presentan un alto grado de suavizado en los ríos que conforman la zona de interés en la zona del lecho rocoso, en comparación a las imágenes TanDEM-X presenta altos resultados frente a ríos de menor pendiente, las imágenes que componen al servidor Copernicus DEM estiman de manera más óptima los índices de concavidad a partir de la metodología gradiente-área, si las cuencas a caracterizar presentan una naturaleza aluvial, del análisis de los factores

chi se lograron obtener resultados similares en la correlación de concavidad si se omiten en las consideraciones las cuencas aluviales, para las imágenes AW3D30 se tuvo una óptima relación de los índices de concavidad m/n y θ , las imágenes de naturaleza ASTER GDEM3 tiene el peor rendimiento en todas las escalas de análisis. Para la escala específica tomada a partir de puntos específicos y segmentos estables se pudo determinar que las imágenes ASTER GDEM no lograba parametrizar la clasificación de un knickpoint determinado a partir de las gráficas gradiente-área, debido al ruido que se generaron en los segmentos estables, para los resultados de los factores de concavidad a este nivel de precisión son muy variables y con un comportamiento errático dando así un alejamiento del rango esperado en los tramos analizados, las imágenes obtenidas del Copernicus DEM presenta un mejor rendimiento en el cálculo del factor de concavidad a partir de la metodología del gradiente – área, las imágenes del TanDEM-X se pudo identificar un sesgo para los valores de regresión lineal de la misma forma se pudo identificar un peor ajuste. De todos los modelos realizados se pudo determinar que las imágenes del AW3D30 presenta un alto rendimiento en comparación al resto de imágenes para la estimación de perfiles aluviales, determinado a partir de correcciones hidrológicas en los cauces de las montañas, otra de las imágenes con un alto rendimiento son las de Copernicus DEM, SRTM3 y TanDEM-X en ese orden demostrando que para el análisis de perfiles aluviales presentan un resultado satisfactorio, sin embargo si se tiene ASTER GDEM3 necesariamente se tiene que presentar un suavizado para los perfiles que presenten un alto valor de ruido para los DEM recolectados. Se puede establecer que en gran parte cualquiera de los DEM analizados en la investigación logran el objetivo de caracterizar los factores geológicos ya que los parámetros estadísticos tomados en cuenta en la investigación, la curva hipsométrica no varía de manera significativa entre los modelos.

Según Vera (2022), en la investigación que titula “Sistema de información geográfica como herramienta de la gestión de recursos

hídricos: Revisión sistemática” elaborada para la Universidad César Vallejo, en la cual se establece como objetivos: Estimar el nivel de confiabilidad de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de información SIG en la evaluación de la gestión de recursos hídricos aplicando la metodología de revisión bibliográfica de alrededor de 25 artículos elaborados y publicados en los servidores de investigación científica reconocidos a nivel mundial en un intervalo de tiempo de 5 años de antigüedad. De la investigación se pudo concluir: A partir de la recolección de artículos y publicaciones elaboradas y presentadas en sitios de divulgación científica se lograron identificar las herramientas que se usaron para sus elaboraciones eficaces para la gestión de recursos hídricos, aplicando los softwares como ArcGis y Qgis en el proceso de geoprocesamiento con el fin de obtener información cartográfica espacial, investigaciones centradas en imágenes multispectrales de los satélites Landsat 3.5 y 7 generando DEMs con la finalidad de elaborar modelos GIS, elaboración de investigaciones centradas en la obtención de imágenes DEM a partir de ortofotografías obtenidas de las zonas de interés unido con informaciones vectoriales y raster, se tomaron en cuenta también información tomada de los satélites Landsat 8 OLI-TIRS procesado con metodologías SIG para la obtención de mapas temáticos. De toda la bibliografía analizada se pudo establecer que la mayoría se aplican diversas metodologías de tratamiento de información, parte de las investigaciones logran elaborar una imagen DEM de la zona de interés con una metodología determinada para luego poder elaborar mapas temáticos de la conveniencia, uno de los principales programas de aplicación para el tratamiento de imágenes DEM en un 96% del total de investigaciones revisadas fue el software ArcGIS en conjunto con el software SAGA Gis. Se pudo establecer que en gran parte la mayoría de las investigaciones que analizan los recursos hídricos centran sus investigaciones a partir de 3 diferentes perspectivas, desde el punto de vista de cuenca hidrográfica, aguas superficiales o aguas subterráneas, de las investigaciones se lograron establecer los aspectos de las diferentes investigaciones tales como: un análisis del contexto ambiental relacionado con la dinámica interna de la

cuenca, establecer los efectos erosivos en el suelo y a partir de ello establecer los valores de escorrentía y velocidad de flujo, optimizar las distribuciones del recurso hídrico en una determinada zona aplicando metodología SIG, aplicación de la información hídrica en aguas superficiales con la finalidad de establecer redes de tuberías minimizando los costos de inversión, identificación de cuerpos de agua aplicando metodologías SIG y con ello determinar la cantidad, identificación de zonas de carga y descarga de aguas subterráneas a partir de las características de litología, suelo, precipitación y pendiente, identificar las ecuaciones para el cálculo de la erosión las cuales caracterizan a la cuenca y los valores de sedimentos de cuenca y subcuencas, aplicación de la metodología SIG en el modelo de inundación para la caracterización de un río en aguas superficiales, análisis de morfometría con la finalidad de investigar la fluctuación de los humedales y con ello estimar los factores externos que puedan influenciar. Con la revisión bibliográfica relacionada al tema se pudo estimar que alrededor del 56% las investigaciones centran sus objetivos en la caracterización de las cuencas hidrográficas, de esta revisión alrededor del 32% centran su investigación en las aguas superficiales y el 22% de ellas solo se dedican a la caracterización de aguas subterráneas. Generalmente las investigaciones analizadas tomaron en cuenta imágenes satelitales del Landsat y como complemento se utilizaron modelo de elevación, los cuales permiten obtener resultados más completos, de esto también se pudo concluir que la información necesaria para la investigación puede ser obtenidas de servidores estatales o privadas en forma cartográfica o estadística. De la revisión se pudo identificar que el software ArcGIS es el más aplicado para el procesamiento de datos debido a la influencia mundial que genera con ello, se puede caracterizar una cuenca hidrográfica cambiante por la intervención del hombre y por la mala gestión de las autoridades competentes. La aplicación de las herramientas SIG generan una información complementaria a la de los recursos hídricos siendo un parámetro factible para la mejora de la gestión en los recursos hídricos.

Según Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2019), en la publicación que titula “Octavo monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca del río Crisnejas – Sub Cuenca Cajamarquino”, en la investigación se establecieron los siguientes objetivos: Analizar el estado en la calidad de los cuerpos de agua naturales que se formen en la zona superficial de la cuenca Crisnejas, específicamente en la sub Cuenca Cajamarquino con la finalidad de establecer estrategias de gestión de los recursos hídricos que se orienta a la conservación y recuperación de los recursos hídricos, establecer los parámetros para el monitoreo en la cuenca, establecer los parámetros para la verificación de la red de monitoreo de calidad de agua de la cuenca y coordinar las acciones para la conservación, protección y recuperación de la calidad del agua superficial. De esta investigación se pudo concluir que: De la hidrografía de la Sub Cuenca Cajamarquino tiene como uno de los cauces principales es el río afluente al río Crisnejas, que es jurisdicción de la Autoridad Local del Agua, el río Cajamarquino se caracteriza por tener la naciente en las lagunas Chailhuagon y Mishacocha o Mamacocha, este río presenta las siguientes características hidráulicas, un cauce estrecho con una profundidad considerable de caudal turbulento generalmente en épocas de creciente por lluvias, la oferta hídrica de la zona se estima a partir del drenaje de la Sub Cuenca del río Chonta y Mashcon los cuales se establecen como tributarios al río Cajamarquino. Del uso del agua se pudo identificar que la Autoridad Local del Agua dio alrededor de 2131 autorizaciones para el derecho del agua, clasificándose el uso de agua para el sector agrario, uso poblacional, uso minero, uso energético, aplicación industrial y uso acuícola. De la Sub Cuenca Cajamarquino se pudo establecer que las principales problemáticas identificadas en la zona fueron: Alrededor del 72% de la contaminación de la zona es por los efectos de las aguas residuales poblacionales de la zona siguiendo los pasivos ambientales y los botaderos de residuos sólidos. Para la clasificación de los cuerpos naturales en la zona se pudo identificar presencia de 01 manantial de categoría 1-A2, 11 quebradas de categoría 3-D1, 11 ríos con una categoría 3-D1 y 02 lagunas con una categoría 4-E1. Para la red de

monitoreo de la calidad de agua se establecieron 29 puntos específicos de monitoreo para la calidad del agua superficial, para la investigación se tomó en cuenta establecer 2 puntos de monitoreo adicionales en el cauce del río Michiquillay. De la caracterización de la temperatura medido en campo se pudo establecer que la Sub Cuenca se encuentra entre los 11.20°C a los 17.0°C presentando las temperaturas más bajas en la quebrada Encajón con un valor de 11.20°C y una máxima temperatura de 17.0°C, de las características de oxígeno disuelto se puede estimar que la zona en promedio presenta 4.77 mg/L, identificado en el Manantial Ventanillas de Combayo, de la caracterización del pH se pudo determinar que los valores de estimación están para el río Quillish con un valor de 5.86, para la quebrada Arnacocha con un valor de 4.32, la quebrada Chaquicocha con un valor de 6.18, para la laguna Mamacocha se establece un valor de 5.42, esto se explica pues por el origen de la fuente natural. Se establece a partir de la investigación que todo lo realizado se encuentra dentro de los requerimientos para la identificación y caracterización de la calidad de agua en la zona para la evaluación de los recursos hídricos, identificado los valores y componentes del recurso hídrico se pudo identificar que los cuerpos de agua no cumplen con los estándares de calidad ambiental este resultado fue netamente por actividades antropogénicas y/o naturales, cabe resaltar que la investigación se realizó dentro de la temporada de crecidas. Para la Laguna Mamacocha se pudo establecer que el valor del pH se establecen por debajo de los límites establecidos por el ECA-Agua, con un valor de 5.42 esto se puede explicar que es netamente por las características de la fuente natural, para las quebradas y los ríos de la zona se pudo identificar que el río Quillish cuenta con un pH por debajo de lo establecido por el ECA, las causales para este valor se pueden deber a las actividades agrícolas que se desarrollan en los alrededores, para el río Porcon los valores de Manganeseo son estimados de 0.29512 mg/L, muy por encima de los valores establecidos por el ECA, consecuencia de las estructuras geológicas de la zona y su extracción por actividades antrópicas, para las características del río Ronquillo en la zona de la planta de tratamiento de agua potable en Santa Apolonia

se determinó que el pH esta con un valor de 8.67 por encima de lo establecido por el ECA, para la quebrada denominada Hierba Buena se estimó que el valor de pH ronda por el valor de 8.57 estimándose una superioridad a lo establecido por el ECA lo cual se explica por la composición geológica de la zona que compone la quebrada, por el contrario para la quebrada Arnacocha los niveles de pH se estiman alrededor de los 4.32 estando por debajo de lo establecido por el ECA, lo cual es generado por los efectos naturales de las fuentes de agua.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Según Ramos (2018), en la investigación que titula “Determinación del caudal pico utilizando el hidrograma unitario de salida total para la cuenca del río Higuera - Huánuco – 2018” elaborada para la Universidad Alas Peruanas, establece los siguientes objetivos: Calcular los valores de caudal extremo usando la metodología del hidrograma unitario a partir de los métodos del SCS, estimar el diagrama unitario que se relaciona directamente con las precipitaciones directas, estimar los valores temporales de tiempo de lluvia a partir de las lecturas de los pluviómetros, estimar los valores de caudal máximo para el diseño de estructuras hidráulicas en la zona y aplicar estimaciones estadísticas con lo cual se puedan estimar los valores de caudal máximo. De la investigación se pudo concluir: La cuenca del río Higuera para el análisis se consideró subdividirlo en 11 ramales con la finalidad de calcular de manera específica las precipitaciones en la zona. Del modelo elaborado en el software HEC-HMS a partir de la determinación de los hidrogramas unitarios con lo cual se pudo estimar un caudal de 250.6 m³/s con un valor de precipitación de 9.62 mm para toda la cuenca con un periodo de retorno de 100 años. Para el cálculo de los diagramas unitarios se calcularon a partir de los efectos de las precipitaciones captadas y registrados por las estaciones pluviométricas que son manejadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), con esto se estimó que en gran parte de la cuenca hay un valor de precipitación de 49.33 mm, del caudal pico se pudo estimar a partir del hietograma unitario se establece el hidrograma que

corresponde en diversas tormentas con ello se logró estimar un valor de caudal para el periodo de retorno de 100 años con un valor de caudal de 250.6 m³/s, calculando un valor de superficie de 527.726 km², de las características altitudinales de la zona con la cual se pudo determinar que la cota mínima fue de 1950 msnm y con una cota máxima de 4050 msnm. La cuenca del río Higuera donde desemboca al río Huallaga es el punto de aforo donde se ha determinado el caudal pico de esta investigación. En la estimación para el periodo de retorno en la investigación se consideró pertinente tomar en cuenta un periodo de retorno de 100 años, los resultados se estimaron a partir de un registro histórico de precipitaciones que comprenden los años de 1964 hasta 2010 estimado a partir de la distribución estadística de Gumbel.

Según Llamoctanta (2020), en la investigación que titula “Regionalización morfométrica adimensional de cuencas hidrográficas de la sierra de Huánuco - Perú, con fines de transferencia de información hidrológica” elaborado para la Universidad Nacional de Cajamarca, se plantearon los siguientes objetivos: establecer similitudes en cuanto a características hidráulicas similares a las que se encuentran en la sierra de Huánuco – Perú, con la finalidad de establecer parámetros de información transferibles para las intensidades de precipitación, elaborar un análisis de imágenes DEM y cartas nacionales con el fin de identificar las zonas que abarcan la sierra de Huánuco, estimar los valores del coeficiente de Gravelius, índice de relación de confluencias y valores de coeficiente orográfico, relacionar las cuencas hidrográficas que presentan una semejanza en características hidráulicas en cierto nivel de aceptación en la variación de coeficientes y transportar la información de intensidades extremas de precipitación entre cuencas hidrográficas para la sierra de Huánuco. De la investigación se concluye: Teniendo en cuenta para el procesamiento de la información se pudo establecer que las imágenes DEM se establecieron para un área de 12.5 m x 12.5 m que fueron obtenidos del Satélite ALOS PALSAR adicionalmente se tomaron en cuenta las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), se lograron identificar cuencas con una altitud superior

a las 1500 metros de altitud las cuales comprenden una superficie entre 20 y 200 km², en total la sumatoria de las superficies entre microcuencas y subcuencas están alrededor de los 9470.91 km² el cual representa un 42.76% de la superficie de la sierra de Huánuco, con estos valores se puede establecer que el área identificada es representativa de la muestra lo cual sirve para la estimación de semejanza para con otras cuencas y subcuencas. Se puede estimar a partir de la determinación geomorfológica los siguientes parámetros, en total se estimaron 113 unidades hídricas entre subcuencas y microcuencas, de ellas se estimó que 11 unidades presentan una forma oval redonda (9.7%), los 76 unidades tienen una forma oval oblonga (67.3%), los 24 unidades con forma oblonga alargada (21.2%) y los 2 unidades que es el (1.8%) no se lograron establecer los parámetros de forma y poseen un índice de Gravelius superior al 1.75 lo cual establece que no se encuentra con una clasificación determinada, de la muestra hidrológica se pudo establecer que en gran parte se establece la forma oval oblonga lo cual genera por las mismas características genera una erosión en el suelo por el mismo periodo de concentración corto en la zona, generando una crecida rápida minimizando los valores de infiltración para la recarga de los acuíferos si a este tipo de eventos se le suman poca cobertura vegetal, con una alta pendiente se generarían presencia de riesgo de inundaciones ocasionados por precipitación. Para el establecimiento de medidas de semejanza se establecen los siguientes parámetros de valores, en el análisis se pudo establecer un valor de 0.05 para el índice de Gravelius, un 0.20 para las relaciones de confluencias y en el cálculo del coeficiente orográfico se pudo determinar un valor de 0.30, estableciendo los parámetros de la zona a partir de su índice de Gravelius se pudo realizar una prueba de normalidad a partir de la aplicación del estadístico de Anderson Darling, para posteriormente aplicar la metodología de Grubbs con la finalidad de descartar los valores atípicos de la serie de datos y agrupando valores para establecer las pruebas mencionadas y establecer los rangos con el fin de agrupar y estimar la confiabilidad de valores similares para la variación según rango establecido, los valores estimados se lograron determinar con la aplicación del programa Minitab

el cual presenta una metodología confiable y precisa. Para la interpolación de valores de intensidades máximas se pudo establecer que para la zona se tomó en cuenta a las estaciones del SENAMHI dentro de la cual en el área de interés se pudo establecer a la estación de Jacas Chico como la estación de base que se encuentra dentro del cauce del río Mito para la extrapolación de información para la subcuenca del río Huayllacán, con la aplicación del modelo estadístico de Gumbel con lo cual se estableció los valores de probabilidad de ocurrencia a partir del análisis de vida útil, estimación de riesgos y en un determinado periodo de retorno, con la finalidad de establecer dichos valores en la subcuenca de interés, estableciendo la metodología de estimación se lograron resolver los problemas de inexistencia de valores de información dentro de la gestión de los recursos hídricos y establecer los parámetros para el correcto diseño de estructuras hidráulicas. Se logró estimar que los valores de discrepancia se establecen entre el 9.7%, 40.1% y 65.8% representando una variabilidad considerable lo cual estableció que se trabaje de manera grupal.

Según Albornoz (2020), en la investigación que titula “Determinación de datos espaciales utilizando sistema de información geográfica de la cuenca del río Garbanza” elaborado para la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se establece los siguientes objetivos: Recolectar la información geográfica de la cuenca que compone el río Garbanza, estimar los parámetros de corrección para las imágenes satelitales obtenidas de satélite Sentinel 2B de la zona del río Garbanza, establecer los parámetros del método Corine Land Cover con el cual se pueden determinar los valores de índices de vegetación de la zona, identificar los parámetros geomorfológicos que componen la cuenca, establecer medidas para el control de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), elaborar mapas temáticos de la zona los cuales establecen características geológicas, fisiográficas, zonas de vida, áreas de cobertura vegetal e identificación de las unidades ecológicas y económicas. De la investigación se pudo concluir lo siguiente: Para la corrección atmosférica del satélite Sentinel 2B a partir de la metodología

DOS1/CHÁVEZ se pudo establecer que la corrección radiométrica mediante las herramientas SCP del software QGIS dio como resultado una corrección de resolución de 10 m con lo cual se corrigieron valores de hasta 60 m en cada banda, a partir de la corrección de las bandas se logró caracterizar las cuencas a partir de las bandas que componen las imágenes satelitales, dando así las posibilidades de obtener imágenes con un color natural, establecer un parámetro infrarrojo para la identificación de vegetación, caracterizar la banda 8, 9 y 3 para elaborar una imagen de uso de suelo e identificar las masas de agua, establecer imágenes con color falso con el fin de resaltar las zonas con formaciones rocosas, entre otras más posibles. Aplicando la metodología Corine Land Cover se pudo identificar 4 niveles para uso de suelo, comprendiendo un primer nivel los cuales componen 5 unidades cartográficas, un segundo nivel 8 unidades cartográficas, 14 unidades cartográficas de tercer nivel y finalmente 8 unidades cartográficas los cuales corresponden a un cuarto nivel. De la caracterización específica se pudo establecer que para las unidades de Nivel I se componen por territorios agrícolas con un 70% de superficie, un 16% lo componen bosques y áreas mayormente naturales, un 12% de superficie de áreas húmedas, un 1% de superficie de agua y 1% de territorios artificiales. Para unidades de Nivel II, se identificaron 8 categorías para la cobertura de suelo, caracterizando así los cultivos de transición con un área de 7806.58 has, zonas de cultivos permanentes con un área de 559.76 has, las zonas boscosas que comprenden un área de 2227.69 has, zonas abiertas o con una mínima vegetación comprenden un área de 4844.86 has, las áreas húmedas continentales las cuales presentan una superficie de 5194.65 has y las aguas continentales que presentan un área de 525.08 has. Para las Unidades de Nivel III las cuales se lograron categorizar en 14 unidades cartográficas, se pudo establecer que el 51.20% del área pertenece a una categoría de pajonal andino y un 21.39% centradas en actividades agrícolas. Para las unidades de Nivel IV se lograron categorizar alrededor de 16 unidades cartográficas, de la caracterización morfométrica de la zona de la cuenca del río Garbanza se pudo determinar a partir de imágenes DEM del satélite ALOS PALSAR con

una resolución de 12.5 m lo siguiente, un área total de 434.02 km², un valor de perímetro de 107.93 km, con valores de altitud máxima de 4600 msnm y con una altura mínima de 1850 msnm aproximadamente, lo cual logra categorizarlo como una cuenca grande. De la cuenca también se pudo identificar que presenta una red hidrográfica de orden 4, una longitud total de cauce de drenaje de 43.11 km, con una densidad de corriente de 0.62 corrientes por kilómetro cuadrado, con una pendiente del cauce principal moderadamente inclinado de 6.38% lo cual caracteriza finalmente la esorrentía para el curso de agua. Para el río Garbanza se estimó su índice de compacidad(Kc) de 1.45, el cual define a la cuenca con forma oval-redonda a oval alargada, su factor de forma(Ff) se estima en 0.23 señala alargamiento de la cuenca en función al sistema de drenaje, la cual desemboca en el río Huallaga, el valor de densidad de drenaje es de 0.77 km/km² presentando un valor bajo con un tiempo de concentración de la cuenca de 10.02 minutos es rápido, generando así un valor relevante para la mitigación del riesgo de inundación en las partes bajas de la cuenca de interés, de la gráfica de la curva hipsométrica se puede determinar que el 50% del valor altitudinal acumulado se encuentra en una elevación media de 3330 msnm, estando la curva hipsométrica en una categoría B la cual evidencia una etapa de madurez de la cuenca. Estimación de caudal por el método de flotador para el río Garbanza se pudo determinar que esta se presenta con un área transversal media de 6.31 m², con un ancho de drenaje de 6.57 m y una profundidad media de 0.96 m. Se determinó la velocidad desde el punto A hasta el punto B de 3.17 m/s, en un tiempo de 3.15 segundos a una distancia de 10 m, aplicando el método de flotador obtuvo un caudal de 20.00 m³/s. A partir de la aplicación del método de Creager, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años, dando los valores de caudal de 54.20, 125.84, 180.04, 305.88 y 360.07 m³/s.

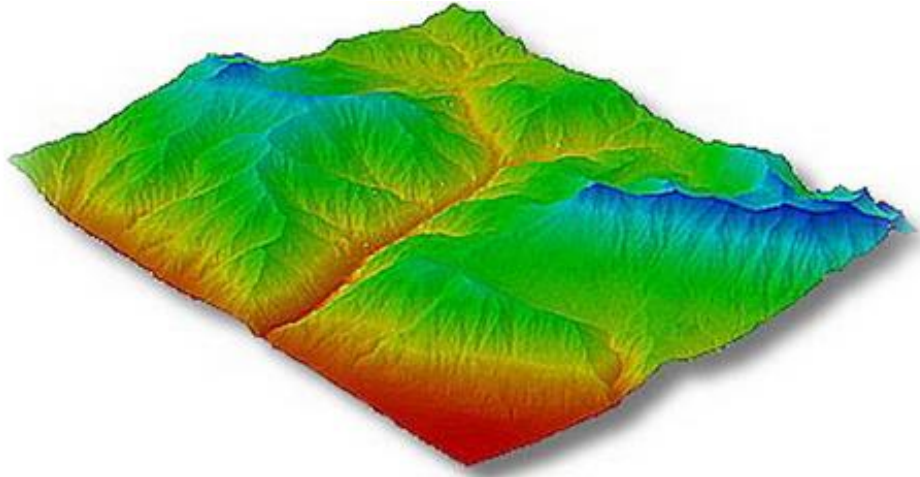
2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. INFORMACIÓN DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) desempeñan un papel fundamental en el ámbito de la ingeniería geoespacial, siendo productos cartográficos esenciales manejados por herramientas y software especializados. Estos modelos no solo facilitan la representación detallada de la topografía, sino que también desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones ingenieriles. Desde la perspectiva de la ingeniería, es crucial comprender que los MDE proporcionan información detallada sobre las altitudes del terreno sin obstrucciones, lo cual es fundamental para la planificación y ejecución de proyectos de construcción, diseño de carreteras, análisis de drenaje y muchas otras aplicaciones. Estos modelos permiten a los ingenieros evaluar con precisión la topografía subyacente, identificar áreas propensas a inundaciones y optimizar el trazado de infraestructuras para garantizar la eficiencia y la seguridad del proyecto. En este contexto, es importante destacar la distinción entre los Modelos Digitales de Elevación (DEM) y los Modelos Digitales de Superficie (MDS). Mientras que los DEM ofrecen información sobre altitudes específicas del terreno desnudo, sin vegetación ni estructuras, los MDS conservan elementos como edificaciones y vegetación. Esta diferenciación es crucial en ingeniería, ya que permite evaluar no solo la topografía natural, sino también tener en cuenta las características artificiales y naturales presentes en el entorno. En resumen, desde la perspectiva de la ingeniería, los Modelos Digitales de Elevación son herramientas esenciales que ofrecen información detallada y precisa para la toma de decisiones en el diseño y la planificación de proyectos, contribuyendo significativamente a la eficiencia y seguridad en el campo de la ingeniería geoespacial. (Ariza, 2017)

Figura 1

Imagen de elevación digital



Nota. Representación de un terreno a nivel de elevaciones (Ariza, 2017)

2.2.2. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) constituyen representaciones tridimensionales de la topografía de una región específica y su generación implica un proceso técnico que incorpora diversas fuentes de datos mediante técnicas especializadas. Estos modelos son esenciales en ingeniería geoespacial y disciplinas afines, ofrecen una visión detallada y cuantificable de la elevación del terreno. La obtención de un DEM implica la recopilación de datos de altitud sobre el terreno, los cuales pueden ser obtenidos a través de diversas tecnologías, como sistemas láser LiDAR, fotogrametría aérea o imágenes satelitales. La elección de la fuente de datos y la metodología de adquisición son críticas, ya que afectan directamente la calidad y precisión del modelo resultante. Además de las altitudes del terreno, la inclusión de información adicional en el proceso de generación del DEM es clave para lograr una representación más completa y precisa de la superficie terrestre. Esto puede incluir datos sobre sistemas de drenaje, redes de infraestructura y otras características significativas que influyen en la topografía, proporcionando una comprensión más holística del entorno. (Durón, 2012)

2.2.2.1. MÉTODOS DIRECTOS

Estos modelos se generan a partir de mediciones efectuadas directamente en el terreno físico, entre las cuales se incluyen:

- La recopilación directa de datos mediante levantamientos topográficos utilizando estaciones totales o sistemas de posicionamiento global (GPS).
- La utilización de altímetros llevados desde una plataforma aérea, tales como sistemas de radar o láser.

2.2.2.2. MÉTODOS INDIRECTOS

Cuando se emplean registros previamente elaborados, ya sean analógicos o digitales, para crear un modelo digital de elevación, se incluyen diversas prácticas, como:

- La conversión de curvas de nivel y puntos de altura provenientes de cartografía topográfica mediante métodos convencionales de digitalización ya sea de forma automática mediante escáner y vectorización o de manera manual mediante el uso de una tableta digitalizadora o pantalla.
- La realización de restitución fotogramétrica, que puede llevarse a cabo de manera numérica, analítica o digital, implicando procesos fotogramétricos específicos.

2.2.3. PRECISIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL

La precisión en los valores de elevación digital es crucial para muchas aplicaciones, especialmente en estudios geoespaciales y análisis topográficos. Aquí hay algunos métodos comunes utilizados para evaluar y mejorar la precisión en valores de elevación digital:

2.2.3.1. VALIDACIÓN EN CAMPO

Realizar mediciones directas en el terreno para comparar con los valores de elevación digital. Esto implica la visita física a ubicaciones específicas y la toma de mediciones con instrumentos topográficos para validar la precisión de los datos. Para la presente investigación se tomó como referencia el eje del cauce del río

Higueras, con el cual se compararon los valores altimétricos y planimétricos del eje del cauce.

2.2.3.2. PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE (GCP)

Utilizar puntos de control terrestre, que son ubicaciones conocidas con coordenadas y elevaciones precisas. Estos puntos se utilizan para corregir o calibrar los datos de elevación digital y mejorar su precisión.

2.2.3.3. COMPARACIÓN CON DATOS LIDAR

Utilizar datos LiDAR, que ofrecen mediciones directas y muy precisas de la elevación. Comparar los valores de elevación obtenidos de los datos digitales con los datos LiDAR para evaluar y corregir discrepancias.

2.2.3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Realizar análisis estadísticos para evaluar la precisión global de los datos. Esto puede incluir cálculos de errores medios, desviaciones estándar y otros indicadores estadísticos para comprender la variabilidad y la precisión de los datos.

2.2.4. ANÁLISIS ESPECTRAL PARA IMÁGENES DEM

2.2.4.1. VECINO MÁS CERCANO O PRÓXIMO

Se emplea el valor del píxel más cercano en la celda original para determinar el valor correspondiente en la nueva referencia espacial. Esta elección es adecuada cuando se representa una variable que es un atributo, como tipos de bosque, categorías de suelo, entre otros ejemplos. (Ariza, 2017)

2.2.4.2. INTERPOLACIÓN BILINEAL

El valor asignado a cada píxel en la imagen georreferenciada se calcula como un promedio ponderado basado en la distancia a los valores de las cuatro celdas más cercanas en la imagen no georreferenciada. Este enfoque es adecuado cuando la variable que se está representando es discreta o continua, como en el caso

de una foto aérea escaneada, mediciones de precipitación o reflectancia en una imagen de satélite, entre otros ejemplos. Es importante señalar que este proceso de cálculo es más lento en comparación con la opción anterior. (Ariza, 2017)

2.2.4.3. CONVOLUCIÓN CÚBICA

El valor asignado a cada píxel en la imagen georreferenciada se determina mediante un promedio ponderado por distancia de los valores de los 16 píxeles más cercanos en la imagen no georreferenciada. Este método resulta adecuado cuando se desea representar una variable discreta o continua, como en el caso de mediciones de precipitación, reflectancia en una imagen de satélite o una foto aérea escaneada, entre otros ejemplos. Aunque produce valores muy próximos a los de la imagen original, cabe destacar que implica un mayor tiempo de procesamiento. (Ariza, 2017)

2.2.5. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE ELEVACIÓN DIGITAL

En la creación de un modelo digital de elevación, la interpolación cumple la función de estimar elevaciones en áreas sin datos, especialmente cuando la información disponible no abarca completamente el área de interés. Además, se utiliza cuando se requiere comparar el patrón espacial de entidades espaciales diferentes, cambiar la resolución de un modelo, modificar la orientación de una superficie (mediante la rotación de ejes o el cambio de proyección), transformar la estructura de datos del modelo (de una red irregular de triángulos a una rejilla) o calcular elevaciones puntuales a lo largo de una línea. (Durón, 2012)

Existen diversos grupos de métodos de interpolación empleados en modelos digitales de elevación:

Métodos Globales y Locales: Se diferencian en el rango de influencia de los datos de entrada. Los métodos globales consideran todos los puntos muestrales, mientras que los locales solo tienen en cuenta los puntos más cercanos al punto no muestral.

Métodos Exactos y Aproximados: La distinción radica en la precisión con la que reproducen los puntos de entrada. Los métodos exactos conservan intactos los puntos originales, mientras que los aproximados tienden a suavizar los datos, alterando los valores originales.

Métodos Directos y Analíticos: Se clasifican según el enfoque matemático. Los métodos directos formulan suposiciones generales sobre la superficie y elaboran la función de interpolación basándose en ellas. Los métodos analíticos, por otro lado, estudian la autocorrelación espacial de la variable a interpolar a partir de los puntos muestrales antes de generar la función de interpolación.

La elección del método de interpolación no es trivial, ya que no hay un consenso sobre cuál es el mejor. Cada método funciona mejor para ciertos tipos de datos debido al diseño del algoritmo. La elección debe basarse en el objetivo, la configuración de los datos, el tipo de superficie a generar y la tolerancia de los errores estimados.

En resumen, algunos puntos importantes a considerar son, que no hay un algoritmo de interpolación claramente superior para todas las aplicaciones, la calidad del modelo digital de elevación depende de la distribución y exactitud de los datos originales, los algoritmos deben adaptarse al carácter de los datos y a otros criterios como la precisión deseada y el esfuerzo computacional también influyen en la selección del método.

2.2.6. VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL

La precisión se caracteriza por el nivel de concordancia entre los resultados independientes de una medición, obtenidos bajo condiciones definidas, ya sea en términos de repetitividad, reproducibilidad o medidas intermedias. Por lo general, se cuantifica numéricamente mediante parámetros de dispersión, como la desviación típica (σ) o la varianza. La incertidumbre en contraste, se define como la concordancia entre el valor medio derivado de una extensa serie de resultados y un

valor de referencia aceptado. La exactitud se describe como el grado de concordancia entre el resultado de una prueba y el valor de referencia aceptado (según la norma ISO 3534-1). A lo largo de este documento, el término incertidumbre se ha utilizado para expresar las discrepancias entre la altitud evaluada en el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la altitud de referencia, considerada de mayor exactitud. La palabra error se ha utilizado ocasionalmente, específicamente al referirse a la clasificación de los diversos tipos de error que influyen en un MDE de manera general. La calidad según la Real Academia Española (RAE), se define como las propiedades inherentes a algo que permiten evaluar su valor. En cartografía se llevan a cabo múltiples transformaciones desde la realidad hasta la obtención del producto cartográfico, que comúnmente sirve como base para estudios, proyectos o ejecuciones. La calidad de este producto influye directamente en la calidad de las decisiones tomadas posteriormente. La calidad de un producto cartográfico se determina por su capacidad para satisfacer las necesidades del usuario en un contexto específico, asegurando utilidad adecuada para la toma de decisiones. Desde una perspectiva cartográfica, esto implica representar la realidad con la máxima fidelidad posible en términos de posición, geometría, semántica y procesos en el terreno. En muchos casos revisados, se asume que la exactitud de las coordenadas X e Y es muy alta o no se considera relevante, lo cual no siempre es correcto, ya que un error en estas coordenadas puede distorsionar el valor de Z. (Ariza, 2017)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - Y_i) - \mu]^2}{n - 1}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

2.2.7. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA Y GEOMÉTRICA

La utilización de imágenes de elevación digital (DEM) en ingeniería civil es esencial para diversas aplicaciones, como el diseño de infraestructuras, análisis hidrográficos y gestión de recursos naturales. La calidad y precisión de estas imágenes son críticas para garantizar resultados confiables en los proyectos. En este contexto, la calibración geométrica y radiométrica se elige como un proceso clave para mejorar la precisión espacial y la representación de los valores radiométricos en las imágenes de elevación digital.

2.2.7.1. CALIBRACIÓN GEOMÉTRICA

La calibración geométrica aborda la precisión espacial de una imagen y su correspondencia con las coordenadas reales en el terreno. Este proceso implica la corrección de distorsiones geométricas y la alineación precisa de la imagen con un sistema de coordenadas geoespaciales. Para lograrlo, se emplean puntos de control distribuidos estratégicamente en la imagen y se aplican técnicas como la transformación afín o polinómica para ajustar la imagen a un modelo de referencia, como un sistema de coordenadas UTM. En ingeniería civil, la calibración geométrica garantiza que las mediciones realizadas en la imagen estén alineadas con la realidad del terreno, facilitando la planificación y diseño de proyectos de construcción, gestión de redes de infraestructura y análisis de cambios topográficos.

2.2.7.2. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA

La calibración radiométrica se centra en la corrección y normalización de los valores de intensidad en la imagen para representar con precisión las propiedades radiométricas del terreno. Este proceso implica la compensación de factores como la iluminación, atenuación atmosférica y variaciones en la sensibilidad del sensor. La corrección radiométrica garantiza que los valores de píxeles en la imagen reflejen de manera fiel las características del terreno, independientemente de las condiciones de iluminación o

de las propiedades atmosféricas. En el contexto de la ingeniería civil, la calibración radiométrica es esencial para obtener información cuantitativa precisa de la imagen, facilitando la evaluación de materiales, el análisis de cambios ambientales y la generación de mapas temáticos.

2.2.7.3. INTEGRACIÓN DE CALIBRACIÓN GEOMÉTRICA Y RADIOMÉTRICA

En proyectos de ingeniería civil, la integración de la calibración geométrica y radiométrica es crucial para garantizar una representación precisa y fidedigna del entorno. La corrección precisa de distorsiones geométricas junto con la normalización radiométrica adecuada permite obtener información detallada y confiable para la toma de decisiones fundamentales en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura civil. En conclusión, la calibración geométrica y radiométrica de imágenes de elevación digital desempeña un papel vital en la ingeniería civil, mejorando la precisión espacial y la representación cuantitativa de los datos. Este proceso asegura que las imágenes sean herramientas confiables para la toma de decisiones en proyectos de construcción, gestión ambiental y planificación urbana. La aplicación rigurosa de la calibración contribuye significativamente a la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos en la interpretación de imágenes de elevación digital en el ámbito de la ingeniería civil.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

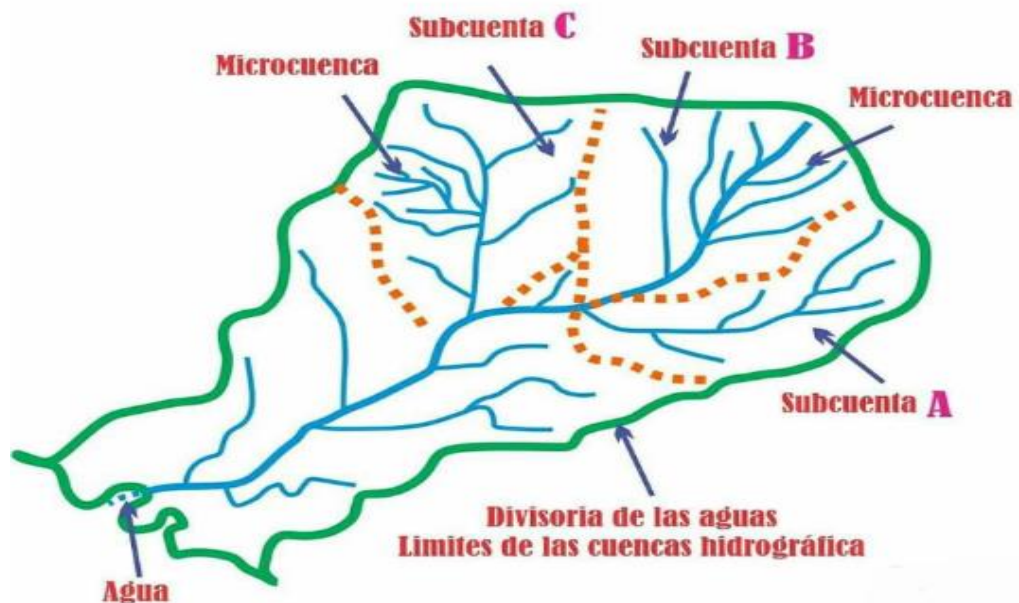
2.3.1.1. PARÁMETROS DE DELIMITACIÓN

La delimitación de una determinada cuenca se elabora a partir de un plano con curvas de nivel, en la cual se identifican las líneas del divortium acuarum o también llamados parte aguas, esta línea es planteada de manera imaginaria, la cual sirve para dividir cada una de las cuencas en un determinado terreno, este tipo de líneas

establece la distribución del escurrimiento que se genera por precipitaciones en la zona, la cual finalmente llega a fluir hasta el punto común de salida de la cuenca. La línea de parte aguas se traza a partir de la identificación de puntos de mayor altitud con lo cual se puedan atravesar las corrientes en los puntos denominados como puntos de aforo. (Villón, 2004)

Figura 2

Esquema de delimitación de una cuenca hidrográfica



Nota. Esquema generalizado de una cuenca en donde se identifican su composición. Palacios (2016)

Si bien para la delimitación de una cuenca se toman en cuenta los parámetros superficiales eso no deja de lado que haya una influencia de las aguas subterráneas debido a eso se pudo identificar que las cuencas topográficas y la cuenca subterránea no presentan la misma delimitación dentro del plano horizontal, si se requiere hacer una delimitación de cuenca más detallada se tiene que tomar en cuenta los aportes de las aguas subterráneas.

A partir de la delimitación de superficie que se establezca dentro de la cuenca, esta puede ser clasificada por su área con lo cual se establece lo siguiente:

Tabla 1*Tabla de caracterización de acuerdo con la dimensión*

Clasificación	Características
Cuenca Grande	Cuenca en la cual se presentan de manera predominante características de fisiográficas tales como pendiente, elevación, área, cauce, etc. Dicha cuenca se puede considerar siempre y cuando tenga un área mayor a 250 km ² .
Cuenca Pequeña	Cuenca en la cual se presentan lluvias de intensidad fuerte y con una corta duración, en dicha cuenca las características físicas como tipo de suelo, vegetación, etc. Son más relevantes que las características del cauce que se genera. Para fines de simplificación se considera a cuenca pequeña a la que compone un área menor a los 250 km ² .

Nota. Relación, dimensión y características de una cuenca. Villón (2004)

Se sabe que una cuenca puede poseer áreas variables unas con otras, esto hace necesario un análisis específico de acuerdo a la dimensión que posea ya que para una cuenca clasificada como pequeña es necesario el análisis de las condiciones del suelo y con ello estimar las características de forma y volumen de escurrimiento, mientras que para una cuenca clasificada como grande las características de volumen de cauce son más relevantes y por ello se tienen que centrar la investigación en la caracterización de este parámetro.

2.3.1.2. ÁREA DE LA CUENCA

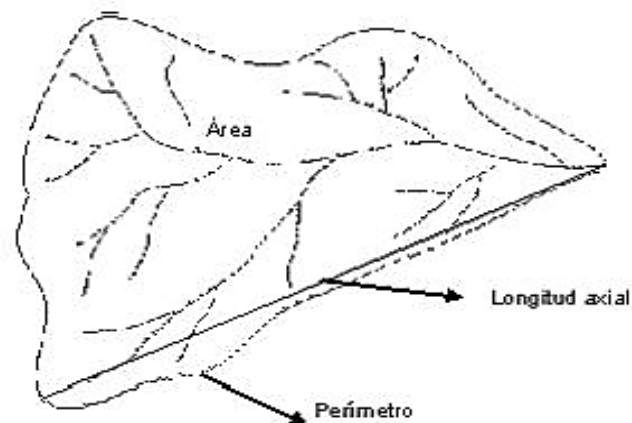
Se puede establecer como área de una cuenca a la superficie proyectada en un determinado plano horizontal generalmente la proyección comprende una forma irregular debido a las características de la cuenca, dicho valor es determinado posteriormente a la delimitación de la cuenca de interés.

2.3.1.3. PERÍMETRO DE UNA CUENCA

Se puede establecer al perímetro de la cuenca como la línea de borde que componen la delimitación de la cuenca proyectada en el plano horizontal, esta zona generalmente se caracteriza por presentar una forma irregular, de la misma forma que el área, este perímetro se obtiene a posterior de la delimitación de la cuenca.

Figura 3

Perímetro y área de cuenca



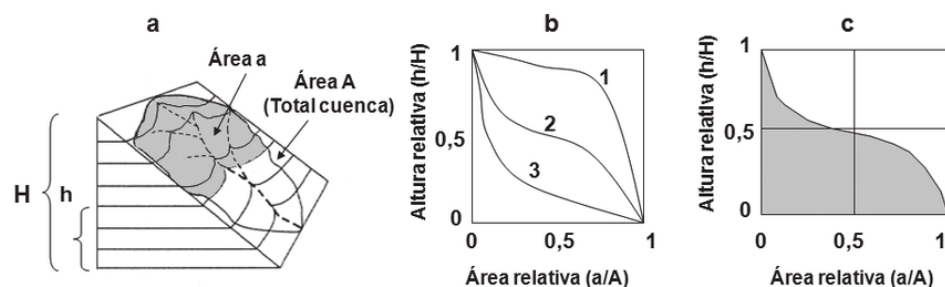
Nota. Esquema idealizado para la identificación de parámetros de una cuenca. Villón (2004)

2.3.1.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS

Curva hipsométrica: Gráfica que representa en un plano de coordenadas rectangulares las relaciones de altitud y área de la cuenca que se encuentra entre ese intervalo altitudinal, para la elaboración de la curva hipsométrica se hace aplicación del mapa topográfico con curvas de nivel de la zona. (Villón, 2004)

Figura 4

Esquema de determinación de curva hipsométrica

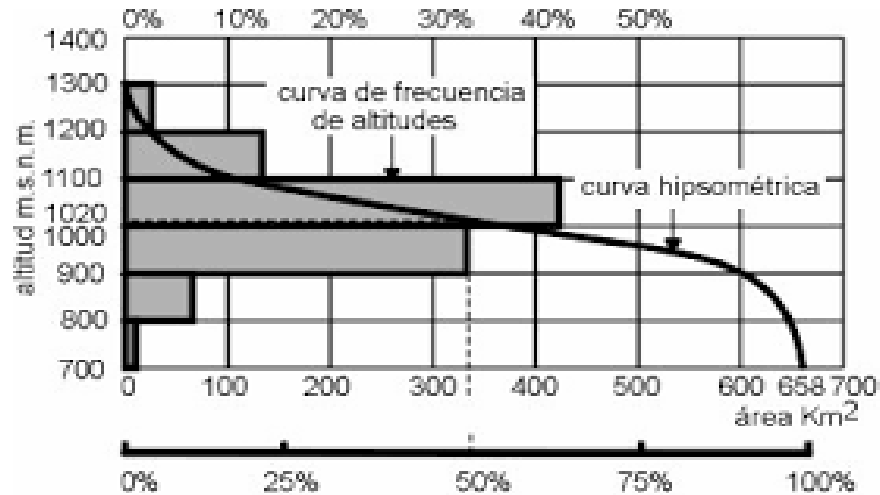


Nota. Proceso generalizado para el cálculo y determinación de la gráfica de la curva hipsométrica. Quezada (2010)

Curva de frecuencia de altitudes: Es la gráfica que representa en porcentajes la distribución de superficie de la cuenca categorizada a partir de las diferentes altitudes.

Figura 5

Curva de frecuencia y curva hipsométrica



Nota. De la gráfica se muestra la aplicación en conjunto de ambas curvas para la interpretación de datos. Villón (2004)

De la combinación de ambas informaciones se pueden estimar los valores de altitud media, la cual se establece a partir de la ordenada con valor medio de la curva hipsométrica partiendo así la mitad de la superficie de la cuenca se encuentra por encima y por debajo de la cuenca; valor altitudinal más frecuente, valor que en valor porcentual tienen mayor recurrencia en la frecuencia de altitudes y la altitud de frecuencia $\frac{1}{2}$, dicho valor se localiza en el punto medio de la abscisa. De manera numérica el valor de la altitud de frecuencia $\frac{1}{2}$ se puede obtener de la siguiente forma:

$$E_m = \frac{\sum a \cdot e}{A}$$

De manera gráfica se puede estimar a partir de la identificación del 50% del área en el eje X trazando una línea perpendicular que logre interceptar a la curva hipsométrica y con el punto identificado lograr trazar la horizontal para la intercepción con el eje Y.

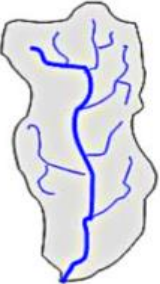
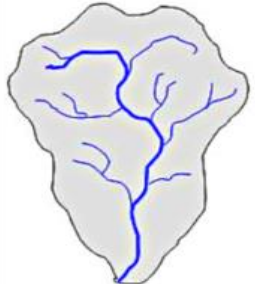
2.3.1.5. ÍNDICES REPRESENTATIVOS

Factor de forma (F): Factor que relaciona el ancho promedio con la longitud de la cuenca, representado de manera matemática de la siguiente forma:

$$F = \frac{\text{ancho}}{\text{longitud}} = \frac{B}{L}$$

Figura 6

Clasificación de cuencas por su forma

0 - 0,25	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75	0,75 – 1
Estrecha	Alargada	Amplia	Ancha
			

Nota. Esquema generalizado para la caracterización de cuencas según el valor del factor de forma. Albornoz (2020)

Del hipotético caso en que una cuenca determinada tenga un mayor factor de forma presenta una mayor posibilidad de que en ella se suscite una tormenta intensa de manera simultánea en toda la cuenca, en comparación con la otra cuenca. Si el factor de forma es menor, la cuenca presenta una menor posibilidad de concentrar lluvias intensas en comparación con otras con un mayor factor de forma.

Índice de Compacidad (K): Esta relación se estima a partir de los valores de perímetro y perímetro equivalente a una circunferencia que presenta un mismo valor de superficie, expresado de manera matemática se puede determinar que:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

El valor estimado para el índice de compacidad expresa las relaciones que se presentan entre el área y perímetro de una cuenca con los valores de escurrimiento evidenciado en los

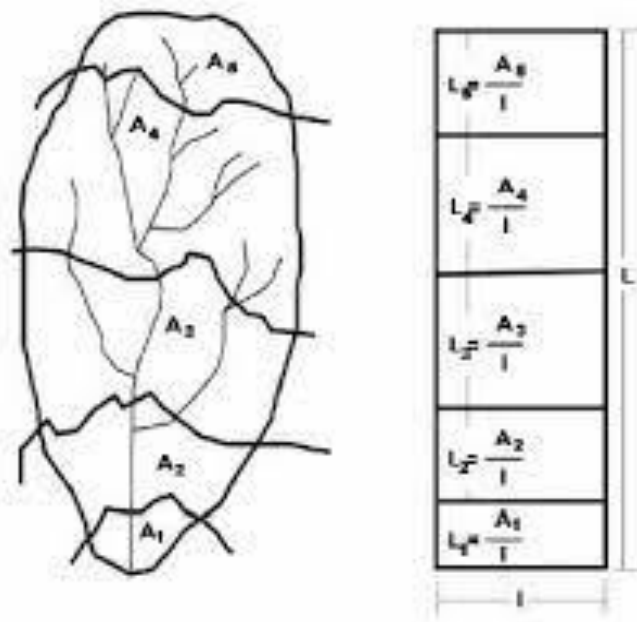
hidrogramas. Para un valor de compacidad de 1 se puede interpretar a la cuenca con forma circular, para las cuencas alargadas se puede identificar que el valor es $K > 1$, si en caso la cuenca sea alargada se reducen las posibilidades de que sean cubiertas por completo en eventos de una tormenta con lo cual se genera una afectación directa en el cauce del río.

2.3.1.6. RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Se define como rectángulo equivalente a la transformación geométrica en que una cuenca es representada a su forma heterogénea en forma rectangular con la característica de que posea el mismo área y perímetro con la misma distribución de terreno, para la elaboración de un rectángulo equivalente se debe tener en cuenta que las curvas de nivel de la cuenca se transportan de manera paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y la última curva de nivel.

Figura 7

Rectángulo equivalente



Nota. Esquema para equivalencia entre cuenca y rectángulo equivalente. Villón (2004)

2.3.1.7. ÍNDICE DE PENDIENTE

Valor ponderado que parametriza las pendientes del cauce que se relacionan directamente con el tramo de recorrido de río. Este valor puede caracterizar la granulometría componente a la zona, de esta forma también se pueden identificar los relieves, que componen el cauce principal adicionando las características del rectángulo equivalente, este valor se puede estimar a partir de la siguiente relación matemática:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sqrt{L}}$$

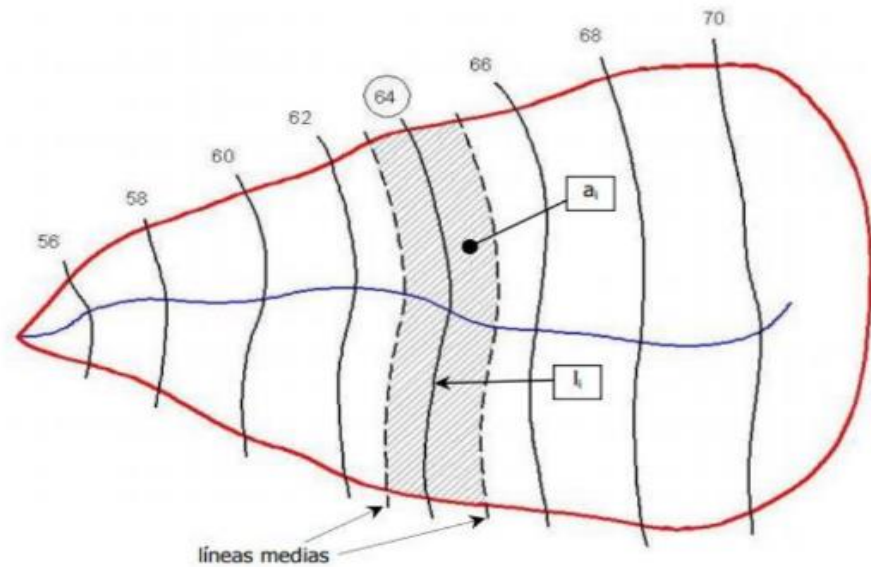
2.3.1.8. PENDIENTE DE CUENCA

El valor de pendiente de cuenca toma relevancia en el sentido de la caracterización de una cuenca, este valor tiene una relación importante y a la vez presenta una complejidad con los valores de infiltración, los efectos de escorrentía, el valor de humedad de suelo y los valores de contribución de aguas subterráneas con relación a la escorrentía. Se pudo establecer que este valor es determinante al momento de parametrizar los valores de escurrimiento y concentración de precipitaciones sobre los canales que drenan la cuenca, valor que a su vez se ve reflejado en la dimensión de las crecidas. Dicho valor se puede estimar a partir de las siguientes metodologías.

- Criterio de Alvord
- Criterio de Horton
- Criterio de Nash
- Criterio del rectángulo equivalente

Figura 8

Estimación de la pendiente de la cuenca por Alvord



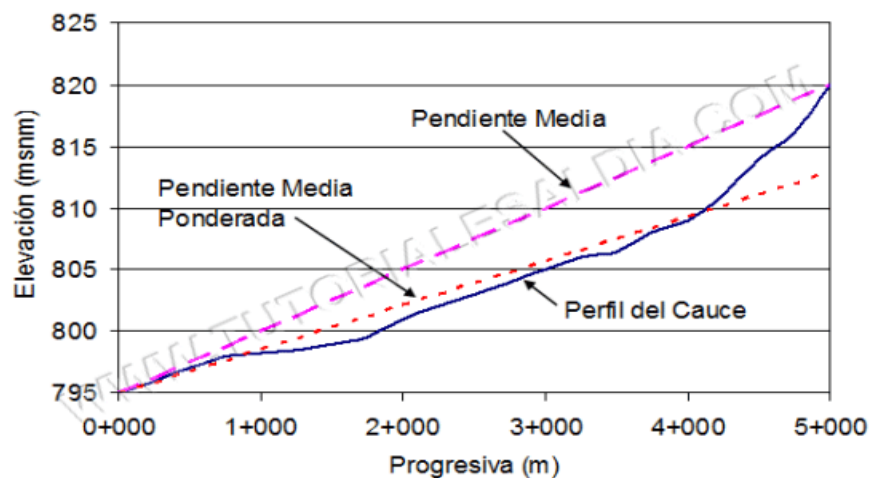
Nota. Grafica idealizada para el proceso de determinación de pendiente mediante el método de Alvord. Albornoz (2020)

2.3.1.9. PERFIL LONGITUDINAL DE CURSO DE AGUA

Este tipo de estimaciones se puede obtener de la gráfica en la cual se considere la proyección horizontal a lo largo del cauce y que se vea relacionado directamente con la altitud de la cuenca, de ello se pueden obtener los perfiles longitudinales del cauce.

Figura 9

Perfil longitudinal de cauce



Nota. Representación gráfica del perfil longitudinal de cauce. Albornoz (2020)

La caracterización del perfil de cauce establece las características para el establecimiento de puntos de control, puntos de captación y localización de posibles centrales hidroeléctricas.

2.3.1.10. PENDIENTE DE CAUCE

La parametrización de la pendiente del cauce es relevante para la caracterización de recurso hídrico con el que cuenta la hoya hidrográfica, con esta información se pueden plantear zonas de aprovechamiento para aplicaciones hidroeléctricas o también en el planteamiento de soluciones óptimas para los problemas de inundación. Generalmente los valores de pendiente de cauce de río se pueden determinar a partir de la relación que se calcula de dividir el desnivel en los extremos del cauce con la longitud horizontal que presenta. (Villón, 2004)

Para el cálculo de la pendiente se puede aplicar los siguientes métodos:

- Método de la pendiente uniforme
- Método de compensación de áreas
- Ecuación de Taylor y Schwarz

2.3.1.11. RED DE DRENAJE

La red se define a partir de las trayectorias o arreglos de los cauces de corriente natural que se componen dentro de una cuenca, con esta caracterización se puede evidenciar la eficiencia de los sistemas de drenaje para los escurrimientos que se generan dentro de la hoya, dicho de otra forma se puede describir como la velocidad en la cual se puede desalojar el volumen de agua que se recibe, este tipo de características de drenaje también presenta una cierta caracterización del suelo y superficie de la cuenca debido a los efectos que se generan en el escurrimiento. La red de drenaje se puede parametrizar con las siguientes características:

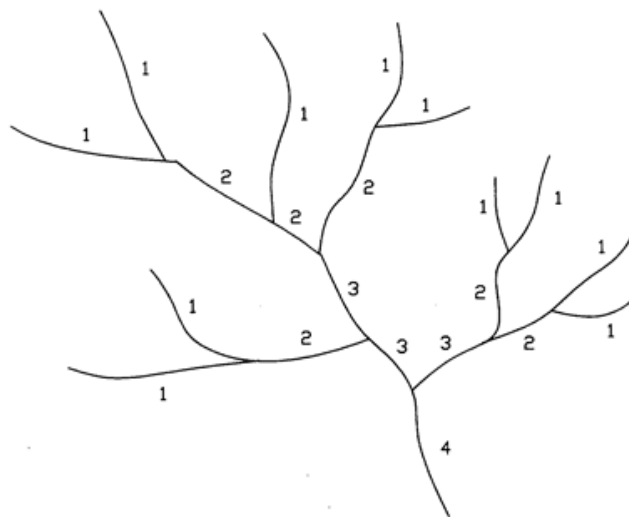
Clasificación de las corrientes: Esta clasificación se relaciona directamente con las características físicas y entorno climático en el que se encuentre la cuenca, de esto se pudo

clasificar en corriente efímera, la cual transporta agua cuando se generan precipitaciones en zonas cercanas; corrientes intermitentes, la cual lleva un volumen de agua de manera constante de manera más activa en temporadas de lluvia y corriente perenne, lleva agua en todo momento aun así se encuentre en época de sequía debido a que el nivel freático siempre está sobre el fondo del cauce.

Orden de las corrientes: Este parámetro nos proporciona el grado de bifurcación que se generan dentro de la cuenca, esta clasificación se realiza a partir del análisis de corrientes perennes e intermitentes, la metodología generalizada para la determinación del grado de bifurcación es considerar como corrientes de primer orden a las que no presentan un tributario, de segundo orden a los que presentan tributarios de primer orden, de tercer orden a los que poseen 2 o más tributarios de segundo orden y así para los siguientes ordenes, con ello pues la orden de la red principal presentará la extensión de red dentro de la cuenca.

Figura 10

Orden de corrientes de cuenca



Nota. Esquema ramificado para la identificación del orden de cuenca. Villón (2004)

Longitud de tributario: Se puede caracterizar a partir de la información de la longitud de los tributarios que las pendientes son

uno de los indicadores que se pueden identificar de la cuenca y con ello también estimar el grado de drenaje con la que cuenta la cuenca. Cabe mencionar que, si la cuenca cuenta con áreas escarpadas y con un alto grado de drenaje estos van a presentar una gran cantidad de tributarios pequeños y si se tiene una zona plana con suelos de alta profundidad con características de permeabilidad se tendrán unos tributarios de mayor longitud que en gran mayoría son de tipo perennes. Se puede establecer una relación entre el orden y la longitud de tributarios ya que si se incrementa uno tiene efecto equivalente en el otro, sin embargo, esta relación no se comparte en caso de corrientes individuales.

Densidad de corriente: Este valor se determina a partir de la relación que hay entre la cantidad de corrientes y la superficie drenada la cuenca, cabe estimar que este valor no logra establecer un parámetro de medición real que se relacione con la eficacia del drenaje ya que la densidad de corriente no presentan siempre una equivalencia con el tipo de drenaje que existe en la cuenca, esto dependiendo de la longitud que tengan las corrientes, este parámetro se puede plantear con la siguiente fórmula:

$$D_c = \frac{N_c}{A}$$

Densidad de drenaje: Este parámetro establece de manera más precisa en comparación con la densidad de corriente del cálculo de dicho valor si se puede establecer relaciones con el contexto de la cuenca, ya que un valor alto de densidad significa que la cuenca presenta un poco de cobertura vegetal, con suelos con facilidad de erosionar o con características impermeables, siendo de manera inversa si el valor de densidad es bajo. Este valor se puede calcular con la siguiente relación matemática:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

2.3.2. PRECIPITACIÓN SOBRE UNA CUENCA

2.3.2.1. ORÍGENES DE LA PRECIPITACIÓN

Generalmente el proceso se origina por la unión de una gran cantidad de gotas o por el engrosamiento de una gota causada por la fusión y parte de la condensación de otras.

2.3.2.2. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Para la génesis de una precipitación es necesaria una gran altura con la cual cuente la masa de agua en la zona atmosférica, de tal forma que llegue a un punto de enfriamiento y parte de la humedad que contenga se llegue al punto de condensación y consecuentemente se atiende a los factores que provoquen el levantamiento del aire en la atmosfera, con lo cual la precipitación se puede clasificar en:

Precipitación de convección: En periodos de altas temperaturas se genera una gran evaporación de agua superficial con lo cual inicia el génesis de grandes masas de vapor lo cual al tener altas temperaturas se elevan generando un enfriamiento, este tipo de eventos se suscitará hasta que las masas de agua se condensen y se genere una precipitación en la zona.

Precipitación orográfica: Se origina este tipo de precipitación por el impulso del vapor de agua que se dirige hacia las zonas montañosas en donde se genera una elevación hasta llegar al punto de condensación y por efecto su precipitación.

Precipitación ciclónica: Ocasionado principalmente por la intercepción de dos masas de aire, con una variación de temperatura y valores de humedad, dichas nubes fueron impulsadas de manera violenta a las zonas altas con lo cual se originan las precipitaciones en la zona.

Figura 11

Génesis de precipitación



Nota. Esquemas generalizados del origen de precipitaciones en una zona determinada. Albornoz (2020)

2.3.2.3. FORMAS DE MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN

Los valores generalizados para la medición de precipitaciones generalmente son los términos de altura de lámina de agua, generalmente estimada en mm. Para la estimación se tiene en cuenta la altura del volumen acumulado en una superficie horizontal, esto si la precipitación permaneciera en la misma zona donde cayó. Generalmente los aparatos de medición se utilizan en zonas de intemperie con la colocación de un recipiente cilíndrico que presenta una abertura en la parte superior con la cual se recolecta el agua que es captada de las precipitaciones. Las mediciones se pueden realizar con las siguientes herramientas:

Pluviómetro: Recipiente cilíndrico que contiene una lámina de 20 cm de diámetro y 60 cm de alto, esta herramienta permite medir los valores de altura de lluvia con la aplicación de la probeta, las medidas generalmente se hacen cada 24 horas, para zonas en las cuales solo se hagan visitas anuales o poco recurrentes se hace uso de los pluviómetros totalizadores.

Figura 12

Esquema generalizado de un pluviómetro

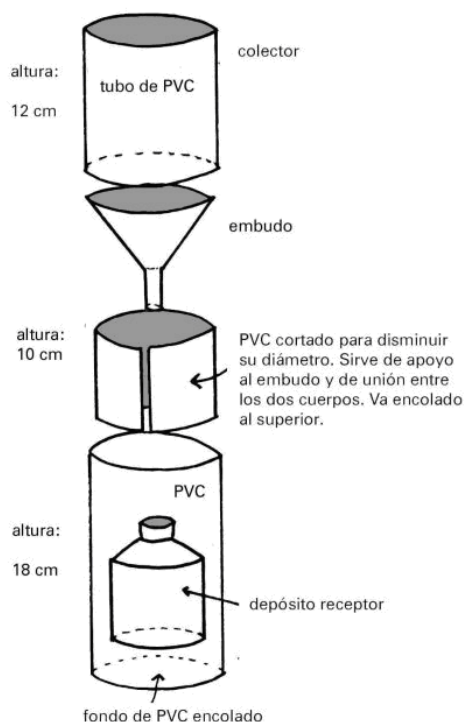
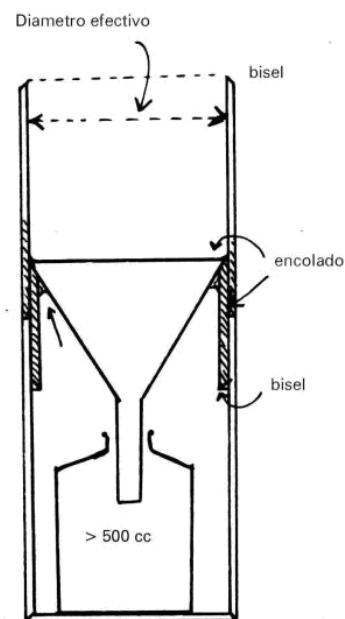


Figura 1

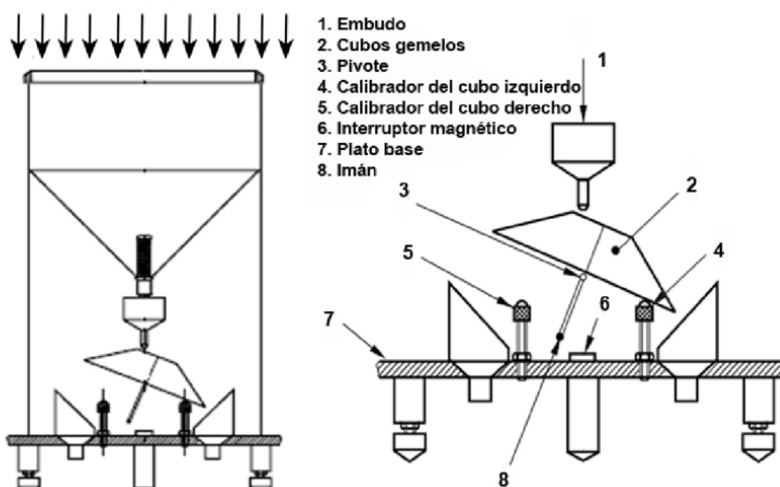


Nota. Esquema de composición de un pluviómetro generalizado. Albornoz (2020)

Pluviógrafo: Herramienta que facilita la lectura de altura de lluvia, funciona directamente relacionada con el tiempo, lo cual facilita calcular la intensidad de precipitación, información que es relevante para el diseño de obras hidráulicas. De la lectura de esta herramienta se obtiene una gráfica denominada pluviograma.

Figura 13

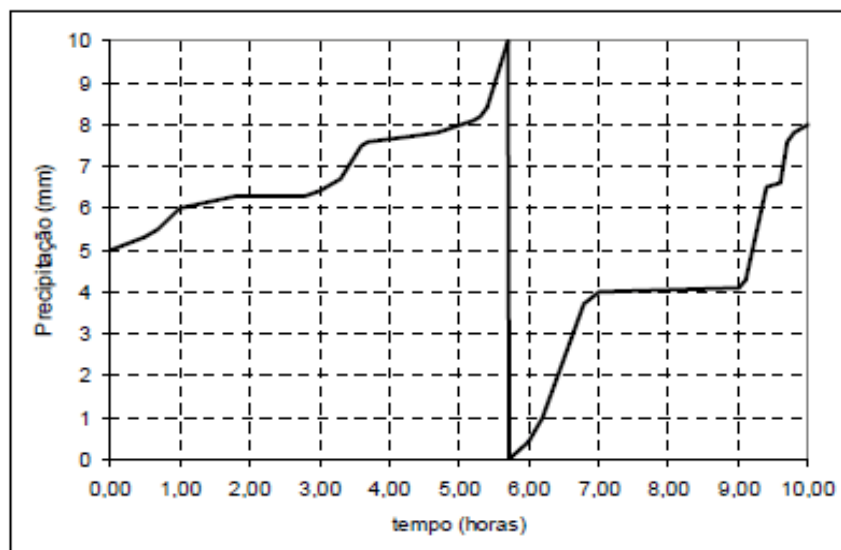
Esquema de un pluviógrafo



Nota. Esquema de componentes de un pluviógrafo estándar. Albornoz (2020)

Figura 14

Gráfica de un pluviograma



Nota. Pluviograma recuperado de la caracterización de una precipitación. Palacios (2016)

2.3.2.4. ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MEDIA DE CUENCA

Para un evento de precipitación por lo general los volúmenes de agua no son uniformes en cada punto, aun así sean zonas cercanas, al utilizar herramientas de registro pluvial estas solo nos dan registro de las lluvias puntuales en la zona, es decir que la información puede variar de acuerdo a la posición en la cual se encuentre la estación, de esa problemática nace la necesidad de obtener los valores promedios de precipitación en una determinada zona para el logro de su determinación, se hace necesaria la recolección de información de precipitación media de la zona, la cual se relaciona con la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual. (Villón, 2004)

Para el cálculo de las precipitaciones medias de una tormenta se pueden aplicar las siguientes metodologías:

Promedio Aritmético: Metodología con la cual se puede establecer un promedio de alturas de precipitaciones que se hayan registrado en las estaciones que contiene la zona de interés. Si bien es un método simplificado los resultados serán confiables siempre

y cuando el número de estaciones dentro de la zona es considerable. Se puede representar mediante la siguiente expresión matemática:

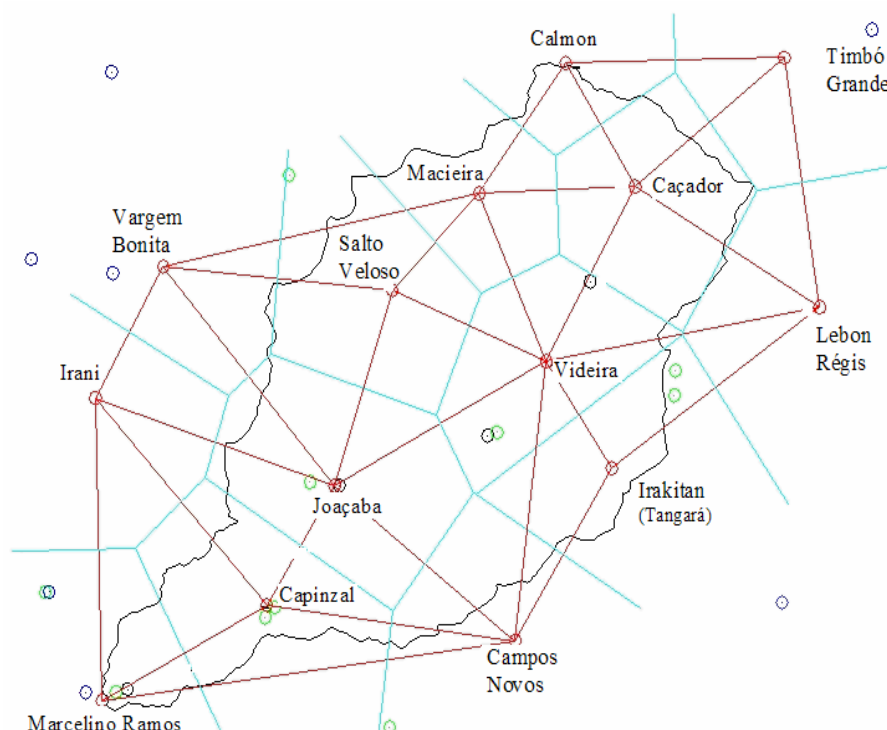
$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Polígono de Thiessen: Para la aplicación de esta metodología es necesaria la identificación y localización exacta de las estaciones para la zona de interés, ya que para la aplicación de la metodología se requiere hacer una delimitación de influencia por estación y estimarlo para cada una de las estaciones. Se puede representar mediante la siguiente expresión matemática:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$

Figura 15

Esquema de una cuenca aplicada el Polígono de Thiessen



Nota. Esquema de polígonos de Thiessen para una cuenca. Anrain (2007)

Isoyetas: Para la aplicación de esta metodología se requiere el uso de una cartografía de isoyetas establecidas a partir de las

lecturas de las estaciones cercanas al terreno de análisis, se pueden definir a las isoyetas como líneas que unen los puntos con valores de precipitación similares. De las metodologías planteadas esta es la más precisa, pero de un criterio específico para hacer el trazo de las curvas, es característico que si se tienen precipitaciones orográficas las isoyetas presentarán una distribución similar a la de las curvas de nivel de la zona.

Figura 16

Isoyetas de la región Huánuco



Nota. Estimación de las isoyetas para la región Huánuco. Ponce (2023)

2.3.2.5. CARACTERIZACIÓN DE TORMENTA

La caracterización de una tormenta toma relevancia a partir de las relaciones que se establecen de los cálculo o investigaciones que se orienten al estudio de obras de ingeniería hidráulica, tales como:

- Investigación de drenaje de cuenca.
- Cálculo de los caudales críticos, con el cual se diseñen los aliviaderos o que se encausen con la finalidad de controlar inundaciones.
- Estimar los valores de luz por puente.
- Identificación de conservación de suelos.
- Estimación del diámetro de alcantarillas.

Para el dimensionamiento de obras hidráulicas es necesario la estimación de las tormentas a las cuales se verá sometida, estimación de la frecuencia de las precipitaciones, las influencias del periodo de retorno y los coeficientes de seguridad de acuerdo con el tipo de estructura.

Intensidad: Se define como la cantidad de agua caída medida en una unidad de tiempo, para el diseño de una estructura lo ideal es estimar la intensidad máxima que se haya suscitado, con ello pues se establece los valores de altura máxima de caída de agua en una unidad de tiempo, dicho concepto se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{P}{t}$$

Duración: Esta característica representa el tiempo que transcurre desde el inicio y fin de la tormenta. Para la caracterización se recomienda establecer los parámetros de periodo de duración, este valor es relevante en la caracterización de intensidades máximas.

Frecuencia: Es el valor de recurrencia en el cual se origina una tormenta, con características de intensidad y duración definidas para un determinado lapso con mayor o menor lapso en general es considerado en años.

Periodo de retorno: Se establece que el periodo de retorno es el tiempo promedio en el cual un evento planteado de magnitud X, puede ser superado o igualado al menos una vez en promedio, este concepto se puede establecer a partir de la siguiente expresión.

$$T = \frac{1}{f}$$

2.3.2.6. HIETOGRAMA

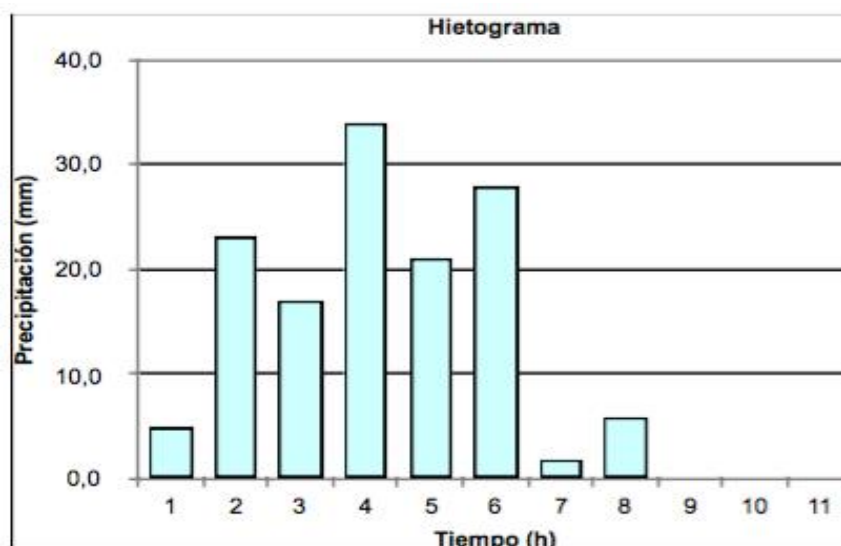
Gráfica con forma escalonada similar a un histograma, la cual representa la variedad de intensidad que se expresa en mm/hr de

una tormenta específica, se pueden establecer relaciones de información con las gráficas de los pluviogramas. A partir del hietograma se puede identificar la hora en la cual una precipitación posee una intensidad máxima y en qué valor se registró. Esta gráfica se puede establecer a partir de la siguiente expresión matemática:

$$i = \frac{dP}{dt}$$

Figura 17

Esquema generalizado de un hietograma



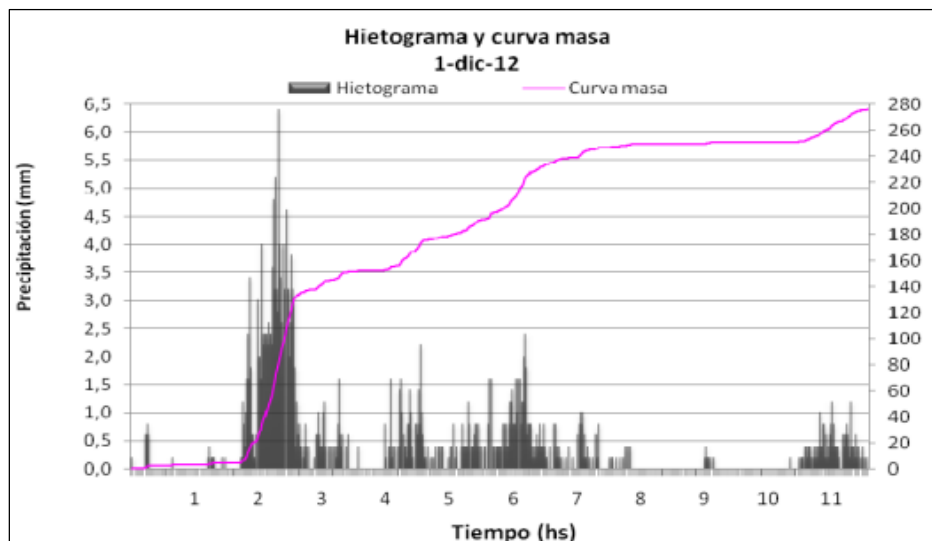
Nota. Estimación del hietograma de una cuenca de interés. Anrain (2007)

2.3.2.7. CURVA MASA DE PRECIPITACIÓN

Esta gráfica representa la precipitación anual acumulada en relación con el tiempo. Estos valores se extraen directamente del pluviograma armado para la zona de interés. Esta curva tiene la característica de no ser decreciente, se estima que la pendiente de la tangente en cualquier punto de la gráfica representa el valor de intensidad instantánea en ese periodo de tiempo.

Figura 18

Gráfica de curva masa y su hietograma



Nota. Gráfica de curva masa basada en hietograma de tormenta. Rodriguez (2014)

2.3.2.8. FÓRMULAS DE INTENSIDAD MÁXIMAS BASADA EN LA DURACIÓN Y PERIODO DE RETORNO

Fórmula de Talbot: Esta expresión relaciona los valores de intensidad máxima con la duración que presenta, en un contexto de periodo de retorno estimado, se plantea a partir de la siguiente expresión:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{a}{b + D}$$

Donde:

a y b = Parámetros relacionados con la ubicación y periodo de retorno.

D = Duración de la precipitación en minutos.

Fórmula aplicada en USA: Esta fórmula relaciona los valores de intensidad máxima con las de duración y periodo de retorno de la siguiente manera:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{kT^a}{D^b}$$

Los parámetros a, b y K, se estiman a partir de los valores medidos del contexto situacional.

2.3.3. CAUDAL DE DISEÑO

El valor calculado para la magnitud del caudal de diseño se relaciona directamente con el periodo de retorno en que se plantee el análisis y este a su vez se estima a partir de la importancia de la obra y los factores de vida útil de la misma.

2.3.3.1. PERIODO DE RETORNO

Para la estimación del caudal máximo, se define al periodo de retorno como el intervalo temporal en que un evento de caudal de magnitud Q por lo menos una vez es igualado o superado en promedio. Se estima que, si el evento Q es igualado o superado ocurre 1 vez en T años, el valor de probabilidad de ocurrencia es P , esta se puede expresar en la siguiente fórmula matemática.

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{ó} \quad T = \frac{1}{P}$$

A partir de esta expresión se puede definir que un evento ocurra en n años sucesivos se conoce también como el riesgo de falla R y puede ser expresada de la siguiente manera:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Con los valores de riesgo se pueden estimar los valores de periodo de retorno de una determinada obra y con ello determinar las implicaciones para una vida útil de n años.

Figura 19

Periodo de retorno de acuerdo con el tipo de obra

Tipo de estructura	Periodo de retorno en años
Puente sobre carretera importante	50 – 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5

Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Muro de encauzamiento	2 – 50

Nota. Tabla que parametriza los valores de periodo de retorno de acuerdo a la estructura que se planteé. (Villón, 2004)

2.3.3.2. MÉTODO DIRECTO

También se le conoce como sección y pendiente, para la cual se estiman los caudales máximos a partir de una avenida en la cual se toman los datos de campo específico. Esta metodología se establece a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Del cual:

Q = Caudal máximo, m³/s

n = Coeficiente de rugosidad

A = Área hidráulica promedio, m²

R = Radio hidráulico promedio, m

S = Pendiente, m/m

Tabla 2

Factores de rugosidad de Manning

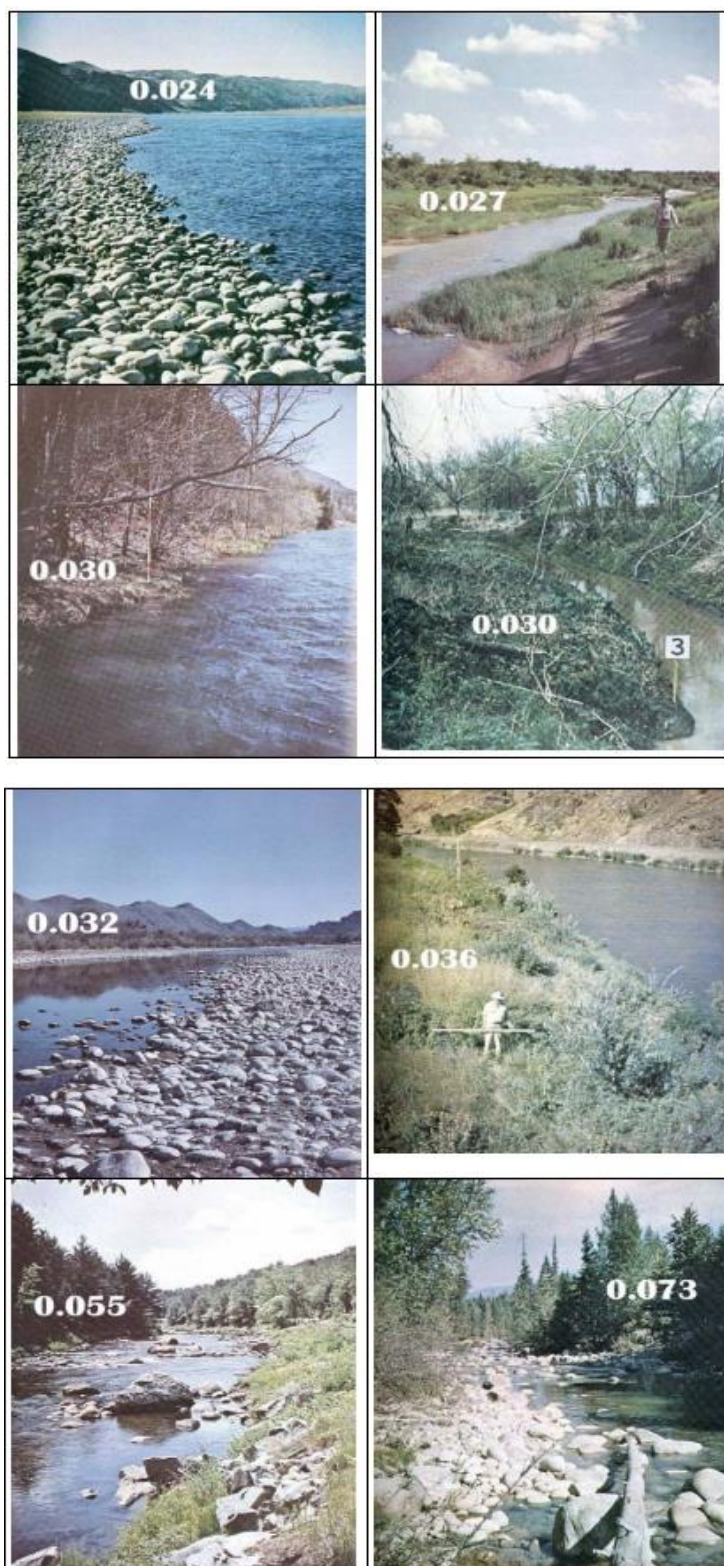
Superficie	Condición de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medias	Malas
Tubería de hierro forjado negro comercial	0.012	0.013	0.014	0.015
Tubería de fierro forjado galvanizado comercial	0.013	0.014	0.015	0.017
Tubería de latón o vidrio	0.009	0.010	0.011	0.013
Tubería de acero remachado en espiral	0.013	0.015	0.017	-
Tubería de barro vitrificado	0.010	0.013	0.015	0.017
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.012	0.014	0.017
Tabique vidriado	0.011	0.012	0.013	0.015
Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique	0.012	0.013	0.015	0.017
Superficie de cemento pulido	0.010	0.011	0.012	0.013
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013	0.015
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015	0.016

Tuberías de duela	0.010	0.011	0.012	0.013
Acueductos de tablón				
Labrado	0.010	0.012	0.013	0.014
Sin labrar	0.011	0.013	0.014	0.015
Con astillas	0.012	0.015	0.016	-
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014	0.016	0.018
Superficie de mampostería en seco	0.025	0.030	0.033	0.035
Acueducto semicirculares metálicos lisos	0.011	0.012	0.013	0.015
Acueductos semicirculares metálicos corrugados	0.0225	0.025	0.0275	0.030
Canales y zanjas				
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	-
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025	0.0275	0.030
Degradados en tierra	0.025	0.0275	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhierbados	0.025	0.030	0.035	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales				
Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
Igual al anterior con presencia de hierba y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045
Igual al anterior, con poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente	0.040	0.045	0.050	0.055
Igual que el tercero, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
Igual que el cuarto, con secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
Playas muy enyerbadas	0.075	0.100	0.125	0.150

Nota. Valores de rugosidad establecidos por Manning. Villón (2004)

Figura 20

Estimación de rugosidad en cauces naturales



Nota. Valores caracterizados a partir de mediciones reales en canales naturales.
(Villón, 2004)

2.3.3.3. MÉTODO EMPÍRICO

Gran variedad de estas fórmulas se deriva directamente de la metodología racional, la dificultad de esta metodología es que presenta un alto grado de error en sus resultados ya que no se puede elaborar una estimación de caudal solo con la consideración del área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento.

Método Racional: Método aplicable para cuencas pequeñas con un área no excedente a las 1300 has o 13 km². Se establece a partir de la siguiente expresión matemática:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

Q = Caudal máximo

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad máxima

A = Área en has

Tiempo de concentración: Se define como tiempo de concentración al periodo temporal transcurrido en el cual una gota de agua cae en un punto alejado de la cuenca hasta que llegue al punto de aforo, dicho valor es parametrizado por las características geográficas y topográficas de la cuenca, se puede calcular por las siguientes fórmulas:

- Kirpich:

$$t_c = 0.0195K^{0.77}$$

- Australiana

$$t_c = \frac{58L}{A^{0.1}S^{0.2}}$$

- George Rivero

$$t_c = \frac{16L}{(1.05 - 0.2p)(100S)^{0.04}}$$

- SCS

$$t_c = \frac{0.02872L^{0.80} \left(\frac{1000}{N} - 9 \right)^{1.67}}{S^{0.50}}$$

Método de Mac Math: Se estima a partir de la siguiente expresión matemática:

$$Q = 0.0091CIA^{\frac{4}{5}}S^{\frac{1}{2}}$$

Tabla 3

Coefficientes de Mac-Math

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C ₁	Textura	C ₂	Pendiente (%)	C ₃
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 – 0.2	0.04
80 – 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 – 0.5	0.06
50 – 80	0.16	Media	0.16	0.5 – 2.0	0.06
20 – 50	0.22	Fina	0.22	2.0 – 5.0	0.10
0 – 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 – 10.0	0.15

Nota. Valores estimados para la fórmula establecida. (Villón, 2004)

Método de Burkli – Ziegler: Se estima a partir de la siguiente expresión matemática:

$$Q = 0.022CIA^4\sqrt{\frac{S}{A}}$$

Tabla 4

Factor C para Burkli

Tipo de superficie	C
Calles pavimentadas y barrios bastante edificados	0.750
Calles comunes de ciudades	0.625
Poblado con plaza y calles en grava	0.300
Campos deportivos	0.250

Nota. Valor del factor C de aplicación en la fórmula. (Villón, 2004)

Método de Kresnik: Se estima a partir de la siguiente expresión matemática:

$$Q = \alpha \frac{32A}{(0.5 + \sqrt{A})}$$

2.3.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Se logró estimar que tanto el sistema de información geográfica (SIG) y la cartografía presenta la capacidad de representar en mapas la organización espacial de los recursos naturales de los territorios para un determinado momento. La información SIG se compone por los

subsistemas que facilitan el ingreso, almacenaje, edición y análisis de datos geográficos con la finalidad de transformar en información apta con la finalidad de tomar decisiones, logrado el objetivo de la caracterización, la información SIG logra elaborar mapas temáticos con la cual se logren representar la información, este tipo de información facilita en el ámbito de la hidrología en la predicción de gastos, estimación de la probabilidad de una avenida, cálculo del balance hídrico, una caracterización integrada con el establecimiento de planes de manejo de las cuencas y la determinación de las zonas importantes en la conservación del recurso. (Cotler, 2004)

2.3.5. MODELO DIGITAL DE TERRENO

Este término se refiere al establecimiento de los datos geográficos con lo cual se describen una variedad de diferencias en un modelo de relieve de la cuenca estimada. Los modelos digitales del terreno (MDT) se generan a partir de la interpolación de una serie de datos altitudinales, de tal manera que con cierta calidad de imagen cada parte de la cuenca caracterizada se corresponde un valor altitudinal, a partir de la elaboración de un MDT se logrará estimar e identificar los cauces y parte aguas, dicho proceso generalmente se ejecutaba en forma manual a partir de mapas de topografía. A partir de cálculos numéricos se puede estimar un MDT a partir de pisos altitudinales, mapas de orientación e inclinación de la cuenca de interés, entre otras. Con el mismo modelo se lograrán estimar los parámetros cuantitativos de forma. (Cotler, 2004)

2.3.6. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL

A partir de un modelo digital de elevación (DEM), si este posee una alta calidad de imagen se puede evidenciar una alta precisión en el establecimiento de los puntos de control aplicados para la georreferenciación con lo cual se logra asignar las cotas reales en el terreno, esto pues evidencia un alto grado de fidelidad en la imagen DEM, si se encuentran incoherencias en los diferentes canales que componen un DEM puede deberse a la falta de imágenes ASTER previamente a la extracción de imágenes DEM, estimando así las

características de eliminaciones de cuerpos nubosos obteniendo así una imagen de alta calidad. Puede establecerse que para las características morfométricas derivadas del DEM ASTER presentan una correcta correspondencia con las obtenidas del DEM SRTM, logrando así elaborar un modelo hidrológico adecuado en cualquiera de las cuencas de interés. (Oñate, 2007)

2.3.7. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Altura de precipitación diaria: “Es la suma de las lecturas observadas en un día”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media diaria: “Es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación mensual: “Es la suma de las alturas diarias, ocurridas en un mes”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media mensual: “Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondientes a un cierto número de meses”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación anual: “Es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año”. (Villón, 2004)

Altura de precipitación media anual: “Es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años”. (Villón, 2004)

Aster GDEM (Radiómetro Espacial de Emisión y Reflexión Térmica Avanzado): “Satélite que comprende un sensor óptico de imágenes elaborado y ejecutado por el Ministerio de Economía, Comercio e industria (METI) de Japón, e ubicado en el satélite de la NASA (TERRA). Algunas Características principales: Cobertura mundial, con una resolución espacial nominal de 30 m”. (Gonzales, 2020)

Cuenca hidrográfica: “Área de terreno donde las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido”. (Villón, 2004)

Modelo digital de elevación: “Un MDE es la representación matemática de los valores de altura referidos a una superficie de referencia o datum vertical obtenidos mediante diferentes técnicas o métodos”. (Gonzales, 2020)

Modelos digitales de elevación SRTM (Shuttle Radar Topography Mission): “Proyecto conjunto entre NIMA10y la NASA11y las agencias espaciales de Alemania (DLR) e Italia (ASI). La misión tuvo como objetivo generar datos topográficos para el 100% de la superficie de la tierra. Con puntos ubicados en una grilla de 1 arco-segundo (30 m aproximadamente) en latitud y longitud”. (Gonzales, 2020)

Precipitación: “Toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua” (Villón, 2004)

Sistema de altura: “Sistema GNSS, para identificar movimientos verticales de la corteza y cambios de nivel del mar. La superficie de referencia altimétrica es el geoide, el cual está definido como la superficie equipotencial (de igual valor de atracción gravitacional) que coincide con la superficie de los océanos en reposo, extendida sobre los continentes, su denominación más común es Nivel Medio del Mar–NMM.”. (Gonzales, 2020)

Tormenta: “Se entiende por tormenta o borrasca, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo con esta definición, una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días, y puede abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas, hasta varias regiones”. (Villón, 2004)

2.4. HIPÓTESIS

La delimitación hidrológica usando información satelital SRTM genera un modelo más preciso, en comparación con el modelo ASTER GDEM.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Delimitación hidrológica

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Información satelital SRTM y ASTER GDEM

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 5

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTOS O TÉCNICAS	ESCALA DE MEDICIÓN
Información satelital SRTM y ASTER GDEM	Valores altitudinales	Perfil Longitudinal	m	Análisis de imagen DEM	Escala de razón
Concepto.- Las imágenes de satélite visibles equivalen a tomar una fotografía con una cámara normal, requiriendo luz para poder fotografiar. Por esta razón, estas imágenes solo son útiles cuando el sol está brillando sobre la zona a fotografiar. (Mehta, 2015)	Valores de planimetría	Coordenadas Norte y Este	m	Análisis de imagen DEM	Escala de razón
Definición Operacional.- Información de planimetría y altimetría de una zona determinada que sirva como base de investigación para identificación de parámetros morfológicos de una zona en específico.	Variabilidad de información	Precisión	Adim	Análisis del error cuadrático medio	Escala de Intervalo
Delimitación hidrológica	Parámetros geométricos	Área	m ²	Estimación GIS	Escala de Razón
Concepto.- La cuenca hidrográfica es considerada la unidad territorial óptima		Perímetro	m	Estimación GIS	

de planificación y gestión para el uso y manejo de los recursos hídricos y demás recursos naturales asociados. La producción agropecuaria es altamente dependiente de las condiciones climáticas y de la disponibilidad de agua, entre otros factores biológicos, físicos, económicos, sociales, etc... (Brieva, 2018) Definición Operacional.- Valores calculados para la identificación de características de una cuenca determinada directamente relacionada con la geometría, geomorfología e hidrografía de una determinada zona.	Parámetros Geomorfológicos	Longitud de cauce	m	Ficha de coordenadas de cauce	Escala de Razón
		Forma de cuenca	Adim	Ficha de parámetros geomorfológicos	
		Pendiente	%	Modelo de elevación digital	
		Precipitación	mm	Ficha de precipitaciones	
	Parámetros Hidrológicos	Intensidad	mm/s	Curvas IDF	Escala de Razón
		Caudal	m3/s	Ficha de estimación de caudales	

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

Se plantea un enfoque cuantitativo al tipo de investigación que aplica planteamientos acotados, medición de fenómenos, aplicación de estadística y prueba de hipótesis. (Hernández, 2014)

Se plantea así que para la investigación se tiene un enfoque *cuantitativo*.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Una investigación explicativa se centra en la identificación y explicación de las relaciones de causa y efecto entre variables. Se busca comprender por qué y cómo una variable afecta a otra, identificando los mecanismos subyacentes que vinculan las variables. Se utilizan diseños de investigación más rigurosos, como experimentos controlados, para establecer relaciones causales. (Hernández, 2014)

Se plantea así que para la investigación se tiene un alcance *explicativo*.

3.1.3. DISEÑO

Una investigación con diseño no experimental se ejecuta sin manipular las variables según la conveniencia. (Hernández, 2014)

Se plantea así que para la investigación se tiene un diseño *no experimental*.

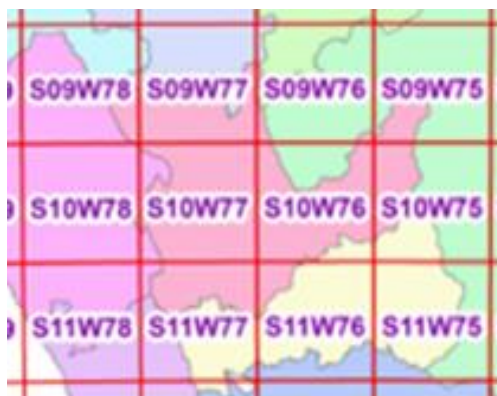
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Se define a población a el grupo en el cual se pretende generalizar los resultados obtenidos. (Hernández, 2014)

Figura 21

Mapa de cuadrantes de imágenes satelitales del Perú



Nota. Mapa sectorizado de cuadrante de imágenes de elevación digital del Perú (MINAM, 2014)

Para la investigación se tomó como población total los 11 cuadrantes de imágenes de elevación digital que comprende la región Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

Se define como muestra al subgrupo de la población en la cual se generalizan los parámetros. (Hernández, 2014)

Se plantea así para la investigación que la muestra son en total 4 cuadrantes que comprenden la magnitud de la cuenca del río Higuera en la localidad de Huánuco.

Tabla 6

Cuadrantes de Muestra

Cuadrante	Código	Fecha	Clasificación
S09W77	ASTGTM_ S09W77	Oct. 03 2019	ASTER-GDEM
S10W77	ASTGTM_ S10W77	Sep. 16 2019	ASTER-GDEM
S11W77	ASTGTM_ S11W77	Ago. 18 2019	ASTER-GDEM
S10W76	ASTGTM_ S10W76	Jun. 16 2019	ASTER-GDEM
S09W77	SRTMGL_ S09W77	Ene. 13 2021	SRTM
S10W77	SRTMGL_ S10W77	Dic. 22 2020	SRTM
S11W77	SRTMGL_ S11W77	Nov. 03 2020	SRTM
S10W76	SRTMGL_ S10W76	Oct. 01 2020	SRTM

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

➤ Observación

Con el propósito de enriquecer la investigación, se llevaron a cabo visitas exhaustivas a lo largo del cauce de interés, con el objetivo específico de identificar y analizar las características del suelo circundante. Estas observaciones detalladas no solo permitieron comprender la morfología del terreno de manera más precisa, sino que también sirvieron como base para el establecimiento de criterios fundamentales en la caracterización de la cobertura vegetal. La importancia de esta caracterización radica en su pertinencia directa para la estimación del caudal, ya que las condiciones de la cobertura vegetal ejercen una influencia significativa en los procesos hidrológicos. Este enfoque integrado que combina la observación in situ y la definición de criterios específicos, fortalece la calidad y la relevancia de los datos recopilados, aportando así a la robustez de la estimación del caudal en el contexto de la investigación hidrológica. Adicionalmente a ello se llevaron procesos de levantamiento topográfico con lo cual se establecieron los estándares de comparación con las imágenes satelitales, teniendo en cuenta la información del cauce se calcularon las variaciones entre las informaciones satelitales que fueron tomados en cuenta en la investigación.

Figura 22

Visita a la zona del cauce de interés.

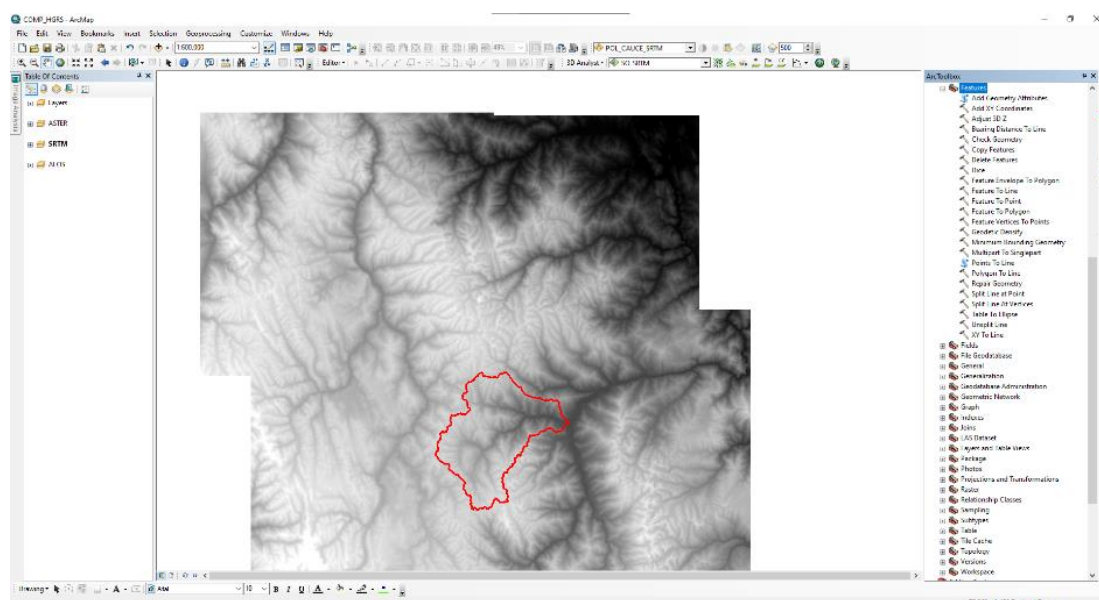


➤ **Análisis de contenido**

Las imágenes DEM recolectadas fueron tratadas íntegramente en el software ArcMap con el cual se pudo procesar la información planimétrica y altimétrica de la cuenca de interés, la delimitación comprendió solo el área de la cuenca del río Higueras, cada una fue determinada independientemente, el único parámetro establecido en común para las dos delimitaciones de las diferentes imágenes DEM fue el punto de aforo, a partir del cual se identificaron las variaciones de área en la delimitación.

Figura 23

Entorno ArcMap para el tratamiento de imágenes DEM



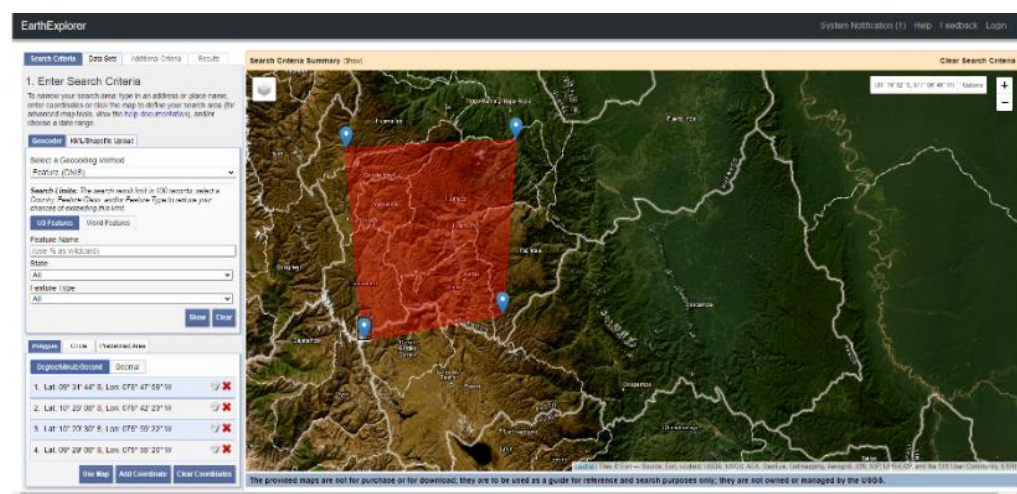
Nota. La delimitación de la cuenca de interés se obtuvo a partir de la identificación del punto de aforo y el establecimiento a partir de los procesos establecidos por el software propio.

➤ **Análisis de información existente**

Para la investigación se identificaron servidores de distribución de imágenes satelitales, se tomaron en cuenta las imágenes ASTER GDEM y SRTM, las cuales fueron sometidas a una prueba de confiabilidad.

Figura 24

Servidor Earth Explorer para la obtención de información SRTM



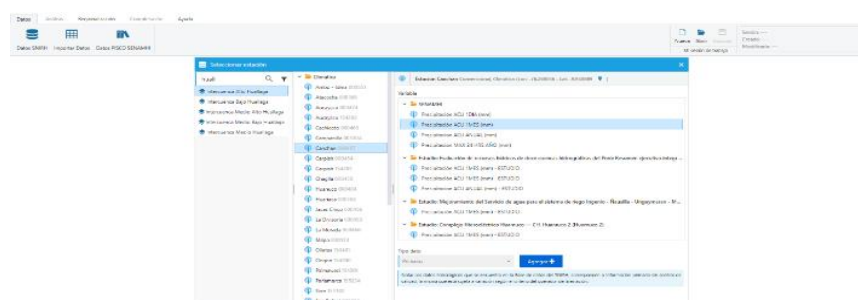
Nota. La vista satelital que brinda el sistema del Earth Explorer sirve para identificar el cauce del río Higuerras y los nacientes que conforman el río, logrando así delimitar de manera visual la divisoria que conforma la cuenca del río Higuerras.

Para la extracción del resto de imágenes DEM se realizaron de manera similar a la anterior, pero en otros servidores de información debido a que las imágenes ASTER GDEM se encuentran en otros servidores de información.

La información pluviométrica se obtuvo del servidor de información pluviométrica de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), para el caso del río Higuerras se tiene una estación específica en el cauce, la denominada Estación Canchán. Con la información que se recolectó se pudo identificar que el registro histórico con el que cuenta la estación comprende alrededor de 30 años con lo cual se tuvo en consideración el periodo de 1990 al 2017 con las cuales solo ese periodo se procesó y organizó para el análisis de la información.

Figura 25

Servidor ANDREA de la Autoridad Nacional del Agua



Nota. Del servidor de información estadística se identificó la cuenca, la estación y la clase de datos que se requieren para el desarrollo de la investigación.

➤ **Análisis estadístico**

Completada la ficha de análisis de datos pluviométricos se pasó a ejecutar una prueba de consistencia de datos, para la presente investigación se tomó en cuenta la prueba Outlier que presenta los valores máximos y mínimos admitidos dentro de la serie de datos con los que se cuentan.

Tabla 7

Prueba Outlier en serie de datos

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		PARÁMETROS
	<i>P24hr Log(P24hr)</i>	<i>n</i>
CANTIDAD DE DATOS		<i>Kn</i>
SUMATORIA VALOR MÁXIMO		<i>Kn</i>
VALOR MÍNIMO		<i>xH</i>
MEDIA		<i>PH</i>
VARIANZA		CONCLUSIÓN
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		<i>xL</i>
COEFICIENTE DE VARIACIÓN		<i>PH</i>
COEFICIENTE DE SESGO		CONCLUSIÓN
CONCLUSIÓN		

Nota. Con el ordenamiento adecuado de los valores de precipitación, a partir de las máximas anuales se procede a elaborar una Prueba Outlier con el cual se determinen los valores anómalos para su corrección por el promedio mensual, para dicha ficha se requiere del conteo de años del registro histórico de lluvias que se puedan determinar, posterior a ello estimar la suma de valores, los valores máximos, los valores mínimos, estimar la media, la varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de sesgo. Toda esta información debe ser estimada tanto para los valores normales y para valores logarítmicos de la serie muestral. Los valores paramétricos dependen netamente de la cantidad de datos de la serie. Esta ficha será rellenada en la Tabla 21

Con la caracterización de confiabilidad de la serie pluviométrica se puede establecer el proceso de proyección de valores de precipitación para diferentes periodos de retorno con lo cual se tiene que determinar la serie de proyección que mejor se ajuste a partir de una Prueba de Bondad.

Tabla 8

Ficha de Prueba de Bondad

PP MAX EN 24 Hrs.	
ESTACIÓN:	
LONGITUD:	
LATITUD:	
ELEVACIÓN:	
AÑO	PM (24hrs) - SIST. PISCO
1990	
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	
1997	
1998	
1999	
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	
2011	
2012	
2013	
2014	
2015	
2016	
2017	
# DE DATOS	
SUMA	
MÍNIMO	
MÁXIMO	
PROMEDIO	
VARIANZA	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
COEF. VARIACIÓN	
COEF. SESGO	

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV-SMIRNOV	
DISTRIBUCIÓN	Δ TEÓRICO
NORMAL	
LOG NORMAL 2P	
LOG NORMAL 3P	
GAMMA 2P	
GAMMA 3P	
GUMBEL	
LOG-GUMBEL	
CONCLUSIÓN	

PRECIPITACIONES	
PR	PP (mm)
5	
10	
25	
50	
100	
500	

Nota. Con la información reordenada y con las Pruebas de Bondad determinadas se lograron estimar los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno. Esta ficha será rellenada en las Tablas 22-23

3.3.2. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

➤ Modelo de terreno

Para la contrastación de información altimétrica y planimétrica de las imágenes satelitales fue necesario realizar un levantamiento

topográfico con el cual se puedan identificar puntos del cauce con el cual se puedan comparar las informaciones satelitales brindadas, la zona que se tomó en consideración en el levantamiento topográfico fue en el río Higueras a 1 km aguas arriba a partir de la IE 32857 Huacalle.

Con la información del levantamiento topográfico y la información de las imágenes DEM se lograron establecer los perfiles de cauce y la planimetría en específico para la zona de interés.

Tabla 9

Ficha de perfiles de cauce por imágenes DEM

PERFIL DE CAUCE PRINCIPAL - ASTER GDEM		PERFIL DE CAUCE PRINCIPAL - SRTM	
<i>PROGRESIVA</i>	<i>ALTITUD</i>	<i>PROGRESIVA</i>	<i>ALTITUD</i>

Nota. Para el establecimiento del perfil se tomó en cuenta el cauce principal que para el caso de la investigación es la extensión total del río Higueras. En la tabla se tiene que considerar los valores de progresiva y altitud que presenta el perfil del cauce. Esta ficha será rellenada en la Tabla 49

Con la delimitación de la cuenca se pudo establecer el perfil longitudinal del cauce principal y con dicha gráfica lograr identificar las variaciones en la determinación del perfil y pendiente de la misma.

Tabla 10

Ficha de ubicación planimétrica

ASTER GDEM			SRTM		
ESTE	NORTE	COTA	ESTE	NORTE	COTA

Nota. De la imagen satelital también se pudieron analizar las coordenadas del cauce a nivel de planimetría. La ficha será completada con las coordenadas de los puntos planimétricos de la cuenca de interés. Esta ficha será rellenada en la Tabla 50

Con la determinación del cauce y del perfil longitudinal se lograron determinar de manera planimétrica la conformación del río Higueras en su cauce principal.

➤ **Ficha de parámetros geomorfológicos**

La delimitación de la cuenca permitió estimar los parámetros de pendiente y altitud que identifica cada cuenca en los diferentes tipos de imágenes DEM consideradas, con los parámetros y procesos identificados se logró determinar las diferencias de informaciones para cada uno de los modelos estimados.

Tabla 11

Ficha de delimitación geomorfológica a partir de imágenes DEM

		Und.	IMAGEN ASTER GDEM	IMAGEN SRTM
Superficie		km2		
		ha		
Perímetro		km		
Relaciones de Forma	Factor de Cuenca	Coefficiente de compacidad		
		Factor de Forma	Longitud Curso más Largo	km
			Ancho Medio	km
			Factor de forma	
	Rectángulo Equivalente	L	km	
		I	km	
		L*I=A1	Km2	
		L+I=P/2	km	
	Grado de Ramificación	Longitud Total	Grado 1	km
			Grado 2	km
Grado 3			km	
Grado 4			km	
Grado 5			km	
Grado 6			km	
Longitud total de los ríos de grados distintos			Li	km
Densidad de Drenaje	Dd=Lt/At	km/km2		
Extensión Media Escurrimiento Superficial	Es=At/4Li	km		
Números de ríos para los diferentes grados				
Frecuencia de Ríos		Fr		
Altitud Media		H	msnm	
Pendiente de cuenca		Ip	m/km	
Pendiente media del cauce del río		Ic		
Tiempo de concentración	KIRPICH			hr
	TEMEZ			hr
	JOHN CROSS			hr
	GIANDOTTI			hr
	SCS RANCER			hr
	V.T. CHOW			hr
	CUERPO ING. USA			hr
	HATHWAY			hr
EC. FED. AVIATION			hr	
EC. RETARDO SCS			hr	

Nota. La información obtenida para cada una de las imágenes satelitales fue colocada en la ficha para la identificación de diferencias entre cada uno de los resultados obtenidos. Los valores requeridos en la ficha serán completados con los valores de la delimitación en el software ArcGIS. Esta ficha será rellenada en la Tabla 19

➤ Ficha de información pluviométrica

Con la identificación de los periodos de interés del registro histórico fue necesario establecer un esquema de ordenamiento de información

pluviométrica con la finalidad de identificar si hay lecturas anómalas dentro de la serie de datos de la Estación Canchán.

Figura 26

Información pluviométrica recolectada del sistema ANDREA

The screenshot shows the ANDREA software interface. The title bar indicates 'AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA'. The main window displays a data table for precipitation. The table has columns for 'Año' (Year), 'Mes' (Month), and 'Precipitación' (Precipitation). The data is organized by year and month, with daily values listed for each month. The interface includes a menu bar with options like 'Archivo', 'Herramientas', 'Formato', 'Datos', 'Vista', 'Ayuda', and 'Acerca de'. There is also a toolbar with various icons for file operations and data manipulation.

Nota. La información obtenida de los servidores ANDREA son netamente hojas de cálculo que necesitan de un ordenamiento adecuado para el análisis de máximas precipitaciones mensuales.

Tabla 12

Ficha de información pluviométrica

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA															
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA															
Estación	Canchán														
Variable	Precipitación Acumulada 1 Día (mm)														
Operador	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología														
WGS 84 Geográficas	Latitud: -9.948889 / Longitud: -76.288056 / Altitud(msnm): 1986														
Tipo	Convencional / Climática														
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Huánuco / Dist.: Huánuco														
Ámbito Administrativo	AAA: Huallaga / ALA: Alto Huallaga														
Unidad Hidrográfica	Intercuenca Alto Huallaga														
AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PP	PP	PP
	N	B	AR	R	AY	N	U	G	E	CT	O	C	PROM	MÍN	MÁX
1990															
1991															
1992															
1993															
1994															
1995															
1996															

1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017

N° DE
DATOS
DESV.
ESTANDAR
COEF.
VARIACIÓN
PRECIP.
PROM
PRECIP.
MÁX
PRECIP.
MÍN

Nota. Una vez identificado el periodo de interés, esta ficha será completada con la finalidad de identificar los valores anómalos que se encuentran dentro de la serie de datos. Los datos colocados en dicha ficha serán los que se recolectaron de manera libre en el servidor del SENAMHI y ANA. Esta ficha será rellena en la Tabla 20

➤ Ficha de resultados de caudal

Tabla 13

Ficha de determinación de intensidades alternas

<i>INSTAN</i> <i>TE</i> <i>(min)</i>	<i>INTENSID</i> <i>AD</i> <i>(mm/h)</i>	<i>P.</i> <i>ACUMULA</i> <i>DA (mm)</i>	ΔP <i>(m</i> <i>m)</i>	<i>INTENSID</i> <i>AD</i> <i>PARCIAL</i> <i>(mm/h)</i>	<i>P</i> <i>ALTERNA</i> <i>DA (mm)</i>	<i>ImPa</i> <i>ALTERNA</i> <i>DA (mm)</i>	<i>P.</i> <i>ACU</i> <i>M</i> <i>(mm</i> <i>)</i>
5							
10							
15							
20							

Nota. Ficha para la estimación de hietograma alternado, para la determinación de caudales en diferentes periodos de retorno. Los valores de intensidad serán estimados a partir de los valores de precipitación. Esta ficha será rellena en la Tabla 25

Con la estimación de las precipitaciones en diferentes periodos de retorno se elaboraron las curvas IDF (Intensidad – Duración –

Frecuencia) con la cual se pueden elaborar los hietogramas a partir de intensidades alternadas con la cual se estimen los caudales a partir de la metodología del número de curva.

Tabla 14

Ficha de estimación de caudales

CAUDAL DE DISEÑO				
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS ASTER GDEM	HEC-HMS SRTM	MET RACIONAL ASTER GDEM	MET RACIONAL SRTM

Nota. La estimación de los caudales se realizó a partir del método racional y la estimación del método del número de curva del SCS. Esta ficha será rellenada en la Tabla 26

Con los valores establecidos de intensidad y los parámetros geomorfológicos de la cuenca para cada tipo de imagen satelital se estiman los valores de caudal a partir de la metodología racional y SCS, con los cuales se hicieron comparativas de valores estimando la diferencia de determinación en valores.

➤ **Ficha comparativa de resultados de ambos modelos**

Con la información del cauce levantado se procedió a identificar las variaciones dentro del cauce de interés, con ello se establecieron los valores de error medio cuadrático (RMSE) para el cauce en el tramo de interés.

Tabla 15

Ficha de estimación de error

PRUEBA DE ERROR														
ASTER GDEM					SRTM					CAUCE LEVANTADO				
E S T E	NO RT E	DIST ANCI A	ACUM ULAD O	CO TA	E S T E	NO RT E	DIST ANCI A	ACUM ULAD O	CO TA	E S T E	NO RT E	DIST ANCI A	ACUM ULAD O	C O TA

Nota. Con los valores estandarizados para dos puntos del cauce de interés, se logran evidenciar las variaciones de coordenadas entre los puntos de las imágenes y los valores levantados de manera topográfica. Esta ficha será rellenada en la Tabla 27

Con la identificación de las variaciones tanto a nivel altimétrico como planimétrico se aplicó la metodología de la estimación del error cuadrado medio, con el cual se identificaron los valores de confiabilidad de ambos tipos de imagen satelital.

Ficha de RMSE

Nota. Esta ficha fue elaborada a partir de la definición conceptual del RMSE, esta se basa en la diferencia y los cuadrados del error absoluto entre las lecturas observadas y medidas, en las imágenes DEM y el levantamiento topográfico respectivamente. Esta ficha será rellenada en la Tablas 28-29

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)

Para caracterizar las imágenes ASTER GDEM y SRTM, fue necesario obtener una imagen de elevación digital completa de la cuenca de interés para comparar los valores en ambos casos. Con esta información detallada, se llevaron a cabo los procesos de modelización y comparación en la totalidad de la cuenca.

Tabla 17

Cuadro de imágenes satelitales recolectadas

Cuadrante	Código	Fecha	Clasificación	Entidad
S09W77	ASTGTM_ S09W77	Oct. 03 2019	ASTER-GDEM	Earth Data
S10W77	ASTGTM_ S10W77	Sep. 16 2019	ASTER-GDEM	Earth Data
S11W77	ASTGTM_ S11W77	Ago. 18 2019	ASTER-GDEM	Earth Data
S10W76	ASTGTM_ S10W76	Jun. 16 2019	ASTER-GDEM	Earth Data
S09W77	SRTMGL_ S09W77	Ene. 13 2021	SRTM	ASF Alaska
S10W77	SRTMGL_ S10W77	Dic. 22 2020	SRTM	ASF Alaska
S11W77	SRTMGL_ S11W77	Nov. 03 2020	SRTM	ASF Alaska
S10W76	SRTMGL_ S10W76	Oct. 01 2020	SRTM	ASF Alaska

Nota. Se tomaron en consideración los 4 cuadrantes delimitados por el Ministerio del Ambiente en su sistema de Geoservidor Nacional. La información satelital se obtuvo de los servidores Earth Data de la NASA y de los servidores ASF Alaska.

Tabla 18

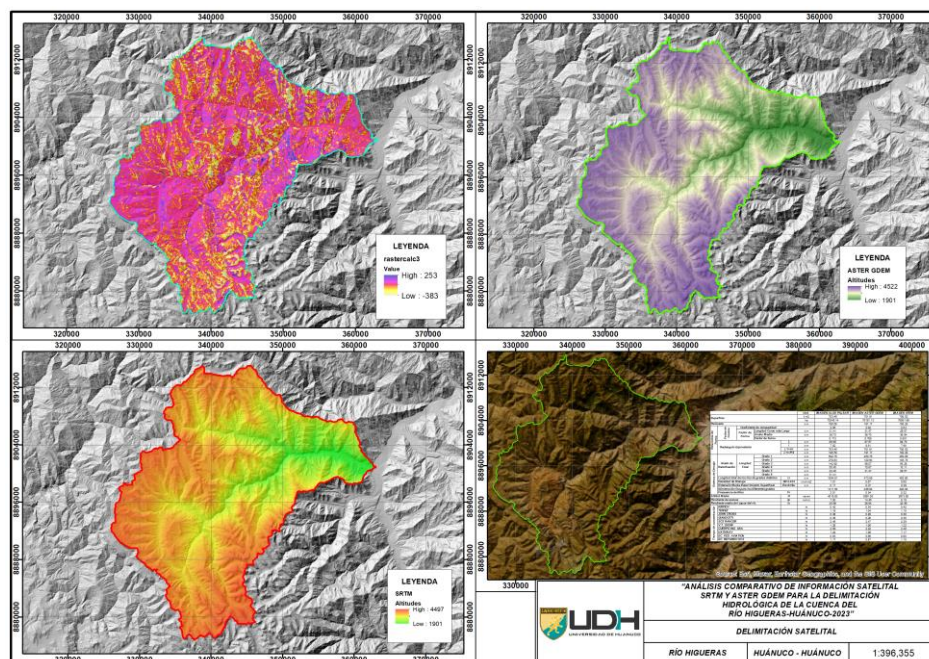
Punto de aforo para delimitación de cuenca

DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE
AFORO	362968.93	8900962.43

Nota. Para la delimitación de cuencas en el software ArcGIS fue necesario identificar los puntos de aforo con los cuales se establezcan los límites y cauces que compongan la cuenca de interés, las coordenadas del punto fueron identificados a partir de información satelital y la acumulación topográfica de la cuenca. El punto final tomado para el cauce del río Higuera fue el punto 362968.93E y 8900962.43N dichos puntos corresponden a la finalización del río Higuera en la zona de intersección con el río Huallaga.

Figura 27

Delimitación de DEMs



Nota. De la figura se puede observar que en la parte superior derecha es el modelo de la imagen ASTER GDEM y en la parte inferior izquierda se encuentra el modelo de cuenca que se forma a partir de la imagen SRTM, si bien en escala no se nota mucha diferencia una de otra, en los valores numéricos extraídos de las imágenes se evidencia una clara variación en los parámetros geomorfológicos. En la parte superior izquierda se logra visualizar las variaciones altitudinales que se encuentran al restar la información DEM de cada uno de los modelos dando rangos mínimos de -383 m hasta el valor máximo de 253 m.

Tabla 19

Valores geomorfológicos por modelos

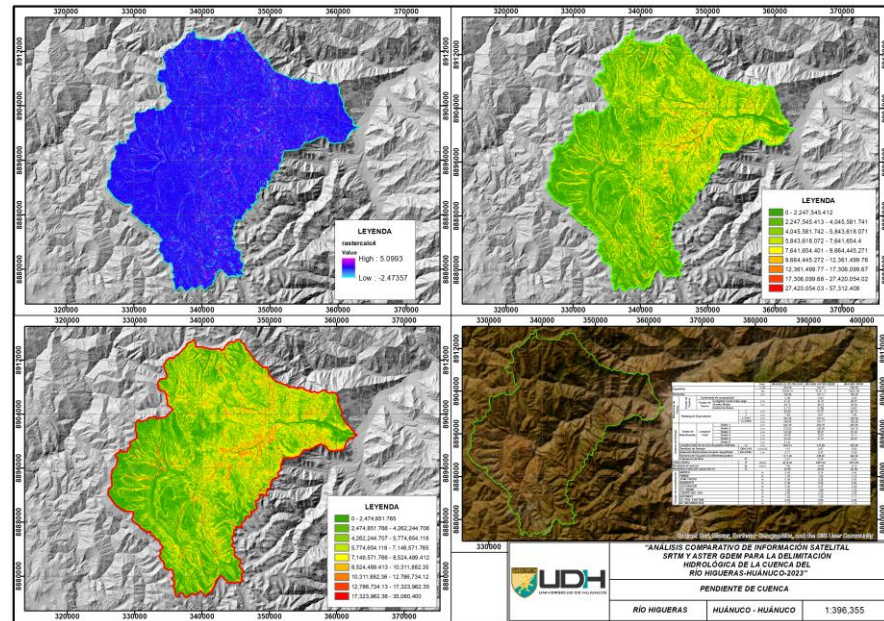
				Und.	IMAGEN ASTER GDEM	IMAGEN SRTM
Superficie				km2	701.81	700.52
				ha	70181.13	70051.68
Perímetro				km	191.17	193.20
Relaciones de Forma	Factor de Cuenca	Coeficiente de compacidad			2.02	2.04
			Longitud Curso más Largo	km	31.47	29.57
		Factor de Forma	Ancho Medio	km	36.70	36.94
			Factor de forma		0.709	0.801
		Rectángulo Equivalente		L	km	87.57
			I	km	8.01	7.90
			L*I=A1	Km2	701.81	700.52
			L+I=P/2	Km	191.17	193.20
	Sist	Grado de Ramificación	Longitud Total	Grado 1	km	253.75

	Grado 2	km	120.94	103.78
	Grado 3	km	56.07	55.28
	Grado 4	km	10.87	10.11
	Grado 5	km	31.47	29.57
	Grado 6	km	-	-
Longitud total de los ríos de grados distintos	Li	km	473.09	452.60
Densidad de Drenaje	Dd=Lt/At	km/km2	0.67	0.65
Extensión Media Escurrimiento Superficial	Es=At/4Li	km	0.37	0.39
Números de ríos para los diferentes grados			236.00	222.00
Frecuencia de Ríos	Fr		0.34	0.32
Altitud Media	H	msnm	3991.00	3973.50
Pendiente de cuenca	lp	m/km	14.46	8.19
Pendiente media del cauce del río	lc		26.94	20.99
Tiempo de concentración	KIRPICH	hr	0.34	0.40
	TEMEZ	hr	1.04	1.10
	JOHN CROSS	hr	0.28	0.38
	GIANDOTTI	hr	0.28	0.38
	SCS RANCER	hr	2.47	2.29
	V.T. CHOW	hr	1.06	1.22
	CUERPO ING. USA	hr	2.32	2.46
	HATHWAY	hr	1.06	1.17
	EC. FED. AVIATION	hr	0.68	0.80
	EC. RETARDO SCS	hr	0.87	1.10

Nota. Con la determinación de valores geomorfológicos se pudo determinar que para la imagen ASTER GDEM el valor del área es de 701.81 km² y para la imagen SRTM 700.52 km². Se pudo determinar que los cauces que componen la cuenca generan una red hídrica de 5° grado, siendo ésta en valor de grado iguales, sin embargo, no quiere decir que compartan la misma extensión.

Figura 28

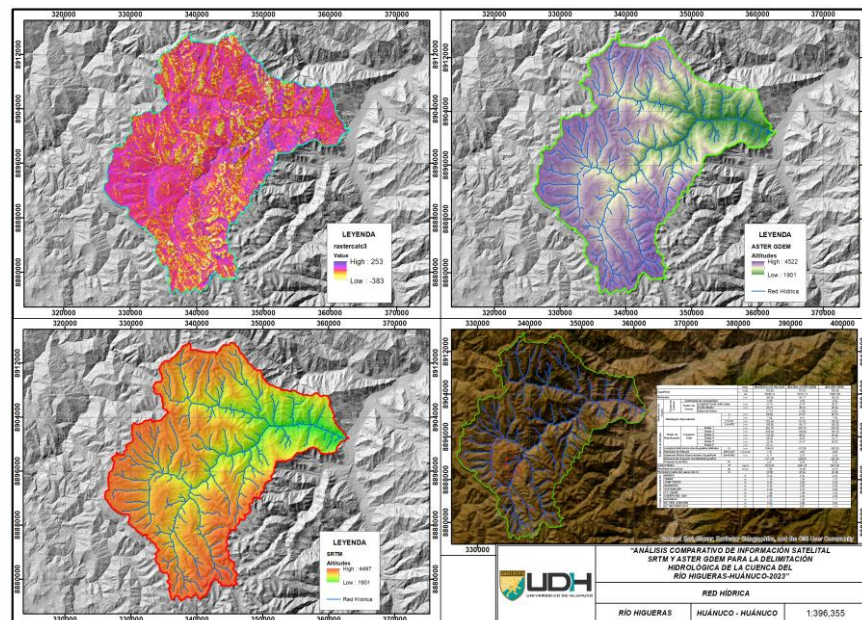
Pendientes de la cuenca del río Higueras



Nota. Con la caracterización de las pendientes de la cuenca del río Higuera se pudo determinar que para la imagen ASTER GDEM el valor de la pendiente es de 14.46% y para la imagen SRTM el valor es de 8.19%, de manera visual se puede establecer las diferencias en los valores en la imagen superior izquierda dando variaciones desde -2% al 5%.

Figura 29

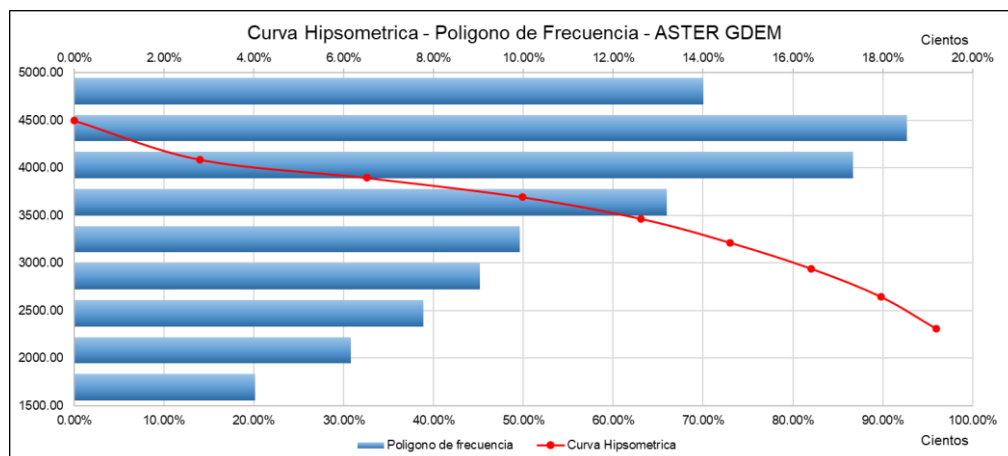
Red hídrica de la cuenca del río Higuera



Nota. De la delimitación de las redes hídricas que componen la cuenca del río Higuera, se pudo determinar que para la imagen ASTER GDEM la red hídrica es de 5° grado, cuenta con una longitud total de cauce de 473.09 km y para la imagen SRTM la red hídrica es también de 5° grado, con una longitud total de cauce de 452.60 km. Para solo el cauce del río Higuera las longitudes de cauce fueron 31.47 y 29.57 km para las imágenes de ASTER GDEM y SRTM respectivamente.

Figura 30

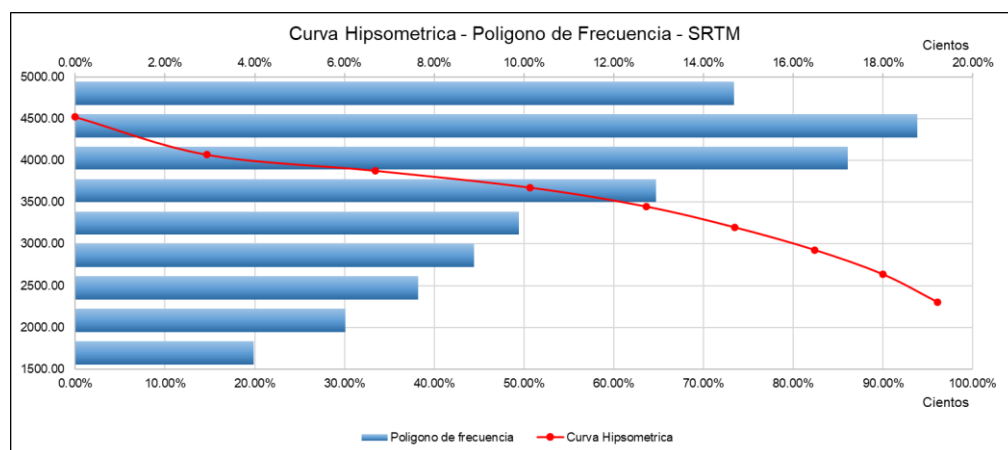
Curva hipsométrica Cuenca Higuera – ASTER GDEM



Nota. De la curva hipsométrica se pudo identificar que la cuenca está en un estado maduro por la forma que comprende su curva, del polígono de frecuencia se puede estimar que la altitud predominante en la cuenca es de 4500 msnm y que presenta una altitud promedio es de 3991 msnm.

Figura 31

Curva hipsométrica Cuenca Higuera – SRTM



Nota. De la curva hipsométrica se pudo identificar que la cuenca está en un estado maduro por la forma que comprende su curva, del polígono de frecuencia se puede estimar que la altitud predominante en la cuenca es de 4500 msnm y que presenta una altitud promedio es de 3973.50 msnm.

De la comparativa de las curvas hipsométricas determinadas para cada una de las imágenes estas no varían en forma evidente, ya que las dos evidencian el estado maduro de la cuenca con una presencia mayoritaria de una altitud de 4500 msnm.

4.1.2. DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Identificado los parámetros geomorfológicos de la cuenca se estimaron los valores de caudal, para este proceso se tuvo a bien identificar las estaciones pluviométricas que se encuentren dentro del área de interés, para la cuenca del río Higuera se pudo identificar que dentro del cauce se encuentra una estación denominada Estación Canchán, esta estación cuenta con información de precipitaciones diarias en un registro histórico amplio, para la investigación se tomó en cuenta desde el año 1990 al 2017 ya que dentro de este periodo se encuentran los valores completos y son suficientes para realizar una estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

Tabla 20

Información pluviométrica Estación Canchán

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA															
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA															
Estación	Canchán														
Variable	Precipitación Acumulada 1 Día (mm)														
Operador	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología														
WGS 84 Geográficas	Latitud: -9.948889 / Longitud: -76.288056 / Altitud(msnm): 1986														
Tipo	Convencional / Climática														
Ámbito Político	Dpto: Huánuco / Prov: Huánuco / Dist.: Huánuco														
Ámbito Administrativo	AAA: Huallaga / ALA: Alto Huallaga														
Unidad Hidrográfica	Intercuenca Alto Huallaga														
AÑO	EN E	FE B	M AR	AB R	M AY	JU N	JU L	A G O	SE T	O CT	N OV	DI C	PP PRO M	PP MÍN	PP MÁX
1990	18. 10	7.5 0	9.2 0	12. 50	13. 00	7.5 0	0.2 0	2.0 0	5.5 0	14. 50	15. 00	7.8 0	9.40	0.20	18.1 0
1991	5.6 0	12. 40	0.0 0	5.6 0	5.0 0	5.3 0	0.0 0	0.0 0	7.0 0	15. 00	12. 70	17. 50	7.18	0.00	17.5 0
1992	8.7 0	12. 00	12. 10	7.5 0	3.0 0	2.6 0	0.0 0	21. 00	3.3 0	6.0 0	0.0 0	0.0 0	6.35	0.00	21.0 0
1993	0.0 0	10. 80	27. 30	16. 30	19. 00	4.7 0	1.0 0	1.3 0	9.1 0	9.4 0	15. 40	12. 50	10.57	0.00	27.3 0
1994	14. 00	15. 80	0.0 0	18. 00	11. 60	1.3 0	0.7 0	0.0 0	0.0 0	13. 30	13. 20	0.0 0	7.33	0.00	18.0 0
1995	15. 00	15. 60	16. 70	8.5 0	0.0 0	2.0 0	0.0 0	0.0 0	7.4 0	4.5 0	6.3 0	13. 30	7.44	0.00	16.7 0
1996	8.6 0	8.5 0	13. 40	17. 70	7.7 0	0.0 0	1.0 0	1.5 0	4.8 0	10. 40	10. 20	11. 20	7.92	0.00	17.7 0
1997	22. 70	7.0 0	15. 00	4.2 0	6.1 0	9.5 0	0.0 0	5.2 0	5.6 0	8.3 0	7.0 0	11. 20	8.48	0.00	22.7 0

1998	16.80	15.20	24.80	2.90	3.30	1.20	0.00	0.50	5.40	6.50	22.20	14.00	9.40	0.00	24.80
1999	16.90	25.10	21.90	4.00	6.20	4.40	2.20	1.00	7.60	5.00	11.00	14.40	9.98	1.00	25.10
2000	12.80	12.50	11.60	6.20	3.60	6.80	4.40	12.10	8.30	15.10	7.00	28.10	10.71	3.60	28.10
2001	24.70	7.50	16.10	19.00	5.20	2.20	4.50	2.80	5.00	18.00	28.00	17.80	12.57	2.20	28.00
2002	13.30	12.30	29.60	20.10	5.80	1.00	9.60	4.10	4.50	21.30	8.70	14.40	12.06	1.00	29.60
2003	14.50	14.40	14.60	12.60	2.60	0.00	0.00	6.80	7.70	29.10	17.10	22.30	11.78	0.00	29.00
2004	7.30	19.40	33.20	9.70	17.40	5.00	4.00	4.60	10.00	12.80	6.20	18.20	12.32	4.00	33.20
2005	13.10	25.20	16.80	7.00	0.50	0.00	2.70	17.90	5.00	11.80	13.10	33.00	12.18	0.00	33.00
2006	31.60	17.10	19.50	9.00	4.50	4.80	1.00	1.40	6.30	26.80	19.50	15.40	13.08	1.00	31.60
2007	16.80	2.70	11.20	6.00	8.00	0.00	2.20	3.00	4.10	37.10	8.60	26.90	10.55	0.00	37.10
2008	28.10	20.30	10.90	14.20	3.90	1.10	1.60	1.60	18.40	9.50	24.50	29.60	13.64	1.10	29.60
2009	27.00	26.90	25.20	23.70	5.10	14.60	4.30	0.70	3.70	11.80	12.10	16.20	14.28	0.70	27.00
2010	4.10	16.70	28.60	17.90	6.00	0.00	2.40	3.60	12.50	14.50	19.00	11.40	11.39	0.00	28.60
2011	15.70	8.70	21.30	7.10	14.20	3.50	1.80	3.50	5.10	19.10	13.70	24.40	11.51	1.80	24.40
2012	17.50	18.10	15.40	13.20	3.00	1.50	4.20	3.10	2.40	16.80	20.60	23.70	11.63	1.50	23.70
2013	9.20	13.20	21.30	21.70	1.80	6.30	7.60	15.60	3.20	14.60	17.80	14.30	12.22	1.80	21.70
2014	16.40	19.20	17.50	16.70	17.50	1.30	3.00	0.00	10.50	27.40	13.40	16.00	13.24	0.00	27.40
2015	9.40	17.40	15.20	24.50	11.80	0.00	0.40	1.20	4.40	7.40	15.10	10.10	9.73	0.00	24.50
2016	0.00	9.60	10.50	3.80	1.00	0.00	2.20	2.30	2.20	11.20	14.90	20.30	6.50	0.00	20.30
2017	9.40	17.60	17.10	6.30	10.90	3.10	3.40	3.40	3.00	8.00	10.90	41.80	11.24	3.00	41.80
N° DE DATOS	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00			
DESV. ESTANDAR	7.84	5.86	7.92	6.57	5.35	3.46	2.37	5.55	3.66	7.89	6.12	9.16			
COEF. VARIACIÓN	0.55	0.40	0.47	0.55	0.76	1.08	1.03	1.29	0.60	0.55	0.45	0.53			
PRECIP. PROM	14.19	14.60	16.99	12.00	7.06	3.20	2.30	4.29	6.14	14.47	13.68	17.35			
PRECIP. MÁX	31.60	26.90	33.20	24.50	19.00	14.60	9.60	21.00	18.40	37.10	28.00	41.80			
PRECIP. MÍN	0.00	2.70	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00			

Nota. En total del registro histórico tomado del servidor ANDREA de la Autoridad Nacional del Agua se tomaron en cuenta 28 años los cuales comprenden desde 1990 al 2017, de ello se estimaron los valores promedio, mínimos y máximos anuales y mensuales con lo cual se establecieron los parámetros iniciales para la identificación de valores anómalos con la metodología del Outlier.

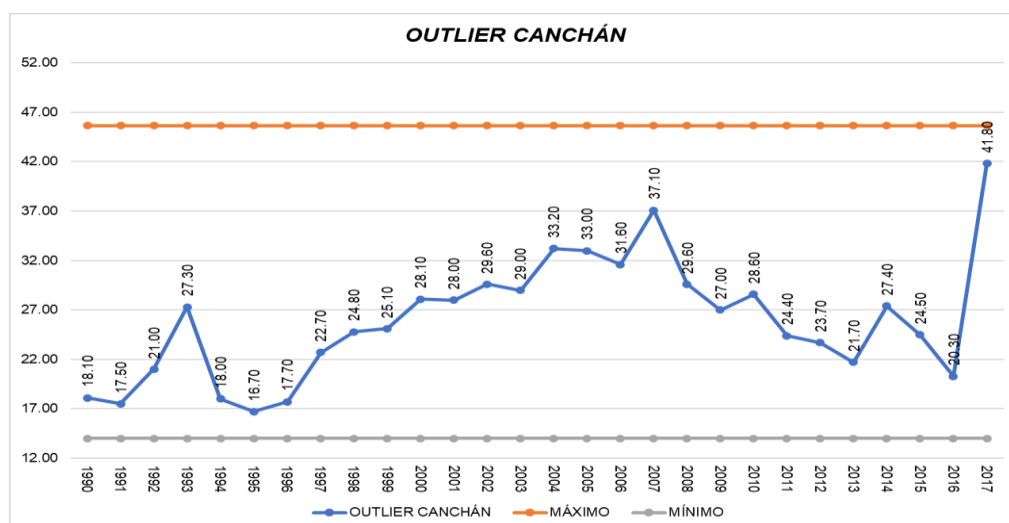
Tabla 21

Prueba Outlier Estación Canchán

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS		
	P24hr	Log(P24hr)
CANTIDAD DE DATOS	28	28
SUMATORIA	727.50	39.29
VALOR MÁXIMO	41.80	1.62
VALOR MÍNIMO	16.70	1.22
MEDIA	25.98	1.40
VARIANZA	37.52	0.01
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6.13	0.10
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.24	0.07
COEFICIENTE DE SESGO	0.52	-0.06
CONCLUSIÓN	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

PARÁMETROS	
n	28
Kn	2.502
Kn	Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)
xH	1.66
PH	45.65 mm
CONCLUSIÓN	NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTO DE LA MUESTRA
xL	1.15
PH	14.02 mm
CONCLUSIÓN	NO EXISTEN DATOS DUDOSOS MÍNIMO DE LA MUESTRA

Nota. Teniendo en consideración la cantidad de valores de la serie de datos se pudo estimar los límites máximos y mínimos de precipitación, los cuales fueron de 45.65 mm y 14.02 mm respectivamente, con dichos valores límite se identificaron los periodos que se encuentren fuera de ese rango determinado y con ello obtener una confiabilidad de valores.

Figura 32*Prueba Outlier Estación Canchán*

Nota. Con la identificación de los límites se pudo verificar de manera gráfica que los valores de precipitación se encuentran dentro de los límites aceptables siendo el valor máximo registrado el de 41.80 mm.

Tabla 22*Valores de precipitación validados Estación Canchán*

PP MAX EN 24 Hrs.	
AÑO	PM (24hrs)
1990	18.10
1991	17.50
1992	21.00
1993	27.30
1994	18.00
1995	16.70
1996	17.70
1997	22.70
1998	24.80
1999	25.10
2000	28.10
2001	28.00
2002	29.60
2003	29.00
2004	33.20
2005	33.00
2006	31.60
2007	37.10
2008	29.60
2009	27.00
2010	28.60
2011	24.40
2012	23.70
2013	21.70
2014	27.40
2015	24.50
2016	20.30
2017	41.80
# DE DATOS	28.00

SUMA	727.50
MÍNIMO	16.70
MÁXIMO	41.80
PROMEDIO	25.98
VARIANZA	37.52
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6.13
COEF. VARIACIÓN	0.24
COEF. SESGO	0.52

Nota. Los valores finales fueron sometidos a parámetros estadísticos para caracterizar a la serie muestral de datos, con ello se estimó que el promedio de lluvia es de 25.98 mm, con una varianza de 37.52 y un coeficiente de variación de 0.24.

Tabla 23

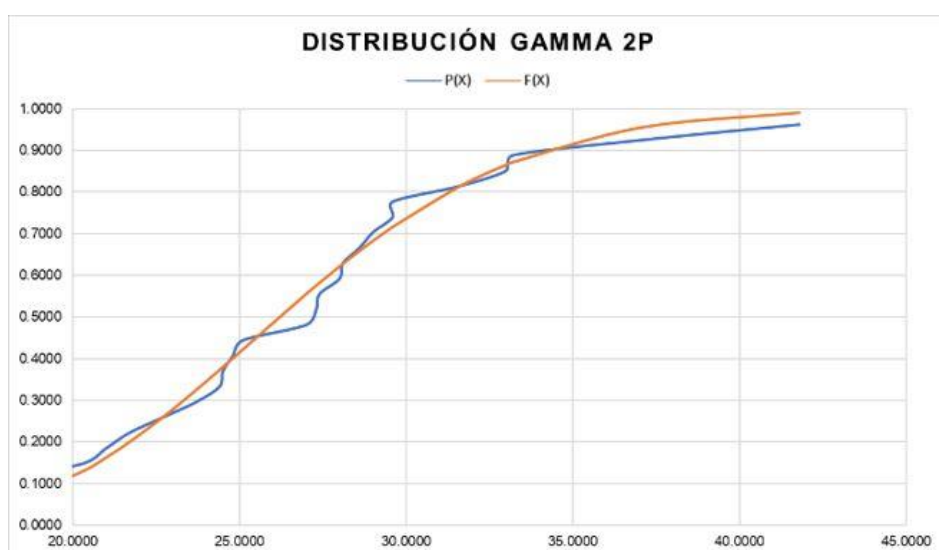
Prueba de Bondad para Estación Canchán

PRUEBA DE BONDAD KOLMOGOROV-SMIRNOV	
DISTRIBUCIÓN	Δ TEÓRICO
NORMAL	0.0839
LOG NORMAL 2P	0.0864
LOG NORMAL 3P	0.0771
GAMMA 2P	0.0739
GAMMA 3P	0.0786
GUMBEL	0.1154
LOG-GUMBEL	0.1556
CONCLUSIÓN	0.0739 GAMMA 2P

Nota. Con los valores de precipitación máxima anual se estimaron las series de distribución que mejor se ajuste, dentro de ello se pudo identificar que el valor de variación de la serie de distribución Gamma de 2 parámetros presentó un valor de 0.0739, siendo esta variación la menor de todas las variaciones determinadas.

Figura 33

Distribución de Gamma de 2 parámetros



Nota. Se puede observar que el ajuste a la serie Gamma de 2 parámetros, si bien no es muy ajustada a los valores recolectados en comparación de las demás series, es la que mejor se ajusta a los valores de interés.

Tabla 24

Valores de estimación de precipitación en diferentes PR

PRECIPITACIONES	
PR	PP (mm)
5	31.29
10	34.20
25	37.48
50	39.71
100	41.77
500	46.14

Nota. Con la serie identificada y la distribución que mejor se ajuste se estimaron los valores de precipitación para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años obteniéndose los valores de 31.29, 34.20, 37.48, 39.71, 41.77 y 46.14 mm respectivamente.

Tabla 25

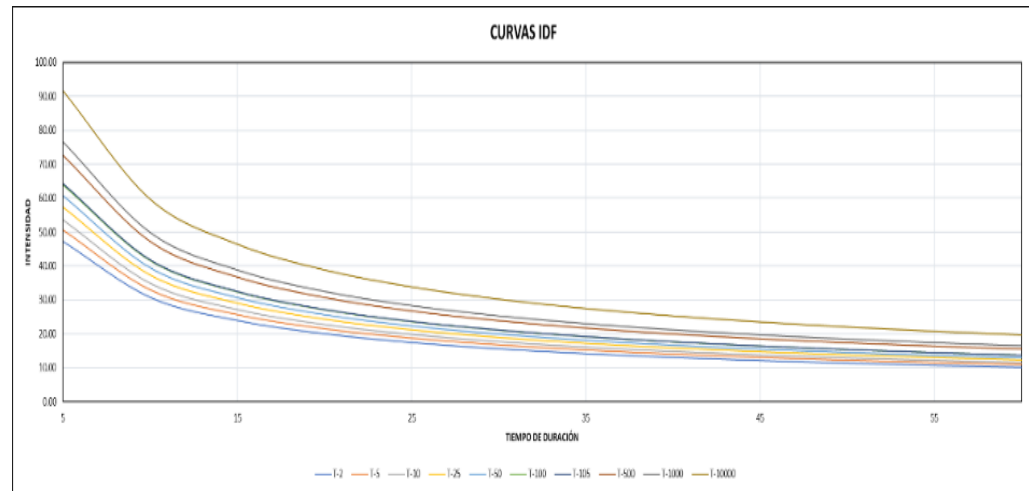
Valores de curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)

CUADRO DE INTENSIDADES PARA DIFERENTES PERIODOS DE DURACIÓN												
AÑOS	DURACIÓN EN MINUTOS											
T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T-2	47.1 7	30.7 2	23.9 1	20.0 1	17.4 3	15.5 7	14.1 5	13.0 3	12.1 2	11.3 5	10.7 0	10.1 4
T-5	50.6 5	32.9 9	25.6 7	21.4 9	18.7 2	16.7 2	15.2 0	14.0 0	13.0 1	12.1 9	11.4 9	10.8 9
T-10	53.4 6	34.8 2	27.1 0	22.6 8	19.7 5	17.6 5	16.0 4	14.7 7	13.7 3	12.8 7	12.1 3	11.4 9
T-25	57.4 1	37.3 9	29.1 0	24.3 5	21.2 1	18.9 5	17.2 3	15.8 6	14.7 5	13.8 2	13.0 3	12.3 4
T-50	60.5 9	39.4 6	30.7 1	25.7 0	22.3 9	20.0 0	18.1 8	16.7 4	15.5 6	14.5 8	13.7 5	13.0 3
T-100	63.9 5	41.6 5	32.4 1	27.1 3	23.6 3	21.1 1	19.1 9	17.6 7	16.4 3	15.3 9	14.5 1	13.7 5
T-105	64.1 9	41.8 1	32.5 3	27.2 3	23.7 2	21.1 9	19.2 6	17.7 4	16.4 9	15.4 5	14.5 6	13.8 0
T-500	72.4 8	47.2 1	36.7 4	30.7 5	26.7 8	23.9 3	21.7 5	20.0 3	18.6 2	17.4 4	16.4 5	15.5 8
T-1000	76.5 0	49.8 2	38.7 7	32.4 5	28.2 7	25.2 5	22.9 6	21.1 4	19.6 5	18.4 1	17.3 6	16.4 5
T-10000	91.5 1	59.6 0	46.3 8	38.8 2	33.8 1	30.2 1	27.4 6	25.2 8	23.5 1	22.0 2	20.7 6	19.6 7

Nota. Los valores proyectados para diferentes periodos de retorno sirvieron de punto de partida para la estimación de las intensidades con la cual se pudo distribuir para los periodos de 2 a 10000 años en distribuciones de 5 a 60 minutos.

Figura 34

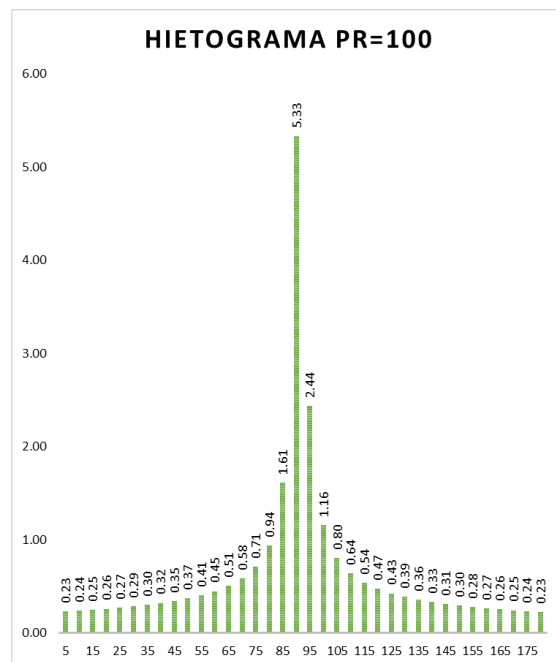
Curva IDF



Nota. A partir de la gráfica se lograron identificar las intensidades de proyección en cualquier distribución de minutos y para diferentes periodos de retorno, con esta información se lograron calcular los valores de intensidad que se requiera para el modelo elaborado.

Figura 35

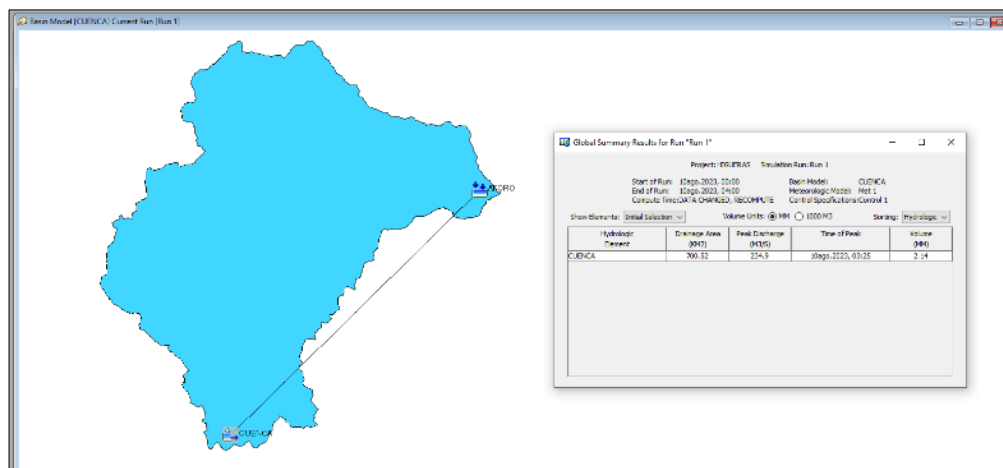
Hietograma para PR de 100 años



Nota. A partir de la metodología del bloque alternativo se elaboró el hietograma para diferentes periodos de retorno, de esta forma se determinó que para el periodo de retorno de 100 años el pico de intensidad es de 5.33mm en una distribución de 180 min el cual equivale al tiempo de concentración de 3 hrs.

Figura 36

Determinación de caudal SRTM para 100 años



Nota. A partir de la metodología de curva SCS se pudo estimar que el valor de caudal para un periodo de retorno de 100 años es de 234.9 m³/s, el proceso se repitió en cada uno de los modelos para las diferentes imágenes satelitales con lo cual se identificó la variación de caudales estimando así el valor constante y más adecuado a partir de la delimitación elaborada para cada una de las imágenes DEM.

Tabla 26

Valores de caudal para diferentes periodos de retorno

TIEMPO DE RETORNO	CAUDAL DE DISEÑO			
	HEC-HMS ASTER GDEM	HEC-HMS SRTM	MET RACIONAL ASTER GDEM	MET RACIONAL SRTM
10	169.80	195.50	170.351	181.372
25	182.30	210.00	182.939	194.775
50	192.60	221.80	193.076	205.568
100	204.20	234.90	203.775	203.399
500	239.80	274.50	230.959	230.533

Nota. De los valores de precipitación se logró estimar que el caudal por el método del número de curva para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años con la delimitación SRTM fue de 195.50, 210.00, 221.80, 234.90 y 274.50 m³/s respectivamente.

4.1.3. ESTIMACIÓN DE ERROR PLANIMÉTRICO DE IMAGEN

Para la estimación de los valores de error planimétrico de las imágenes satelitales se tomó en cuenta la determinación de un tramo del cauce del río Higuerras, en el cual se realizó un levantamiento topográfico de 1 km de cauce que fue comparado con el cauce determinado a partir de la delimitación de la cuenca.

Tabla 27

Valores en coordenadas del cauce levantado

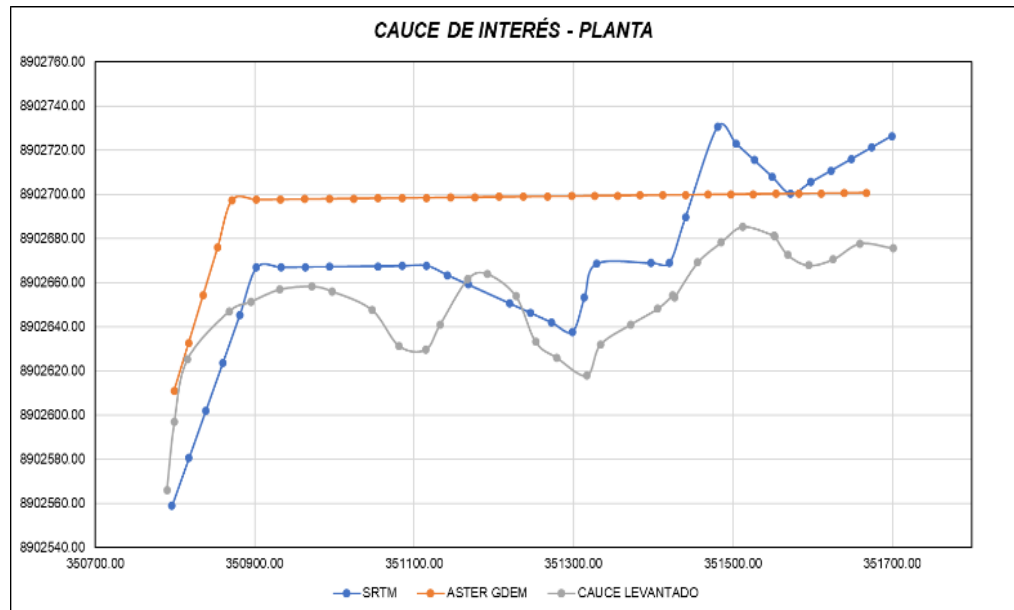
CAUCE DE INTERÉS														
ASTER GDEM					SRTM					CAUCE LEVANTADO				
ES TE	NO RTE	DIS TAN CIA	ACU MUL ADO	C OT A	ES TE	NO RTE	DIS TAN CIA	ACU MUL ADO	C OT A	ES TE	NO RTE	DIS TAN CIA	ACU MUL ADO	C OT A
350	890			21	350	890			21	351	890			21
796	255		0+00	04.	799	261		0+00	07.	700	267		0+00	06.
.26	8.92	0.00	0.00	75	.09	1.16	0.00	0.00	76	.69	5.70	0.00	0.00	26
350	890			21	350	890			21	351	890			21
817	258	30.2	0+03	03.	817	263	28.2	0+02	06.	659	267	41.2	0+04	04.
.49	0.51	8	0.28	00	.28	2.74	2	8.22	06	.45	7.76	9	1.29	53
350	890			21	350	890			21	351	890			21
838	260	30.2	0+06	03.	835	265	28.2	0+05	04.	625	267	34.4	0+07	03.
.72	2.11	8	0.56	00	.46	4.32	2	6.44	72	.74	0.59	7	5.76	86
350	890			21	350	890			21	351	890			21
859	262	30.2	0+09	03.	853	267	28.2	0+08	03.	594	266	31.1	0+10	03.
.96	3.70	8	0.85	00	.65	5.90	2	4.66	66	.75	7.88	0	6.86	33
350	890			21	350	890			21	351	890			21
881	264	30.2	0+12	03.	871	269	28.2	0+11	02.	568	267	26.3	0+13	02.
.19	5.29	8	1.13	42	.84	7.47	2	2.88	00	.85	2.58	2	3.18	71
350	890			21	350	890			21	351	890			21
902	266	30.2	0+15	03.	902	269	30.4	0+14	00.	552	268	18.1	0+15	01.
.42	6.88	8	1.41	00	.30	7.60	6	3.34	00	.77	1.06	8	1.36	50
350	890			21	350	890			20	351	890			20
932	266	30.4	0+18	01.	932	269	30.4	0+17	98.	551	268		0+15	99.
.88	7.00	6	1.87	00	.75	7.72	6	3.80	00	.27	1.43	1.55	2.91	50
350	890			20	350	890			20	351	890			20
963	266	30.4	0+21	97.	963	269	30.4	0+20	97.	512	268	39.0	0+19	97.
.34	7.13	6	2.33	00	.21	7.85	6	4.26	00	.45	5.39	2	1.93	00
350	890			20	350	890			20	351	890			20
993	266	30.4	0+24	95.	993	269	30.4	0+23	96.	485	267	28.2	0+22	95.
.80	7.25	6	2.79	00	.67	7.97	6	4.72	00	.15	8.18	4	0.16	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
054	266	60.9	0+30	94.	024	269	30.4	0+26	95.	455	266	30.6	0+25	94.
.71	7.50	2	3.70	00	.13	8.10	6	5.18	00	.87	9.17	3	0.80	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
085	266	30.4	0+33	94.	054	269	30.4	0+29	95.	426	265	32.8	0+28	94.
.17	7.63	6	4.16	00	.59	8.22	6	5.64	00	.97	3.49	9	3.68	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
115	266	30.4	0+36	94.	085	269	30.4	0+32	94.	424	265		0+28	94.
.63	7.75	6	4.62	00	.05	8.35	6	6.09	00	.72	4.23	2.37	6.05	00
351	890			20	351	890			20	351	890			20
141	266	26.4	0+39	94.	115	269	30.4	0+35	93.	405	264	20.0	0+30	93.
.75	3.47	7	1.10	00	.50	8.47	6	6.55	00	.58	8.21	6	6.11	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
167	265	26.4	0+41	92.	145	269	30.4	0+38	93.	371	264	34.6	0+34	93.
.88	9.19	7	7.57	57	.96	8.60	6	7.01	00	.65	1.07	8	0.79	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
220	265	52.9	0+47	90.	176	269	30.4	0+41	93.	333	263	39.0	0+37	92.
.13	0.62	5	0.52	41	.42	8.72	6	7.47	00	.65	1.89	9	9.88	79
351	890			20	351	890			20	351	890			20
246	264	26.4	0+49	89.	206	269	30.4	0+44	93.	316	261	22.0	0+40	92.
.25	6.34	7	6.99	29	.88	8.84	6	7.93	00	.61	7.95	2	1.89	17
351	890			20	351	890			20	351	890			20
272	264	26.4	0+52	89.	237	269	30.4	0+47	93.	279	262	38.2	0+44	91.
.38	2.06	7	3.46	00	.34	8.97	6	8.39	00	.27	6.02	1	0.10	70

351	890			20	351	890			20	351	890			20
298	263	26.4	0+54	88.	267	269	30.4	0+50	93.	252	263	27.8	0+46	91.
.50	7.78	7	9.94	00	.80	9.09	6	8.85	00	.45	3.33	0	7.90	14
351	890			20	351	890			20	351	890			20
313	265	21.6	0+57	89.	298	269	30.4	0+53	93.	227	265	32.2	0+50	91.
.67	3.20	3	1.57	25	.25	9.22	6	9.30	00	.76	4.01	0	0.10	00
351	890			20	351	890			20	351	890			20
328	266	21.6	0+59	88.	326	269	28.4	0+56	93.	191	266	37.3	0+53	90.
.84	8.62	3	3.20	00	.68	9.33	3	7.73	00	.74	4.04	9	7.49	50
351	890			20	351	890			20	351	890			20
397	266	68.5	0+66	86.	355	269	28.4	0+59	91.	167	266	24.2	0+56	90.
.37	8.90	3	1.73	00	.11	9.45	3	6.16	27	.57	1.68	9	1.78	26
351	890			20	351	890			20	351	890			20
420	266	22.8	0+68	86.	383	269	28.4	0+62	89.	132	264	40.6	0+60	88.
.21	8.99	4	4.57	00	.54	9.57	3	4.59	40	.63	0.96	2	2.40	70
351	890			20	351	890			20	351	890			20
440	268	28.8	0+71	86.	411	269	28.4	0+65	87.	114	262	21.3	0+62	87.
.43	9.56	4	3.41	00	.97	9.68	3	3.02	53	.50	9.69	5	3.75	02
351	890			20	351	890			20	351	890			20
480	273	57.6	0+77	86.	440	269	28.4	0+68	85.	081	263	33.3	0+65	85.
.88	0.68	8	1.09	00	.39	9.80	3	1.44	67	.16	1.45	9	7.14	83
351	890			20	351	890			20	351	890			20
503	272	24.1	0+79	84.	468	269	28.4	0+70	83.	047	264	37.6	0+69	84.
.75	3.10	0	5.19	38	.82	9.91	3	9.87	80	.28	7.78	1	4.75	90
351	890			20	351	890			20	350	890			20
526	271	24.1	0+81	84.	497	270	28.4	0+73	82.	997	265	50.3	0+74	84.
.63	5.51	0	9.29	00	.25	0.03	3	8.30	47	.68	6.11	0	5.05	23
351	890			20	351	890			20	350	890			20
549	270	24.1	0+84	82.	525	270	28.4	0+76	81.	971	265	25.9	0+77	83.
.50	7.92	0	3.40	94	.68	0.14	3	6.73	53	.84	8.35	3	0.98	77
351	890			20	351	890			20	350	890			20
572	270	24.1	0+86	80.	554	270	28.4	0+79	80.	931	265	40.1	0+81	83.
.38	0.33	0	7.50	00	.10	0.26	3	5.16	60	.77	7.02	0	1.08	52
351	890			20	351	890			20	350	890			20
597	270	25.8	0+89	79.	582	270	28.4	0+82	80.	895	265	36.9	0+84	83.
.74	5.56	9	3.39	36	.53	0.38	3	3.58	00	.28	1.43	1	7.98	00
351	890			20	351	890			20	350	890			20
623	271	25.8	0+91	78.	610	270	28.4	0+85	79.	868	264	27.4	0+87	82.
.10	0.78	9	9.28	89	.96	0.49	3	2.01	73	.14	7.07	9	5.47	05
351	890			20	351	890			20	350	890			20
648	271	25.8	0+94	78.	639	270	28.4	0+88	79.	815	262	56.6	0+93	80.
.46	6.00	9	5.18	25	.39	0.61	3	0.44	00	.86	5.32	3	2.10	90
351	890			20	351	890			20	350	890			20
673	272	25.8	0+97	77.	667	270	28.4	0+90	78.	799	259	32.6	0+96	78.
.82	1.23	9	1.07	67	.82	0.72	3	8.87	87	.55	7.06	3	4.73	97
351	890			20	351	890			20	350	890			20
699	272	25.8	0+99	77.	696	270	28.4	0+93	77.	790	256	32.5	0+99	79.
.18	6.45	9	6.96	00	.24	0.84	3	7.30	93	.15	5.87	7	7.30	36

Nota. Los valores del cauce en coordenadas sirven como punto de partida para la estimación del error en los valores coordenados del cauce levantado, dentro de estos valores coordenados se pudo determinar que si bien ninguno de los valores coincide absolutamente esto se debe a la ubicación del cauce levantado, ya que las imágenes DEM no son precisas en la escala que se realizó el levantamiento topográfico.

Figura 37

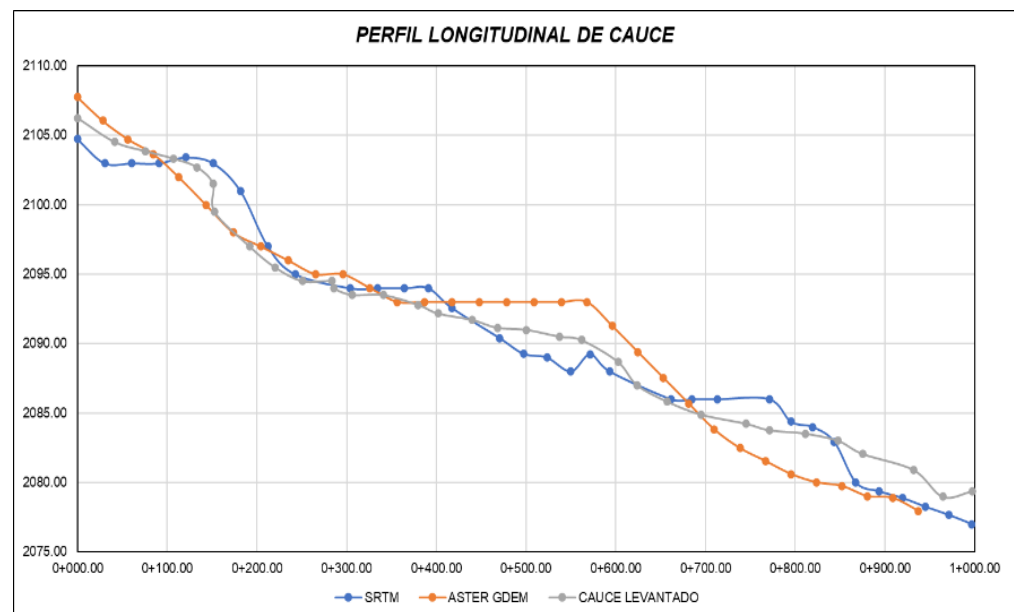
Vista de cauce en planta



Nota. Al analizar gráficamente los puntos coordenados, se evidencia que el cauce levantado topográficamente se ajusta de manera más precisa al cauce del modelo SRTM en comparación con los cauces obtenidos a partir del modelo ASTER GDEM.

Figura 38

Vista de perfil longitudinal del cauce



Nota. Con el perfil longitudinal identificado a partir de los valores altitudinales del cauce se puede identificar visualmente que ambos presentan una correlación con el cauce levantado, para la determinación de la precisión se aplicó la evaluación del error numérico.

Tabla 28

Prueba de error ASTER-GDEM

RMSE - ASTER GDEM					
ESTE			NORTE		
VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA	VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA
351700.69	350796.26	904.43	8902675.70	8902558.92	116.78
351659.45	350817.49	841.96	8902677.76	8902580.51	97.25
351625.74	350838.72	787.01	8902670.59	8902602.11	68.48
351594.75	350859.96	734.79	8902667.88	8902623.70	44.19
351568.85	350881.19	687.66	8902672.58	8902645.29	27.29
351552.77	350902.42	650.35	8902681.06	8902666.88	14.18
351551.27	350932.88	618.39	8902681.43	8902667.00	14.43
351512.45	350963.34	549.12	8902685.39	8902667.13	18.26
351485.15	350993.80	491.35	8902678.18	8902667.25	10.93
351455.87	351054.71	401.16	8902669.17	8902667.50	1.67
351426.97	351085.17	341.80	8902653.49	8902667.63	-14.13
351424.72	351115.63	309.09	8902654.23	8902667.75	-13.52
351405.58	351141.75	263.83	8902648.21	8902663.47	-15.26
351371.65	351167.88	203.77	8902641.07	8902659.19	-18.12
351333.65	351220.13	113.52	8902631.89	8902650.62	-18.73
351316.61	351246.25	70.36	8902617.95	8902646.34	-28.39
351279.27	351272.38	6.89	8902626.02	8902642.06	-16.03
351252.45	351298.50	-46.06	8902633.33	8902637.78	-4.45
351227.76	351313.67	-85.91	8902654.01	8902653.20	0.81
351191.74	351328.84	-137.10	8902664.04	8902668.62	-4.58
351167.57	351397.37	-229.80	8902661.68	8902668.90	-7.23
351132.63	351420.21	-287.58	8902640.96	8902668.99	-28.03
351114.50	351440.43	-325.93	8902629.69	8902689.56	-59.87
351081.16	351480.88	-399.72	8902631.45	8902730.68	-99.23
351047.28	351503.75	-456.48	8902647.78	8902723.10	-75.31
350997.68	351526.63	-528.95	8902656.11	8902715.51	-59.40
350971.84	351549.50	-577.66	8902658.35	8902707.92	-49.57
350931.77	351572.38	-640.61	8902657.02	8902700.33	-43.32
350895.28	351597.74	-702.46	8902651.43	8902705.56	-54.13
350868.14	351623.10	-754.96	8902647.07	8902710.78	-63.71
350815.86	351648.46	-832.61	8902625.32	8902716.00	-90.68
350799.55	351673.82	-874.27	8902597.06	8902721.23	-124.17
350790.15	351699.18	-909.03	8902565.87	8902726.45	-160.58
RMSE		95.92	RMSE		10.41

RMSE x	95.92
RMSE y	10.41
RMSE r	96.48
Exactitud r	130.13

Nota. A partir del análisis del error cuadrático medio (RMSE) para el eje X (este) presente un error de 95.92 m, en el eje Y (norte) el error que se estima es de 10.41 m, teniendo una exactitud estimada en planimetría de 130.13

Tabla 29

Prueba de error SRTM

RMSE - SRTM					
ESTE			NORTE		
VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA	VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA
351700.69	350799.09	901.60	8902675.70	8902611.16	64.54
351659.45	350817.28	842.17	8902677.76	8902632.74	45.03
351625.74	350835.46	790.27	8902670.59	8902654.32	16.27
351594.75	350853.65	741.10	8902667.88	8902675.90	-8.01
351568.85	350871.84	697.01	8902672.58	8902697.47	-24.89
351552.77	350902.30	650.48	8902681.06	8902697.60	-16.54
351551.27	350932.75	618.51	8902681.43	8902697.72	-16.29
351512.45	350963.21	549.24	8902685.39	8902697.85	-12.46
351485.15	350993.67	491.48	8902678.18	8902697.97	-19.79
351455.87	351024.13	431.74	8902669.17	8902698.10	-28.92
351426.97	351054.59	372.38	8902653.49	8902698.22	-44.73
351424.72	351085.05	339.67	8902654.23	8902698.35	-44.12
351405.58	351115.50	290.08	8902648.21	8902698.47	-50.26
351371.65	351145.96	225.68	8902641.07	8902698.60	-57.53
351333.65	351176.42	157.23	8902631.89	8902698.72	-66.83
351316.61	351206.88	109.73	8902617.95	8902698.84	-80.90
351279.27	351237.34	41.93	8902626.02	8902698.97	-72.94
351252.45	351267.80	-15.35	8902633.33	8902699.09	-65.77
351227.76	351298.25	-70.49	8902654.01	8902699.22	-45.21
351191.74	351326.68	-134.94	8902664.04	8902699.33	-35.29
351167.57	351355.11	-187.54	8902661.68	8902699.45	-37.77
351132.63	351383.54	-250.91	8902640.96	8902699.57	-58.60
351114.50	351411.97	-297.46	8902629.69	8902699.68	-70.00
351081.16	351440.39	-359.24	8902631.45	8902699.80	-68.35
351047.28	351468.82	-421.54	8902647.78	8902699.91	-52.13
350997.68	351497.25	-499.57	8902656.11	8902700.03	-43.92
350971.84	351525.68	-553.83	8902658.35	8902700.14	-41.80
350931.77	351554.10	-622.34	8902657.02	8902700.26	-43.24
350895.28	351582.53	-687.25	8902651.43	8902700.38	-48.94
350868.14	351610.96	-742.82	8902647.07	8902700.49	-53.42
350815.86	351639.39	-823.53	8902625.32	8902700.61	-75.28
350799.55	351667.82	-868.27	8902597.06	8902700.72	-103.66
350790.15	351696.24	-906.09	8902565.87	8902700.84	-134.97
RMSE		95.26	RMSE		9.84

RMSE x	95.26
RMSE y	9.84
RMSE r	95.77
Exactitud r	128.62

Nota. A partir del análisis del error cuadrático medio (RMSE) para el eje X (este) presente un error de 95.26 m, en el eje Y (norte) el error que se estima es de 9.84 m, teniendo una exactitud estimada en planimetría de 128.62

De los resultados obtenidos en la comparación planimétrica de la exactitud de las imágenes de elevación digital a partir de la aplicación

del error cuadrático medio, se pudo determinar que la imagen SRTM presenta un mayor grado de exactitud que la imagen ASTER GDEM, con esta conclusión se pudo determinar que los valores más precisos tanto como de caudal y de precisión altimétrica y planimétrica lo dan las imágenes de tipo SRTM.

4.1.4. ESTIMACIÓN DE ERROR ALTITUDINAL

La verificación del error altitudinal de las imágenes se estimó a partir de un levantamiento topográfico realizando un recorrido con un GPS submétrico para lo cual se tomó un área de 100 ha, del levantamiento con GPS se realizó un mallado de 50 x 50 m a fin de verificar los valores altitudinales para cada tipo de imagen analizada, con lo cual se obtuvo:

Figura 39

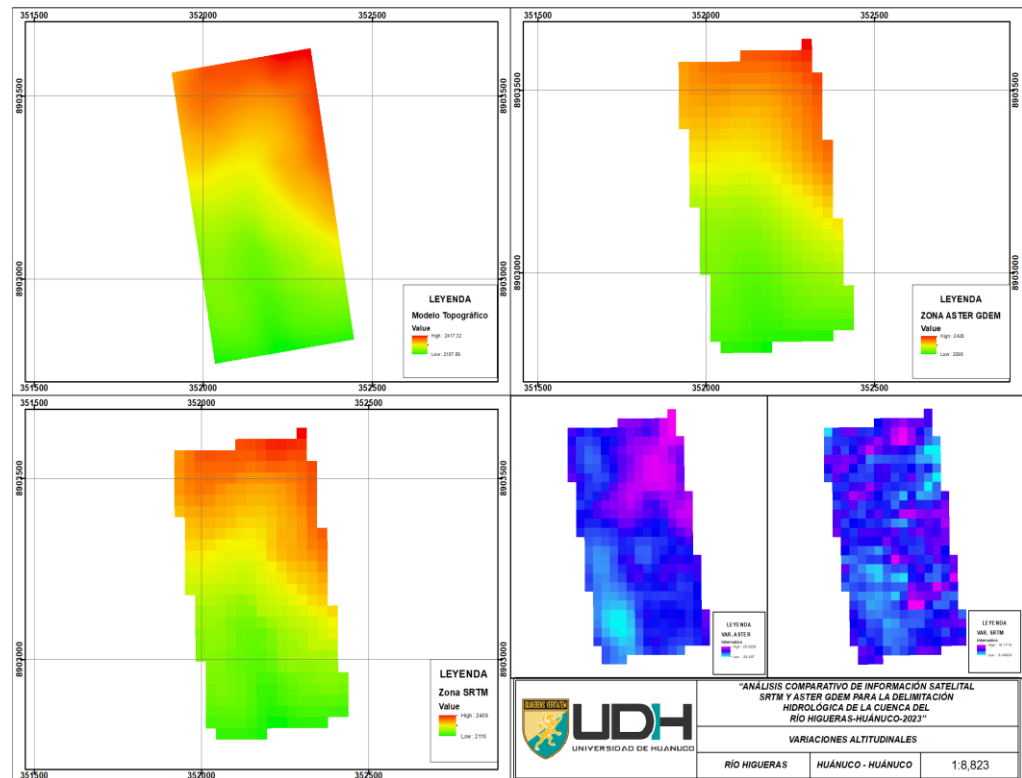
Vista en Civil3D – Levantamiento con GPS



Nota. Se tomó en cuenta para el análisis de las variaciones altitudinales una zona de 100 ha que corresponden por fines de estimación una zona accesible, pero con variaciones de alturas considerable que se encuentra dentro de la cuenca del río Higuerras, la zona tomada en cuenta fue Quisqui el cual se encuentra en la parte alta del cauce del río Higuerras.

Figura 40

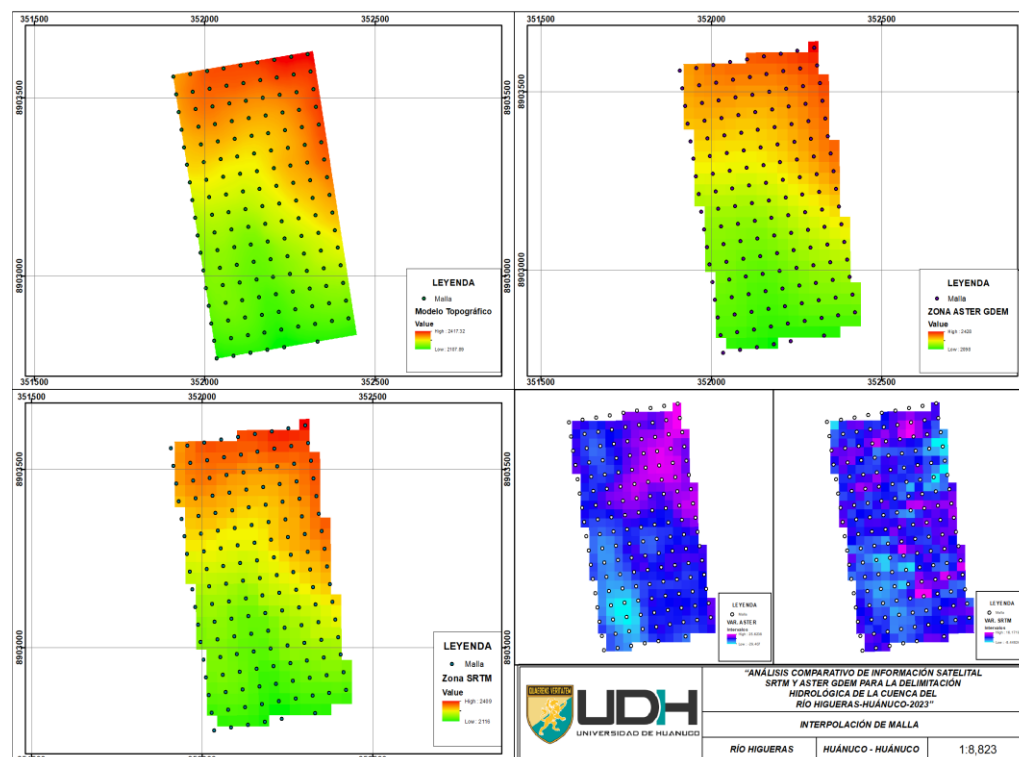
Modelo de elevaciones de la zona



Nota. Las curvas de nivel de la zona de interés fueron procesadas como un modelo de elevación digital en la figura, en la parte superior izquierda se muestra el modelo obtenido de la zona levantada con los límites redefinidos a fin de analizarlos a tipo de celdas, en la parte superior derecha se muestra el recorte de la imagen ASTER-GDEM para la zona levantada y en la parte inferior izquierda se muestra la misma zona recortada para la imagen SRTM, en la parte inferior derecha se muestran las variaciones altitudinales de cada modelo comparadas con las obtenidas por el levantamiento topográfico. De las imágenes de comparación se estimaron que las variaciones de la imagen ASTER GDEM van desde los -29.407 a 25.6238 m, mientras que para la imagen SRTM se obtuvieron variaciones entre los -8.44824 a 16.1719 m, presentando menor variación altitudinal la imagen SRTM.

Figura 41

Presentación de mallas de análisis



Nota. Para las imágenes obtenidas se planteó el análisis por mallas, las cuales fueron distribuidas cada 50 metros en sentido paralelo a la base inferior a la imagen y de la misma forma para el eje perpendicular, esto sirvió de base para cuantificar una cantidad de 150 puntos que fueron sometidos al análisis RMSE para las cotas que comprende una imagen de elevación.

Tabla 30

Análisis de malla SRTM

RMSE - SRTM			
COTA			
# PUNTO	VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA
1	2113.11	2128.00	-14.89
2	2120.79	2128.81	-8.02
3	2121.88	2128.70	-6.82
4	2118.63	2120.00	-1.37
5	2108.59	2116.32	-7.73
6	2121.19	2126.92	-5.73
7	2131.37	2136.00	-4.63
8	2140.63	2142.23	-1.60
9	2141.79	2141.23	0.56
10	2129.33	2128.24	1.09
11	2122.82	2121.81	1.01
12	2134.41	2134.53	-0.12
13	2141.03	2140.67	0.36
14	2146.18	2144.56	1.61
15	2145.02	2144.76	0.27
16	2146.62	2150.79	-4.17
17	2158.77	2158.17	0.60

18	2155.04	2155.58	-0.53
19	2138.51	2137.61	0.89
20	2133.11	2131.87	1.24
21	2149.09	2147.10	1.99
22	2159.36	2159.48	-0.12
23	2167.44	2168.67	-1.24
24	2168.63	2168.86	-0.23
25	2155.66	2164.89	-9.23
26	2169.58	2171.00	-1.42
27	2161.08	2161.00	0.08
28	2145.71	2145.05	0.65
29	2141.60	2140.63	0.97
30	2160.54	2161.19	-0.65
31	2175.06	2174.18	0.88
32	2186.50	2183.70	2.80
33	2192.01	2192.13	-0.12
34	2166.43	2173.78	-7.35
35	2171.88	2173.20	-1.33
36	2161.45	2160.24	1.22
37	2151.15	2150.24	0.91
38	2157.85	2155.44	2.41
39	2176.57	2183.37	-6.80
40	2193.73	2197.23	-3.50
41	2209.03	2209.74	-0.71
42	2219.95	2216.63	3.33
43	2173.02	2174.00	-0.98
44	2179.06	2178.16	0.90
45	2167.74	2167.14	0.61
46	2155.85	2156.17	-0.32
47	2165.93	2162.74	3.19
48	2187.27	2190.49	-3.23
49	2205.99	2205.45	0.55
50	2228.04	2225.84	2.19
51	2246.75	2250.19	-3.43
52	2176.34	2179.67	-3.33
53	2186.45	2184.89	1.56
54	2175.43	2172.58	2.84
55	2164.85	2162.47	2.38
56	2180.89	2175.20	5.69
57	2207.21	2204.36	2.85
58	2226.50	2224.88	1.62
59	2248.74	2246.23	2.50
60	2273.62	2273.34	0.28
61	2184.66	2192.84	-8.18
62	2199.61	2196.97	2.64
63	2192.03	2190.59	1.45
64	2184.09	2181.16	2.92
65	2208.21	2210.14	-1.93
66	2229.53	2228.26	1.27
67	2251.24	2247.04	4.20
68	2275.92	2277.04	-1.12
69	2298.83	2295.53	3.30
70	2201.21	2210.31	-9.11
71	2215.75	2214.80	0.95
72	2211.93	2211.41	0.52
73	2209.44	2206.59	2.84
74	2226.09	2227.14	-1.05
75	2248.94	2246.85	2.09
76	2276.16	2274.01	2.15
77	2296.06	2295.65	0.41

78	2317.66	2316.86	0.80
79	2228.33	2230.87	-2.54
80	2239.69	2236.33	3.36
81	2237.14	2236.84	0.30
82	2230.42	2230.68	-0.26
83	2243.01	2239.99	3.02
84	2268.23	2260.99	7.25
85	2296.06	2294.94	1.12
86	2312.76	2314.15	-1.39
87	2338.30	2340.00	-1.70
88	2254.83	2255.58	-0.75
89	2262.18	2259.87	2.30
90	2255.56	2253.76	1.80
91	2251.55	2252.50	-0.96
92	2257.45	2256.63	0.81
93	2283.36	2283.54	-0.18
94	2308.41	2309.87	-1.45
95	2327.74	2325.91	1.83
96	2357.03	2355.88	1.15
97	2280.62	2281.03	-0.42
98	2286.50	2284.62	1.88
99	2279.26	2277.65	1.61
100	2271.86	2271.13	0.73
101	2270.20	2269.12	1.08
102	2286.35	2285.11	1.24
103	2306.32	2309.23	-2.91
104	2330.56	2325.82	4.73
105	2367.09	2361.40	5.69
106	2294.60	2298.11	-3.51
107	2305.30	2304.13	1.17
108	2306.85	2306.32	0.52
109	2298.57	2299.22	-0.65
110	2290.66	2290.12	0.54
111	2294.73	2293.93	0.81
112	2309.81	2312.91	-3.10
113	2336.65	2333.31	3.35
114	2371.99	2365.33	6.66
115	2305.89	2303.97	1.92
116	2324.86	2323.18	1.68
117	2329.59	2326.67	2.92
118	2318.70	2316.48	2.22
119	2311.74	2311.62	0.12
120	2311.84	2309.36	2.49
121	2322.18	2320.20	1.98
122	2346.93	2341.01	5.93
123	2378.57	2370.54	8.02
124	2314.20	2325.39	-11.20
125	2342.59	2343.57	-0.98
126	2349.94	2351.43	-1.49
127	2339.74	2340.56	-0.82
128	2333.48	2332.81	0.67
129	2332.79	2332.66	0.14
130	2344.82	2344.49	0.33
131	2358.07	2356.03	2.05
132	2380.18	2374.56	5.62
133	2318.58	2330.68	-12.10
134	2351.87	2351.31	0.56
135	2362.82	2362.50	0.33
136	2364.27	2364.31	-0.04
137	2365.23	2364.30	0.94

138	2364.52	2364.93	-0.40
139	2380.83	2383.50	-2.67
140	2383.27	2382.86	0.41
141	2389.30	2385.27	4.03
142	2315.19	2327.90	-12.71
143	2343.98	2345.88	-1.91
144	2369.91	2373.74	-3.83
145	2375.79	2372.15	3.64
146	2378.24	2379.14	-0.90
147	2385.79	2384.06	1.72
148	2401.95	2398.01	3.94
149	2410.71	2399.18	11.53
150	2408.69	2407.78	0.92
RMSE			6.14

RMSE z 6.14
Exactitud z 0.79601878

Nota. Del análisis de la malla elaborada se tomaron en cuenta 150 puntos los cuales fueron interpolados con el levantamiento topográfico y las imágenes satelitales, las cuales fueron sometidas a un análisis de error cuadrático medio en la cual se pudo determinar que existe una variación de 6.14 m en promedio para los puntos obtenidos, con una exactitud de 79.60%.

Tabla 31

Análisis de malla ASTER-GDEM

RMSE - ASTER GDEM		
COTA		
VALOR MEDIDO	VALOR PREDICHO	DIFERENCIA
2113.11	2112.00	1.11
2120.79	2109.57	11.22
2121.88	2104.27	17.62
2118.63	2098.00	20.63
2108.59	2108.00	0.59
2121.19	2107.16	14.03
2131.37	2124.00	7.37
2140.63	2122.97	17.66
2141.79	2116.78	25.01
2129.33	2113.01	16.32
2122.82	2116.82	6.00
2134.41	2125.49	8.93
2141.03	2129.87	11.15
2146.18	2134.51	11.66
2145.02	2140.25	4.77
2146.62	2135.89	10.72
2158.77	2134.77	24.00
2155.04	2125.27	29.77
2138.51	2120.63	17.88
2133.11	2127.47	5.64
2149.09	2141.17	7.92
2159.36	2151.97	7.39
2167.44	2158.02	9.41
2168.63	2165.22	3.41

2155.66	2144.92	10.74
2169.58	2142.68	26.90
2161.08	2132.14	28.94
2145.71	2127.49	18.22
2141.60	2136.36	5.24
2160.54	2153.19	7.35
2175.06	2167.74	7.31
2186.50	2177.25	9.24
2192.01	2185.17	6.83
2166.43	2152.97	13.46
2171.88	2150.41	21.47
2161.45	2140.19	21.26
2151.15	2135.24	15.91
2157.85	2147.14	10.71
2176.57	2166.36	10.21
2193.73	2183.53	10.21
2209.03	2197.43	11.59
2219.95	2210.53	9.42
2173.02	2160.01	13.01
2179.06	2159.60	19.45
2167.74	2150.31	17.43
2155.85	2146.71	9.14
2165.93	2159.54	6.39
2187.27	2181.36	5.90
2205.99	2200.90	5.10
2228.04	2219.00	9.04
2246.75	2239.12	7.63
2176.34	2168.05	8.29
2186.45	2168.22	18.24
2175.43	2161.78	13.65
2164.85	2160.37	4.48
2180.89	2172.93	7.96
2207.21	2195.93	11.28
2226.50	2219.66	6.84
2248.74	2241.99	6.74
2273.62	2266.65	6.98
2184.66	2176.92	7.73
2199.61	2178.64	20.97
2192.03	2175.76	16.27
2184.09	2177.15	6.94
2208.21	2190.51	17.70
2229.53	2214.55	14.98
2251.24	2239.88	11.36
2275.92	2266.16	9.76
2298.83	2288.41	10.41
2201.21	2192.32	8.89
2215.75	2196.24	19.50
2211.93	2196.80	15.13
2209.44	2198.83	10.61
2226.09	2213.35	12.74
2248.94	2236.52	12.42
2276.16	2263.52	12.64
2296.06	2290.93	5.13

2317.66	2317.96	-0.30
2228.33	2216.03	12.30
2239.69	2223.44	16.25
2237.14	2224.11	13.03
2230.42	2226.07	4.35
2243.01	2238.78	4.23
2268.23	2260.28	7.96
2296.06	2287.07	8.99
2312.76	2315.87	-3.11
2338.30	2345.82	-7.51
2254.83	2247.34	7.49
2262.18	2252.88	9.29
2255.56	2253.06	2.49
2251.55	2254.01	-2.46
2257.45	2262.50	-5.06
2283.36	2281.14	2.22
2308.41	2305.61	2.80
2327.74	2333.92	-6.17
2357.03	2363.43	-6.40
2280.62	2272.03	8.58
2286.50	2276.12	10.38
2279.26	2275.03	4.23
2271.86	2274.69	-2.83
2270.20	2280.94	-10.74
2286.35	2295.92	-9.57
2306.32	2317.49	-11.17
2330.56	2343.23	-12.67
2367.09	2369.61	-2.52
2294.60	2291.48	3.12
2305.30	2294.52	10.78
2306.85	2294.09	12.76
2298.57	2292.18	6.39
2290.66	2295.77	-5.11
2294.73	2307.12	-12.38
2309.81	2326.23	-16.43
2336.65	2350.28	-13.62
2371.99	2374.41	-2.41
2305.89	2305.58	0.31
2324.86	2312.33	12.53
2329.59	2313.46	16.13
2318.70	2310.90	7.80
2311.74	2311.33	0.41
2311.84	2319.53	-7.69
2322.18	2337.08	-14.90
2346.93	2358.61	-11.68
2378.57	2381.68	-3.11
2314.20	2318.71	-4.51
2342.59	2328.00	14.58
2349.94	2333.09	16.85
2339.74	2332.90	6.84
2333.48	2332.59	0.89
2332.79	2338.34	-5.55
2344.82	2351.99	-7.16

2358.07	2371.53	-13.46
2380.18	2392.90	-12.72
2318.58	2329.12	-10.54
2351.87	2339.56	12.31
2362.82	2351.02	11.81
2364.27	2356.08	8.20
2365.23	2357.79	7.44
2364.52	2362.96	1.57
2380.83	2373.42	7.41
2383.27	2390.92	-7.65
2389.30	2405.96	-16.66
2315.19	2332.89	-17.70
2343.98	2343.90	0.08
2369.91	2361.44	8.47
2375.79	2368.91	6.88
2378.24	2383.40	-5.16
2385.79	2386.64	-0.85
2401.95	2393.17	8.78
2410.71	2403.65	7.07
2408.69	2426.87	-18.17
RMSE		11.49

RMSE z	11.49
Exactitud z	0.68509033

Nota. Del análisis de la malla elaborada se tomaron en cuenta 150 puntos los cuales fueron interpolados con el levantamiento topográfico y las imágenes satelitales, las cuales fueron sometidas a un análisis de error cuadrático medio en la cual se pudo determinar que existe una variación de 11.49 m en promedio para los puntos obtenidos, con una exactitud de 68.50%.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hp: La delimitación hidrológica usando información satelital SRTM genera un modelo más preciso, en comparación con el modelo ASTER GDEM.

Con la elaboración de la comparativa entre los modelos digitales de elevación ASTER GDEM y SRTM, se determinó:

Tabla 32

Error planimétrico

	ASTER GDEM		SRTM	
	Error (x)	Error (y)	Error (x)	Error (y)
Error Medio	5.65	-19.22	24.52	-42.32
Error Máx.	904.43	116.78	901.60	64.54
Error Mín.	-909.03	-160.58	-906.09	-134.97
Rango de Error	1813.46	277.36	1807.69	199.51
Desviación estándar	559.52	57.49	555.16	38.02
RMSE	95.92	10.41	95.26	9.84
RMSE r		96.48		95.77
NSSDA 95%		130.13		128.62

Comparando los valores planimétricos en los ejes X e Y (Norte y Este) del cauce de río levantado topográficamente se identificaron los valores de Error Medio estimados a partir del promedio de los valores de diferencia entre los valores coordenados del modelo de elevación digital y los valores coordenados del levantamiento topográfico. A nivel planimétrico la información del error real estimado en el modelo ASTER es de un 96.48 m y para el modelo SRTM el valor del error real es de 95.77 m, dando, así como resultado que el modelo más confiable a nivel planimétrico es el SRTM por su ajuste adecuado a la realidad, elaborado a partir de la comparativa con el cauce real levantado topográficamente.

Tabla 33*Error altimétrico*

	ASTER GDEM	SRTM
Error Medio	10.12	2.55
Error Máx.	29.77	14.89
Error mín.	0.08	0.04
Rango de Error	29.69	14.85
Desviación estándar	9.94	9.94
RMSE	11.49	6.14
NSSDA 95%	0.69	0.80

De manera similar a los valores obtenidos en forma planimétrica se elaboró la comparativa a nivel altimétrico, obteniendo así que el modelo ASTER presenta una precisión del 0.69 mientras que el modelo SRTM presenta un valor de 0.80, se observa también que los rangos de errores se estimaron en 29.69 y 14.85 m para las imágenes ASTER y SRTM respectivamente, dando, así como modelo más adecuado al modelo SRTM.

Tabla 34*Valores de caudal para diferentes periodos de retorno*

TIEMPO DE RETORNO	CAUDAL DE DISEÑO			
	HEC-HMS ASTER GDEM	HEC-HMS SRTM	MET RACIONAL ASTER GDEM	MET RACIONAL SRTM
10	169.80	195.50	170.351	181.372
25	182.30	210.00	182.939	194.775
50	192.60	221.80	193.076	205.568
100	204.20	234.90	203.775	203.399
500	239.80	274.50	230.959	230.533

De la determinación del modelo más adecuado se pudo identificar que los valores que más se ajustan a la realidad del caudal vendrían a ser los que se determinaron con el modelo SRTM. Los valores de los caudales fueron estimados a partir de la delimitación geomorfológica de la cuenca del río Higueras, la determinación se realizó con la aplicación del software Hec-HMS en donde se requirió la información de intensidades y características geomorfológicas de la cuenca.

En conclusión y a partir de las tablas mostradas se puede afirmar la hipótesis planteada, ya que los valores de delimitación hidrológica se ajustan

mejor en el modelo SRTM presentando valores más apegados a la realidad geomorfológica de la cuenca de interés.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como primer objetivo específico se consideró calcular la diferencia de la planimetría y altimétrica de la cuenca del río Higueras, con la información satelital SRTM o ASTER GDEM, en base a ello se estudió la teoría de modelo digital de elevación (DEM), concepción de Oñate (2007), quien señaló que a partir de un DEM, si este posee una alta calidad de imagen se puede evidenciar una alta precisión en el establecimiento de los puntos de control aplicados para la georreferenciación con lo cual se logra asignar las cotas reales en el terreno, esto pues evidencia un alto grado de fidelidad en la imagen DEM, si se encuentran incoherencias en los diferentes canales que componen un DEM puede deberse a la falta de imágenes ASTER previamente a la extracción de imágenes DEM, estimando así las características de eliminaciones de cuerpos nubosos obteniendo así una imagen de alta calidad. Puede establecerse que para las características morfométricas derivadas del DEM ASTER presentan una correcta correspondencia con las obtenidas del DEM SRTM, logrando así elaborar un modelo hidrológico adecuado en cualquiera de las cuencas de interés. La información de planimetría y altimetría de una zona determinada que sirva como base de investigación para identificación de parámetros morfológicos de una zona en específico. En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que los valores planimétricos en los ejes X e Y (Norte y Este) del cauce de río levantado topográficamente se identificaron los valores de Error Medio estimados a partir del promedio de los valores de diferencia entre los valores coordenados del modelo de elevación digital y los valores coordenados del levantamiento topográfico. A nivel planimétrico la información del error real estimado en el modelo ASTER GDEM es de 96.48m y para el modelo SRTM el valor del error real es 95.77m. A nivel altimétrico, el modelo ASTER GDEM presenta una precisión del 68.50% mientras que el modelo SRTM presenta un valor de 79.60%, también se observa que los rangos de errores se estimaron para las imágenes ASTER GDEM en 29.69m y para SRTM en 14.85m, dando así como resultado que el modelo más confiable a nivel planimétrico y

altimétrico es el SRTM por su ajuste adecuado a la realidad, esto indica que el modelo más preciso para la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera es el modelo SRTM. Los resultados de la presente investigación son similares con lo obtenido por Gonzales (2020), quien llegó a realizar la delimitación Hidrológica de la cuenca con los imágenes satelitales, la investigación que realizó fue con una mayor área de levantamiento topográfico que la presente investigación, dando así un valor más preciso de variación planimétrico y altimétrico con respecto a la presente investigación, el investigador también pudo concluir que de las tres metodologías analizadas, la que más se aproxima al levantamiento ejecutado en campo son las imágenes satelitales ALOS PALSAR y SRTM. El antecedente y su similitud con la presente investigación, evidencia que la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera, es más precisa aplicando el modelo SRTM, de hecho, las delimitaciones hidrológicas con informaciones satelitales se busca la mayor precisión de los valores planimétricos y altimétricos, aplicando las herramientas especializadas como ArcMap, ArcGIS, Hec-HMS, etc., las cuales desempeñan roles cruciales en el análisis geoespacial y la modelización hidrológica, estas herramientas son clave para establecer parámetros, calibrar, validar modelos y en última instancia comprender en profundidad el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Higuera, sentando bases sólidas para futuras investigaciones en delimitación hidrológica.

Como segundo objetivo específico se consideró determinar los valores de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Higuera, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM, en base a ello se estudió la teoría de sistema de información geográfica (SIG), concepción de Cotler (2004), quien señaló que a partir del SIG se compone los subsistemas que facilitan el ingreso, almacenaje, edición y análisis de datos geográficos con la finalidad de transformar en información apta con la finalidad de tomar decisiones, el SIG logra elaborar mapas temáticos con la cual se logren representar la información, este tipo de información facilita en el ámbito de la hidrología en la predicción de gastos, estimación de la probabilidad de una inundación, cálculo del balance hídrico, una caracterización integrada con el

establecimiento de planes de manejo de las cuencas y la determinación de las zonas importantes en la conservación del recurso. Valores calculados para la identificación de características de una cuenca determinada directamente relacionada con la geometría y geomorfología de una determinada zona. En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que los valores de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Higuera, obtenido con el modelo más preciso SRTM son: coeficiente de compacidad 2.04, como es mayor a 1 es una cuenca alargada, entonces se reducen las posibilidades de que sean cubiertas por completo en eventos de una tormenta con lo cual se genera una afectación directa en el cauce del río; factor de forma 0.80 está entre 0.75-1 se trata de cuenca ancha, presenta una menor posibilidad de concentrar lluvias intensas; densidad de drenaje 0.65 éste valor de densidad es bajo, indica que es eficiente la red de drenaje y la cuenca presenta cobertura vegetal; frecuencia de ríos 0.32 esto indica el número total de ríos de la cuenca del río Higuera por unidad de superficie de dicha cuenca; altitud media 3973.50 msnm, nos indica que el clima en esta zona es templado a frío, produciéndose lluvias intensas; pendiente de cuenca 8.19% nos indica la diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal y la longitud de la cuenca; pendiente de cauce de río 20.99% nos indica la inclinación del terreno respecto a la horizontal, en la que se pierde altura; los cauces que componen la cuenca del río Higuera generan una red hídrica de 5° grado de ramificación, longitud total de cauce es 452.60 km y la longitud del cauce sólo del río Higuera es de 29.57 km; tiempo de concentración en horas(hrs.), nos indica el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida o aforo; según la curva hipsométrica la cuenca está en estado maduro por la forma que comprende su curva y del polígono de frecuencia se estima la altitud predominante que es 4500 msnm. Los resultados de la presente investigación son similares con lo obtenido por Tomé (2020), quien llegó a determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca con las imágenes satelitales aplicando el modelo ASTER GDEM, dando así valores más reales con respecto al levantamiento topográfico de campo, posee un área de 615 km² este valor es mayor a 250 km² entonces es considerada cuenca grande y por ende coincide con la presente investigación. El

antecedente y su similitud con la presente investigación, evidencian que los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Higueras, son más precisas aplicando el modelo SRTM, de hecho, que al realizar la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higueras con la información satelital SRTM, nos resulta que los parámetros geomorfológicos sean más precisos con respecto a lo obtenido por el modelo ASTER GDEM y la variación con respecto al antecedente se debe íntegramente a la composición morfológica de los cauces contribuyentes.

Como tercer objetivo específico se consideró estimar los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM, en base a ello se estudió la teoría de la delimitación hidrológica, concepción de Brieva (2018), quien señaló que la cuenca hidrográfica es considerada la unidad territorial óptima de planificación y gestión para el uso y manejo de los recursos hídricos y demás recursos naturales asociados. La producción agropecuaria es altamente dependiente de las condiciones climáticas y de la disponibilidad de agua, entre otros factores biológicos, físicos, económicos, sociales, etc. En los resultados encontrados en la presente investigación se observó que a partir de la metodología del bloque alterno se determinó para el periodo de retorno (PR) de 100 años el pico de intensidad es 5.33 mm en una distribución de 180 min., mediante la metodología de curva SCS se estimó el valor de caudal en 234.90 m³/s para el PR antes mencionado y así el proceso se repitió para diferentes imágenes satelitales, obtenido con el modelo más preciso SRTM los Caudales para los PR de 10, 25, 50 y 100 años de la cuenca del río Higueras son; 195.50, 210.00, 221.80, 234.90 y 274.50 m³/s. Los resultados de la presente investigación se centraron en datos actualizados y directos para garantizar la precisión de las características geomorfológicas y la información relacionada con pluviometría y caudales en la cuenca del río Higueras, aunque se aprovecharon los antecedentes existentes como punto de partida, la investigación de Ramos (2018) y Albornoz (2020), quienes llegaron a determinar los valores de caudales, Ramos aplicando el método del hidrograma unitario en la cuenca del río Higueras y Albornoz aplicando el método de Creager en la cuenca del río Garbanza, a diferencia que para la

presente investigación se tomaron en cuenta las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro del área de la cuenca del río Higueras, es decir del cauce de la estación denominada Estación Canchán, esta estación cuenta con información de precipitaciones diarias en un registro histórico amplio, para la investigación se tomó en cuenta desde el año 1990 al 2017 ya que dentro de este periodo se encuentran los valores completos, dando así un total de 28 años de referencia y son suficientes para realizar una estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno. Los antecedentes a diferencia de la presente investigación, evidencian que los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años estimaron por diferentes metodologías, en cambio para la presente investigación se aplicó los modelos ASTER GDEM y SRTM, de hecho, que al calcular los valores de los caudales fueron estimados a partir de la delimitación geomorfológica de la cuenca del río Higueras, la determinación se realizó con la aplicación del software Hec-HMS en donde se requirió la información de intensidades y características geomorfológicas de la cuenca del río Higueras.

CONCLUSIONES

A partir de la delimitación hidrológica realizada con los modelos digitales de elevación SRTM y ASTER GDEM se pudo determinar que con una variación de 95.77 y 96.48 m respectivamente para cada modelo, el modelo más preciso para la delimitación hidrológica es el modelo SRTM.

Del modelo topográfico del cauce del río Higuera se pudo determinar que el error que presenta el modelo a nivel planimétrico es de 95.26 y 95.52 m para los modelos SRTM y ASTER GDEM respectivamente, mientras que a nivel altimétrico la variación es de 14.85 y 29.69 m para los modelos SRTM y ASTER GDEM respectivamente.

Los valores de delimitación geomorfológica para el modelo de elevación digital SRTM son; coeficiente de compacidad de 2.04, factor de forma de 0.80, densidad de drenaje 0.65, frecuencia de ríos de 0.32, altitud media de 3973.50 msnm, pendiente de cuenca de 8.19% y pendiente de cauce de río de 20.99%; para el modelo ASTER GDEM se tiene; coeficiente de compacidad de 2.02, factor de forma de 0.71, densidad de drenaje 0.67, frecuencia de ríos de 0.34, altitud media de 3991.00 msnm, pendiente de cuenca de 14.16% y pendiente de cauce de río de 26.94%

Los valores de caudal para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años para el modelo SRTM son de 195.50, 210.00, 221.80, 234.90 y 274.50 m³/s y para el modelo ASTER GDEM son de 169.80, 182.30, 192.60, 204.20 y 239.80 m³/s.

RECOMENDACIONES

Se sugiere evaluar la precisión de los datos proporcionados por los satélites SRTM y ASTER GDEM mediante métodos de validación en campo, análisis estadísticos y la consideración de factores como la resolución espacial y posibles incertidumbres. Esta evaluación puede llevarse a cabo mediante un levantamiento topográfico más extenso, abarcando no solo una sección específica del cauce del río Higuera, sino también los límites que definen la cuenca, ya que estos últimos se mantendrán constantes.

Se recomienda examinar las pequeñas variaciones en los parámetros o enfoques utilizados en el procesamiento de los datos, los cuales pueden afectar los resultados finales. Realizar diferentes comprobaciones y evaluar cómo las elecciones metodológicas influyen en la precisión de las mediciones, esto se puede lograr a partir de la recolección de datos en diferentes tramos del cauce, el cual pueda ajustar de mejor manera el error estimado.

Para la estimación de los parámetros geomorfológicos se recomienda tener en cuenta la información precedente realizada en la cuenca del río Higuera, así mismo tener en cuenta la calidad de resolución que poseen las imágenes ASTER GDEM y SRTM, ya que con dicha resolución se podrán identificar mejor los cauces de la cuenca.

Se sugiere considerar la aplicación de una estimación de caudales mediante la metodología racional. Este enfoque emplea directamente los valores de superficie junto con el coeficiente de escorrentía, lo que permite realizar una estimación preliminar de los caudales. Estos valores estimados pueden ser contrastados con los datos reales para evaluar la precisión y la validez de la estimación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz, I. (2020). *Determinación de datos espaciales utilizando sistema de información geográfica de la cuenca del río Garbanza*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- ANA. (2002). *Estudio de la cuenca del Río Higuera - Huánuco*. ANA.
- Anrain, E. (2007). *Áreas de influencia de estaciones pluviométricas en la cuenca del río do Peixe/SC por el método de polígonos de Thiessen utilizando imagen de satélite y SIG*. Universidad del Oeste Santa Catarina.
- Ariza, F. (2017). *Evaluación de la calidad en modelos digitales de elevación*. Universidad de Jaén.
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Octavo monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca del Río Crisnejas - Sub cuenca Cajamarquino*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Brieva, C. (2018). *Caracterización de cuencas*. Programa Nacional Agua-PNAGUA.
- Cotler, H. (2004). *El manejo integral de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Durón, J. (2012). *Modelos digitales de elevación para el continuo de elevaciones mexicanas*. INEGI.
- Gonzales, R. (2020). *Determinación de factores de corrección altitudinal para modelos de elevación digital*. Revisión Geográfica de Chile Terra Australis.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGRAW-HILL.
- Lavao, S. (2014). *Aplicación de la teoría del número de curva (CN) a una cuenca de montaña, caso de estudio: cuenca del río Murca, Mediante la utilización de sistemas de información geográfica*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Llamoctanta, D. (2020). *Regionalización morfométrica adimensional de cuencas hidrográficas de la sierra de Huánuco - Perú, con fines de*

- transferencia de información hidrológica*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Mehta, A. (2015). *Satélites, sensores y modelos de sistemas terrestres de la NASA usados para la gestión de recursos hídricos*. NASA.
- Mejía, A. (2021). *Caracterización de dos cuencas altoandinas del Perú utilizando sistemas de información geográfica*. Universidad San Cristobal de Huamanga.
- Oñate, F. (2007). *Extracción de modelos digitales de elevación a partir de imágenes ASTER para la determinación de características morfométricas de cuencas hidrográficas*. Editorial Martín.
- Ortiz, N. (2021). *Influencia de la cobertura boscosa y la geomorfometría en la estimación anual de la oferta hídrica superficial en Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Palacios, E. (2016). *Gestión integral de cuencas hidrográficas*. Universidad Autónoma de Nicaragua.
- Ponce, V. (2023). *La isoyeta de 800 mm: Salud y esperanza*. Obtenido de http://ponce.sdsu.edu/800_mm_isoyeta_unheval.html
- Quezada, J. (2010). *Efectos de la tectónica y el clima en la configuración morfológica del relieve costero del norte de Chile*. Revista Geológica de Chile.
- Ramos, J. (2018). *Determinación del caudal pico utilizando el hidrograma unitario de salida total para la cuenca del río Higuera - Huánuco - 2018*. Universidad Alas Peruanas.
- Rodriguez, D. (2014). *Análisis de una tormenta extrema registrada en la ciudad de Obrero, Misiones*. Universidad Nacional de Misiones.
- Tomé, G. (2020). *Caracterización morfométrica de la cuenca del río Huitzilac, Puebla, México*. Universidad Nacional del Comahue.
- Vera, C. (2022). *Sistema de información geográfica como herramienta de la gestión de recursos hídricos: Revisión sistemática*. Universidad César Vallejo.

Vidal, R. (2022). *Evaluación de modelos digitales de elevación (DEMs) mediante geomorfología tectónica: Ejemplo de la cuenca Moyobamba*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Villón, M. (2004). *Hidrología*. MaxSoft.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Lavado Zevallos, M. (2024). *Análisis comparativo de información satelital SRTM y Aster Gdem para la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera-Huánuco-2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 35

Matriz de Consistencia

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE INFORMACIÓN SATELITAL SRTM Y ASTER GDEM PARA LA DELIMITACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO HIGUERAS-HUÁNUCO-2023”			
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General ¿Cuál información satelital SRTM o ASTER GDEM presenta una mayor precisión, en la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera?	Objetivo General Determinar cuál información satelital SRTM o ASTER GDEM presenta mayor precisión, en la delimitación hidrológica de la cuenca del río Higuera.	Hipótesis General La delimitación hidrológica usando información satelital SRTM genera un modelo más preciso, en comparación con el modelo ASTER GDEM.	Técnica Observación Análisis de contenido Análisis de información existente Análisis estadístico
Problemas Específicos ¿Cómo influye en la delimitación satelital planimétrica y altimétrica de la cuenca del río Higuera, la información satelital SRTM o ASTER GDEM? ¿Cuáles son los valores de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río	Objetivos Específicos Calcular la diferencia de la planimetría y altimétrica de la cuenca del río Higuera, con la información satelital SRTM o ASTER GDEM. Determinar los valores de los parámetros geomorfológicos para la cuenca del río Higuera, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM.		Instrumentos Modelo de terreno Ficha de parámetros geomorfológicos Ficha de información pluviométrica Ficha de resultados de caudal

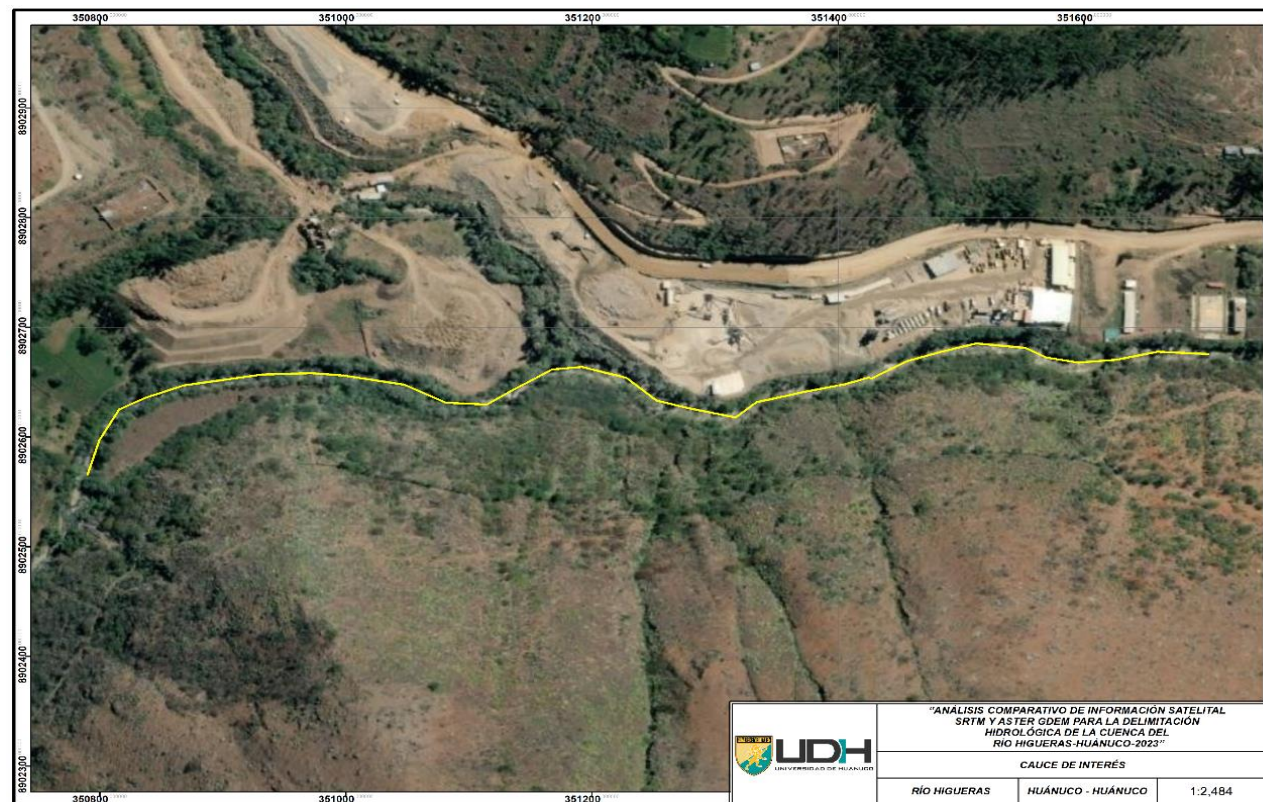
Higueras, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM?	Estimar los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM.	Ficha comparativa de resultados de ambos modelos
¿Cuáles son los valores de caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, a partir de la información satelital SRTM o ASTER GDEM?		

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES
Tipo de Investigación: Cuantitativo.	Población: Para la investigación se tomó como población total los 11 cuadrantes de imágenes de elevación digital que comprende la región Huánuco.	Variable Dependiente Delimitación hidrológica
Alcance de Investigación: Explicativo.		
Diseño: No Experimental.	Muestra: Se plantea así para la investigación que la muestra son en total 4 cuadrantes que comprenden la magnitud de la cuenca del río Higueras en la localidad de Huánuco.	Variable Independiente Información satelital SRTM y ASTER GDEM

ANEXO 2 UBICACIÓN

Figura 42

Ubicación de la zona de investigación



ANEXO 3

EVIDENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 36

Altitudes divididas por áreas imagen SRTM

<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>PROM</i>	<i>ÁREA (KM2)</i>	<i>ÁREA ACUM</i>	<i>ÁREA SOBRE LA CURVA</i>	<i>%ÁREA</i>	<i>%ÁREA SOBRE LA CURVA</i>
1901,00	2302,00	2101,50	27,96	27,96	675,54	3,97	96,03
2302,00	2633,00	2467,50	42,32	70,28	633,21	6,02	90,01
2633,00	2927,00	2780,00	53,76	124,04	579,45	7,64	82,37
2927,00	3198,00	3062,50	62,56	186,61	516,89	8,89	73,47
3198,00	3448,00	3323,00	69,55	256,16	447,34	9,89	63,59
3448,00	3675,00	3561,50	91,01	347,17	356,33	12,94	50,65
3675,00	3877,00	3776,00	121,10	468,27	235,23	17,21	33,44
3877,00	4070,00	3973,50	132,01	600,27	103,22	18,76	14,67
4070,00	4522,00	4296,00	103,22	703,50	0,00	14,67	0,00

Tabla 37

Pendiente de cuenca imagen SRTM

<i>HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA</i>						
<i>ORDEN</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>LONGITUD (KM)</i>	<i>REPETICIONES</i>	<i>PENDIENTE</i>	<i>REP*PEND</i>	
1,00	172,00	253,85	9867,00	23,55	232373,65	
2,00	38,00	103,78	4017,00	20,96	84207,85	
3,00	8,00	55,28	2129,00	16,51	35139,43	
4,00	3,00	10,11	395,00	9,81	3876,33	
5,00	1,00	29,57	1127,00	11,10	12509,10	
LONGITUD TOTAL		452,60	17535,00		368106,36	
PENDIENTE PROMEDIO					20,99	

Tabla 38

Pendiente de red hídrica imagen SRTM

<i>PENDIENTE DE LA CUENCA</i>				
<i>PENDIENTE</i>		<i>PROMEDIO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PROM*CANT</i>
<i>MIN</i>	<i>MAX</i>			
0,00	10,00	5,00	523292,00	2616460,00
10,00	20,00	15,00	219186,00	3287790,00
20,00	30,00	25,00	8392,00	209800,00
30,00	40,00	35,00	701,00	24535,00
40,00	50,00	45,00	203,00	9135,00
50,00	60,00	55,00	76,00	4180,00
60,00	70,00	65,00	42,00	2730,00
70,00	80,00	75,00	7,00	525,00
80,00	90,00	85,00	5,00	425,00

90,00	100,00	95,00	5,00	475,00
TOTAL			751909,00	6156055,00
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA			8,19	

Tabla 39

Altitudes divididas por áreas imagen ASTER GDEM

MIN	MAX	PROM	ÁREA (KM2)	ÁREA ACUM	ÁREA SOBRE LA CURVA	%ÁREA	%ÁREA SOBRE LA CURVA
1901,00	2310,00	2105,50	28,40	28,40	676,37	4,03	95,97
2310,00	2646,00	2478,00	43,39	71,79	632,97	6,16	89,81
2646,00	2942,00	2794,00	54,80	126,59	578,18	7,78	82,04
2942,00	3215,00	3078,50	63,64	190,23	514,54	9,03	73,01
3215,00	3466,00	3340,50	69,91	260,14	444,63	9,92	63,09
3466,00	3693,00	3579,50	93,01	353,15	351,61	13,20	49,89
3693,00	3895,00	3794,00	122,21	475,36	229,41	17,34	32,55
3895,00	4087,00	3991,00	130,71	606,07	98,70	18,55	14,00
4087,00	4497,00	4292,00	98,70	704,77	0,00	14,00	0,00

Tabla 40

Pendiente de cuenca imagen ASTER GDEM

HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA					
ORDEN	CANTIDAD	LONGITUD (KM)	REPETICIONES	PENDIENTE	REP*PEND
1,00	182,00	253,75	9929,00	28,35	281484,35
2,00	42,00	120,94	4710,00	26,30	123865,57
3,00	8,00	56,07	2194,00	28,27	62023,20
4,00	3,00	10,87	416,00	17,70	7362,74
5,00	1,00	31,47	1198,00	18,48	22138,24
LONGITUD TOTAL		473,09	18447,00		496874,09
PENDIENTE PROMEDIO				26,94	

Tabla 41

Pendiente de red hídrica imagen ASTER GDEM

PENDIENTE DE LA CUENCA				
PENDIENTE		PROMEDIO	CANTIDAD	PROM*CANT
MIN	MAX			
0,00	10,00	5,00	218356,00	1091780,00
10,00	20,00	15,00	379233,00	5688495,00
20,00	30,00	25,00	137341,00	3433525,00
30,00	40,00	35,00	15561,00	544635,00
40,00	50,00	45,00	2039,00	91755,00
50,00	60,00	55,00	515,00	28325,00

60,00	70,00	65,00	143,00	9295,00
70,00	80,00	75,00	43,00	3225,00
80,00	90,00	85,00	21,00	1785,00
90,00	100,00	95,00	11,00	1045,00
TOTAL			753263,00	10893865,00
PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA			14,46	

Tabla 42

Distribución Normal – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	$P(X) = \frac{N}{N+1}$	$Z = \frac{(X - X_m)}{S}$	$f(Z)$	$F(Z)$	Δ
1	16,70	26,61	5,89	0,0370	-1,681	0,097	0,0463	0,0093
2	17,70			0,0741	-1,512	0,127	0,0653	0,0088
3	18,00			0,1111	-1,461	0,137	0,0720	0,0391
4	20,30			0,1481	-1,071	0,225	0,1421	0,0060
5	21,00			0,1852	-0,952	0,254	0,1706	0,0146
6	21,70			0,2222	-0,833	0,282	0,2024	0,0199
7	22,70			0,2593	-0,664	0,320	0,2535	0,0058
8	23,70			0,2963	-0,494	0,353	0,3107	0,0144
9	24,40			0,3333	-0,375	0,372	0,3538	0,0204
10	24,50			0,3704	-0,358	0,374	0,3601	0,0103
11	24,80			0,4074	-0,307	0,381	0,3793	0,0281
12	25,10			0,4444	-0,256	0,386	0,3988	0,0456
13	27,00			0,4815	0,066	0,398	0,5263	0,0448
14	27,30			0,5185	0,117	0,396	0,5465	0,0280
15	27,40			0,5556	0,134	0,395	0,5532	0,0024
16	28,00			0,5926	0,236	0,388	0,5931	0,0005
17	28,10			0,6296	0,253	0,386	0,5997	0,0300
18	28,60			0,6667	0,337	0,377	0,6321	0,0346
19	29,00			0,7037	0,405	0,368	0,6573	0,0464
20	29,60			0,7407	0,507	0,351	0,6939	0,0468
21	29,60			0,7778	0,507	0,351	0,6939	0,0839

2						
2	31,60	0,8148	0,846	0,279	0,8013	0,0135
2						
3	33,00	0,8519	1,084	0,222	0,8608	0,0089
2						
4	33,20	0,8889	1,118	0,214	0,8682	0,0207
2						
5	37,10	0,9259	1,779	0,082	0,9624	0,0365
2						
6	41,80	0,9630	2,577	0,014	0,9950	0,0320

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	26
Δ TEÓRICO	0,0839
Δ TABULAR	0,2667
SE AJUSTA	

Figura 43

Distribución Normal – Estación Canchán

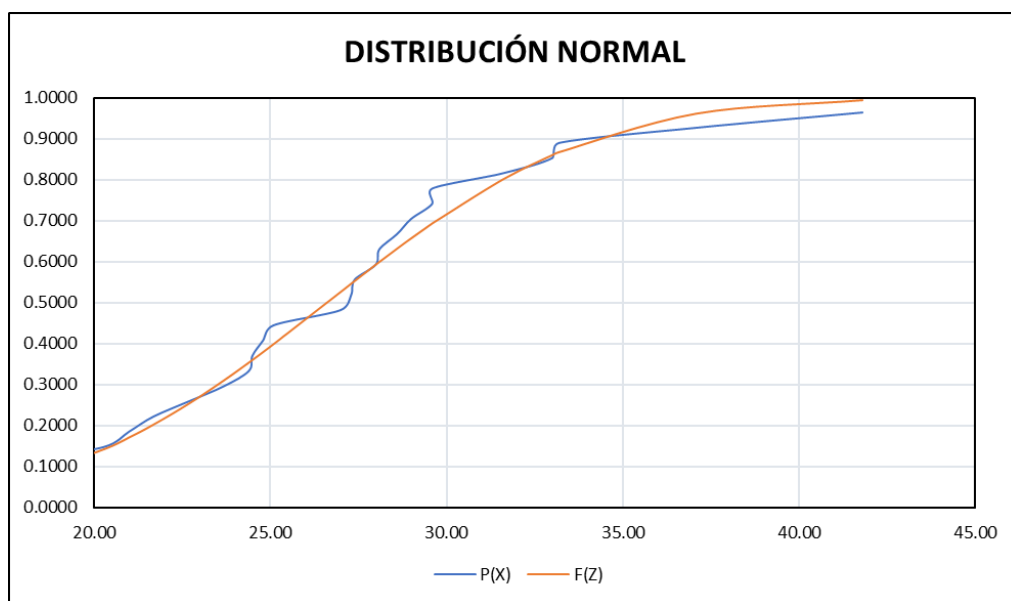


Tabla 43

Distribución Log Normal 2P – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	$Y = \ln(X)$	$P(X)$	MEDIA	DES. ESTÁNDAR	$Z = \frac{(X - X_m)}{S}$	$f(Z)$	$F(Z)$	Δ
	N			A	R				
1	16.7000	2.8154	0.0370			-1.9897	0.0148	0.0233	0.0137
2	17.7000	2.8736	0.0741	3.2578	0.2223	-1.7282	0.0228	0.0420	0.0321
3	18.0000	2.8904	0.1111			-1.6526	0.0254	0.0492	0.0619

4	20.3000	3.0106	0.148 1	- 1.111 7	0.047 6	0.133 1	0.015 0
5	21.0000	3.0445	0.185 2	- 0.959 3	0.053 9	0.168 7	0.016 5
6	21.7000	3.0773	0.222 2	- 0.811 8	0.059 5	0.208 5	0.013 8
7	22.7000	3.1224	0.259 3	- 0.609 2	0.065 7	0.271 2	0.012 0
8	23.7000	3.1655	0.296 3	- 0.415 3	0.069 5	0.339 0	0.042 7
9	24.4000	3.1946	0.333 3	- 0.284 3	0.070 6	0.388 1	0.054 7
1 0	24.5000	3.1987	0.370 4	- 0.265 9	0.070 7	0.395 1	0.024 8
1 1	24.8000	3.2108	0.407 4	- 0.211 2	0.070 8	0.416 4	0.009 0
1 2	25.1000	3.2229	0.444 4	- 0.157 1	0.070 6	0.437 6	0.006 9
1 3	27.0000	3.2958	0.481 5	0.171 1	0.065 5	0.567 9	0.086 4
1 4	27.3000	3.3069	0.518 5	0.220 8	0.064 1	0.587 4	0.068 8
1 5	27.4000	3.3105	0.555 6	0.237 2	0.063 7	0.593 8	0.038 2
1 6	28.0000	3.3322	0.592 6	0.334 6	0.060 6	0.631 1	0.038 5
1 7	28.1000	3.3358	0.629 6	0.350 7	0.060 0	0.637 1	0.007 5
1 8	28.6000	3.3534	0.666 7	0.430 0	0.057 2	0.666 4	0.000 3
1 9	29.0000	3.3673	0.703 7	0.492 5	0.054 8	0.688 8	0.014 9
2 0	29.6000	3.3878	0.740 7	0.584 6	0.051 1	0.720 6	0.020 2
2 1	29.6000	3.3878	0.777 8	0.584 6	0.051 1	0.720 6	0.057 2
2 2	31.6000	3.4532	0.814 8	0.878 7	0.038 6	0.810 2	0.004 6
2 3	33.0000	3.4965	0.851 9	1.073 6	0.030 6	0.858 5	0.006 7
2 4	33.2000	3.5025	0.888 9	1.100 8	0.029 5	0.864 5	0.024 4
2 5	37.1000	3.6136	0.925 9	1.600 4	0.013 4	0.945 2	0.019 3
2 6	41.8000	3.7329	0.963 0	2.136 8	0.004 4	0.983 7	0.020 7

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN

N
Δ TEÓRICO

26
0.0864

Figura 44

Distribución Log Normal 2P – Estación Canchán

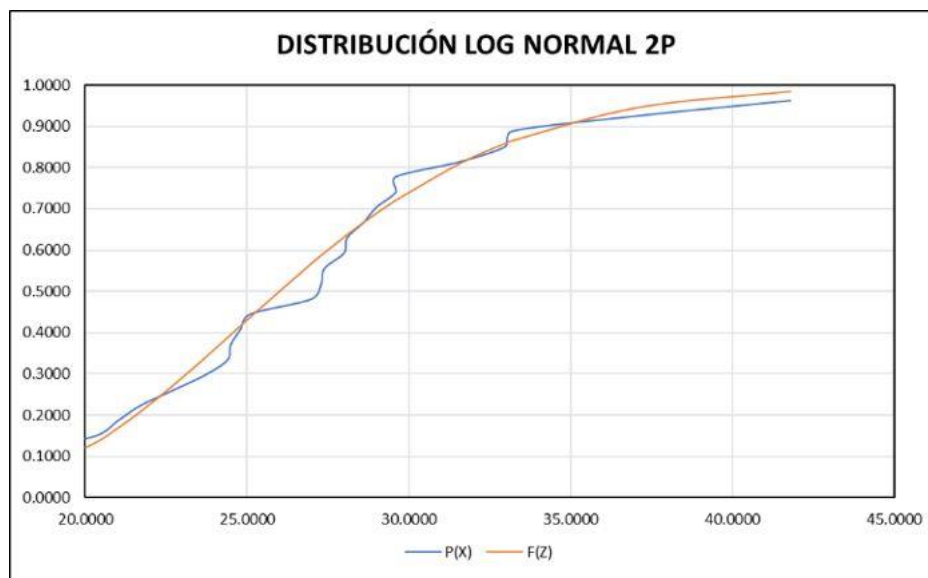


Tabla 44

Distribución Log Normal 3P – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	P(X)	Mediana	X0	(X-X0)	Ln(X-X0)	Media Ln(X-X0)	Desv. Estándar Ln(X-X0)	Z	f(Z)	F(Z)	Δ
1	16.7000	0.0370			26.0006	3.2581			-1.9422	0.0146	0.0261	0.0110
2	17.7000	0.0741			27.0006	3.2959			-1.7059	0.0216	0.0440	0.0301
3	18.0000	0.1111			27.3006	3.3069			-1.6367	0.0240	0.0508	0.0603
4	20.3000	0.1481	27.1500	-9.3006	29.6006	3.3878	3.5683	0.1597	-1.1303	0.0446	0.1292	0.0190
5	21.0000	0.1852			30.3006	3.4112			-0.9839	0.0508	0.1626	0.0226
6	21.7000	0.2222			31.0006	3.4340			-0.8409	0.0566	0.2002	0.0220
7	22.7000	0.2593			32.0006	3.4658			-0.6421	0.0635	0.2604	0.0011
8	23.7000	0.2963			33.0006	3.4965			-0.4494	0.0684	0.3266	0.0303

9	24.4000	0.33 33	33.7 006	3.517 5	- 0.31 80	0.07 05	0.37 52	0.04 19
1 0	24.5000	0.37 04	33.8 006	3.520 5	- 0.29 95	0.07 07	0.38 23	0.01 19
1 1	24.8000	0.40 74	34.1 006	3.529 3	- 0.24 41	0.07 11	0.40 36	0.00 38
1 2	25.1000	0.44 44	34.4 006	3.538 1	- 0.18 93	0.07 13	0.42 49	0.01 95
1 3	27.0000	0.48 15	36.3 006	3.591 8	0.14 73	0.06 81	0.55 86	0.07 71
1 4	27.3000	0.51 85	36.6 006	3.600 1	0.19 89	0.06 69	0.57 88	0.06 03
1 5	27.4000	0.55 56	36.7 006	3.602 8	0.21 59	0.06 65	0.58 55	0.02 99
1 6	28.0000	0.59 26	37.3 006	3.619 0	0.31 75	0.06 37	0.62 46	0.03 20
1 7	28.1000	0.62 96	37.4 006	3.621 7	0.33 43	0.06 32	0.63 09	0.00 13
1 8	28.6000	0.66 67	37.9 006	3.635 0	0.41 74	0.06 04	0.66 18	0.00 49
1 9	29.0000	0.70 37	38.3 006	3.645 5	0.48 31	0.05 80	0.68 55	0.01 82
2 0	29.6000	0.74 07	38.9 006	3.661 0	0.58 05	0.05 43	0.71 92	0.02 15
2 1	29.6000	0.77 78	38.9 006	3.661 0	0.58 05	0.05 43	0.71 92	0.05 86
2 2	31.6000	0.81 48	40.9 006	3.711 1	0.89 44	0.04 09	0.81 44	0.00 04
2 3	33.0000	0.85 19	42.3 006	3.744 8	1.10 51	0.03 21	0.86 54	0.01 36
2 4	33.2000	0.88 89	42.5 006	3.749 5	1.13 47	0.03 09	0.87 17	0.01 71
2 5	37.1000	0.92 59	46.4 006	3.837 3	1.68 44	0.01 30	0.95 39	0.02 80
2 6	41.8000	0.96 30	51.1 006	3.933 8	2.28 85	0.00 36	0.98 89	0.02 60

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN

N	26
Δ TEÓRICO	0.0771
Δ TABULAR	0.2667

SE AJUSTA

Figura 45

Distribución Log Normal 3P – Estación Canchán

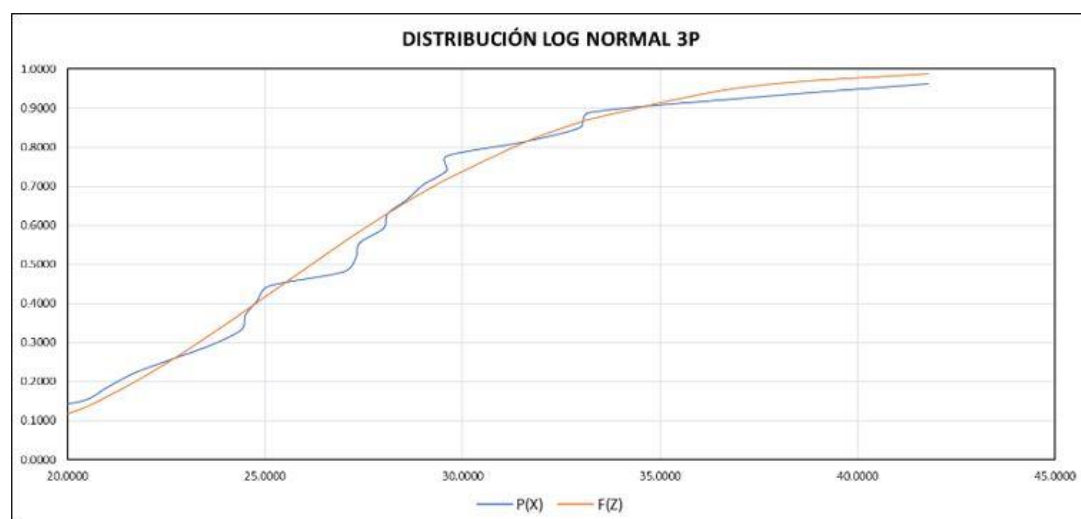


Tabla 45

Distribución Gamma 2P – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	$\ln(X)$	$P(X)$	Media(X)	Mediana($\ln(X)$)	γ	γ	β	$f(X)$	$F(X)$	Δ
1	16.7000	2.81	0.03						0.01	0.02	0.01
		54	70						49	71	00
2	17.7000	2.87	0.07						0.02	0.04	0.02
		36	41						18	53	88
3	18.0000	2.89	0.11						0.02	0.05	0.05
		04	11						42	22	89
4	20.3000	3.01	0.14						0.04	0.13	0.01
		06	81						42	03	78
5	21.0000	3.04	0.18						0.05	0.16	0.02
		45	52						02	34	18
6	21.7000	3.07	0.22						0.05	0.20	0.02
		73	22						59	06	17
7	22.7000	3.12	0.25						0.06	0.26	0.00
		24	93						27	00	07
8	23.7000	3.16	0.29						0.06	0.32	0.02
		55	63	26.611	3.25	0.02	21.40	1.24	76	52	89
9	24.4000	3.19	0.33	5	78	35	43	33	0.06	0.37	0.04
		46	33						97	33	00
10	24.5000	3.19	0.37						0.06	0.38	0.00
		87	04						99	03	99
11	24.8000	3.21	0.40						0.07	0.40	0.00
		08	74						04	14	61
12	25.1000	3.22	0.44						0.07	0.42	0.02
		29	44						07	25	19
13	27.0000	3.29	0.48						0.06	0.55	0.07
		58	15						79	54	39
14	27.3000	3.30	0.51						0.06	0.57	0.05
		69	85						69	56	71
15	27.4000	3.31	0.55						0.06	0.58	0.02
		05	56						65	23	67
16	28.0000	3.33	0.59						0.06	0.62	0.02
		22	26						38	14	88

1	28.1000	3.33	0.62	0.06	0.62	0.00
7		58	96	33	77	19
1	28.6000	3.35	0.66	0.06	0.65	0.00
8		34	67	07	88	79
1	29.0000	3.36	0.70	0.05	0.68	0.02
9		73	37	84	26	11
2	29.6000	3.38	0.74	0.05	0.71	0.02
0		78	07	48	66	41
2	29.6000	3.38	0.77	0.05	0.71	0.06
1		78	78	48	66	12
2	31.6000	3.45	0.81	0.04	0.81	0.00
2		32	48	16	31	17
2	33.0000	3.49	0.85	0.03	0.86	0.01
3		65	19	27	50	32
2	33.2000	3.50	0.88	0.03	0.87	0.01
4		25	89	15	15	74
2	37.1000	3.61	0.92	0.01	0.95	0.02
5		36	59	32	52	93
2	41.8000	3.73	0.96	0.00	0.99	0.02
6		29	30	34	00	71

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	26
Δ TEÓRICO	0.0739
Δ TABULAR	0.2667
SE AJUSTA	

Figura 46

Distribución Gamma 2P – Estación Canchán

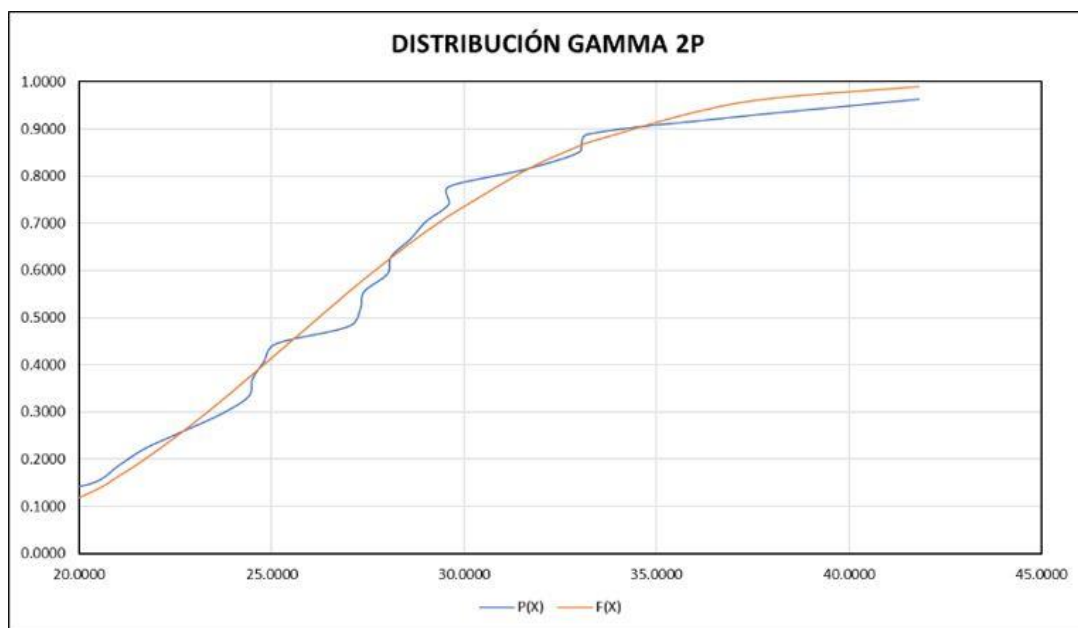


Tabla 46

Distribución Gamma 3P – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	P(X)	Media (X)	S	Cs	X0	(X-X0)	β	γ	f(X)	F(X)	Δ
1	16.7000	0.03					13.02			0.01	0.02	0.00
		70	26.61	5.89	0.51	3.67	53	1.51	15.14	56	72	98
2	17.7000	0.07	15	46	40	47	14.02	49	10	0.02	0.04	0.02
		41					53			30	65	76

3	18.0000	0.11 11	14.32 53	0.02 55	0.05 37	0.05 74
4	20.3000	0.14 81	16.62 53	0.04 58	0.13 55	0.01 26
5	21.0000	0.18 52	17.32 53	0.05 17	0.16 97	0.01 55
6	21.7000	0.22 22	18.02 53	0.05 71	0.20 78	0.01 44
7	22.7000	0.25 93	19.02 53	0.06 33	0.26 81	0.00 89
8	23.7000	0.29 63	20.02 53	0.06 75	0.33 37	0.03 74
9	24.4000	0.33 33	20.72 53	0.06 91	0.38 15	0.04 82
10	24.5000	0.37 04	20.82 53	0.06 92	0.38 84	0.01 81
11	24.8000	0.40 74	21.12 53	0.06 95	0.40 93	0.00 19
12	25.1000	0.44 44	21.42 53	0.06 96	0.43 01	0.01 43
13	27.0000	0.48 15	23.32 53	0.06 60	0.56 01	0.07 86
14	27.3000	0.51 85	23.62 53	0.06 49	0.57 97	0.06 12
15	27.4000	0.55 56	23.72 53	0.06 45	0.58 62	0.03 07
16	28.0000	0.59 26	24.32 53	0.06 18	0.62 41	0.03 15
17	28.1000	0.62 96	24.42 53	0.06 13	0.63 03	0.00 06
18	28.6000	0.66 67	24.92 53	0.05 87	0.66 03	0.00 64
19	29.0000	0.70 37	25.32 53	0.05 65	0.68 33	0.02 04
20	29.6000	0.74 07	25.92 53	0.05 29	0.71 61	0.02 46
21	29.6000	0.77 78	25.92 53	0.05 29	0.71 61	0.06 16
22	31.6000	0.81 48	27.92 53	0.04 04	0.80 95	0.00 53
23	33.0000	0.85 19	29.32 53	0.03 20	0.86 01	0.00 83
24	33.2000	0.88 89	29.52 53	0.03 09	0.86 64	0.02 25
25	37.1000	0.92 59	33.42 53	0.01 36	0.95 01	0.02 42
26	41.8000	0.96 30	38.12 53	0.00 39	0.98 75	0.02 45

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	26
Δ TEÓRICO	0.0786
Δ TABULAR	0.2667
SE AJUSTA	

Figura 47

Distribución Gamma 3P – Estación Canchán

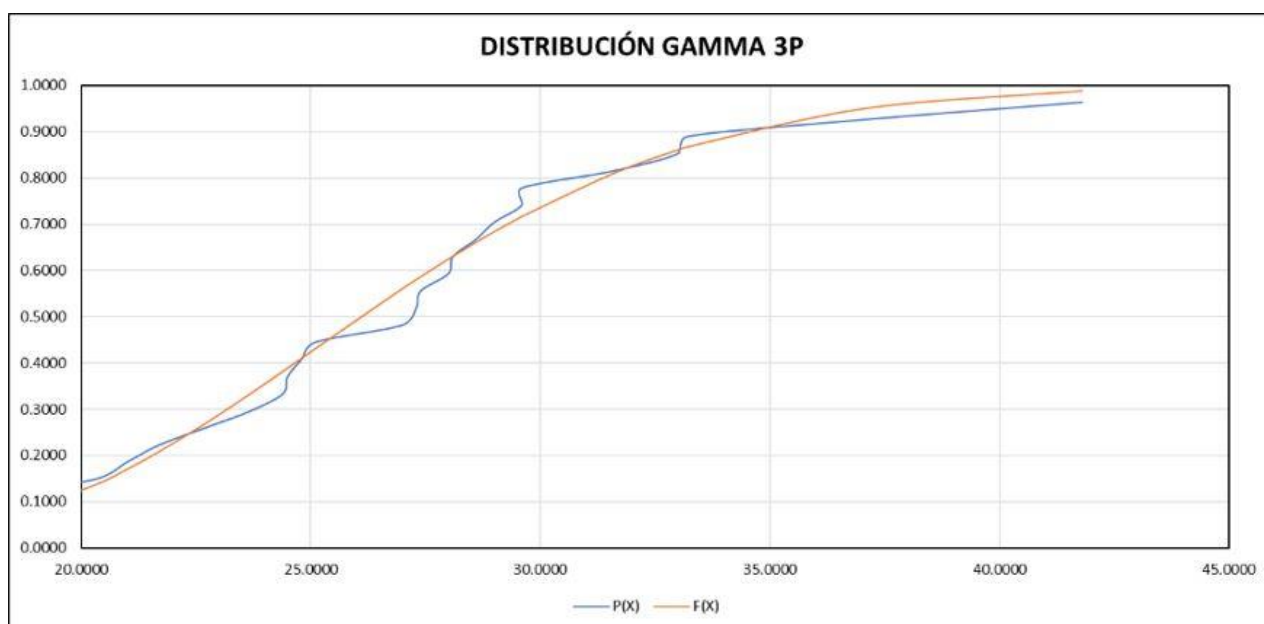


Tabla 47

Distribución Gumbel – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN N	P(X)	Media (X)	S (X)	μ	α	f(X)	F(X)	Δ
1	16.7000	0.037 0	26.61	5.894 6	23.959 0	4.596 0	0.001 4	0.007 8	0.029 2
2	17.7000	0.074 1					0.003 6	0.020 2	0.053 9
3	18.0000	0.111 1					0.004 6	0.025 8	0.085 3
4	20.3000	0.148 1					0.019 3	0.108 9	0.039 2
5	21.0000	0.185 2					0.026 4	0.149 0	0.036 2
6	21.7000	0.222 2					0.034 5	0.195 0	0.027 2
7	22.7000	0.259 3					0.047 5	0.268 4	0.009 2
8	23.7000	0.296 3					0.061 5	0.347 2	0.050 9
9	24.4000	0.333 3					0.071 4	0.403 1	0.069 8
10	24.5000	0.370 4					0.072 8	0.411 1	0.040 7
11	24.8000	0.407 4					0.077 0	0.434 8	0.027 4
12	25.1000	0.444 4					0.081 2	0.458 3	0.013 9
13	27.0000	0.481 5					0.105 7	0.596 9	0.115 4
14	27.3000	0.518 5					0.109 2	0.616 7	0.098 2
15	27.4000	0.555 6					0.110 3	0.623 1	0.067 6

1		0.592	0.116	0.660	0.067
6	28.0000	6	9	3	7
1		0.629	0.118	0.666	0.036
7	28.1000	6	0	2	6
1		0.666	0.123	0.694	0.028
8	28.6000	7	0	7	0
1		0.703	0.126	0.716	0.012
9	29.0000	7	8	1	4
2		0.740	0.132	0.746	0.005
0	29.6000	7	1	0	2
2		0.777	0.132	0.746	0.031
1	29.6000	8	1	0	8
2		0.814	0.146	0.827	0.012
2	31.6000	8	5	2	4
2		0.851	0.153	0.869	0.017
3	33.0000	9	9	5	6
2		0.888	0.154	0.874	0.014
4	33.2000	9	9	7	2
2		0.925	0.167	0.944	0.018
5	37.1000	9	2	3	4
2		0.963	0.173	0.979	0.016
6	41.8000	0	4	6	6

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	26
Δ TEÓRICO	0.1154
Δ TABULAR	0.2667
SE AJUSTA	

Figura 48

Distribución Gumbel – Estación Canchán

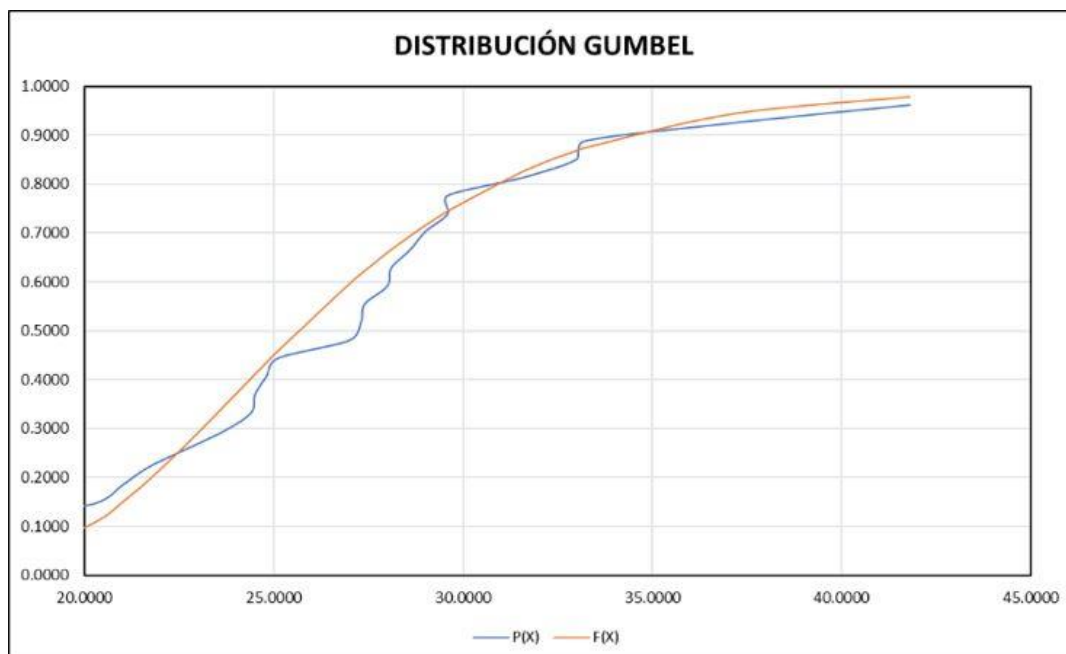


Tabla 48

Distribución Log-Gumbel – Estación Canchán

#	PRECIPITACIÓN	P(X)	Ln(X)	Media Ln(X)	S Ln(X)	μ	α	F(X)	Δ
1	16.7000	0.037	2.815					0.000	0.036
		0	4					7	3
2	17.7000	0.074	2.873					0.005	0.068
		1	6					8	3
3	18.0000	0.111	2.890					0.009	0.101
		1	4					3	8
4	20.3000	0.148	3.010					0.096	0.051
		1	6					7	5
5	21.0000	0.185	3.044					0.146	0.038
		2	5					4	8
6	21.7000	0.222	3.077					0.203	0.018
		2	3					8	4
7	22.7000	0.259	3.122					0.293	0.034
		3	4					3	1
8	23.7000	0.296	3.165					0.384	0.088
		3	5					3	0
9	24.4000	0.333	3.194					0.445	0.112
		3	6					5	2
10	24.5000	0.370	3.198					0.454	0.083
		4	7					0	6
11	24.8000	0.407	3.210					0.478	0.071
		4	8					9	5
12	25.1000	0.444	3.222					0.503	0.058
		4	9					2	7
13	27.0000	0.481	3.295					0.637	0.155
		5	8					1	6
14	27.3000	0.518	3.306	3.2578	0.2223	3.157	0.173	0.655	0.136
		5	9			7	4	1	5
15	27.4000	0.555	3.310					0.660	0.105
		6	5					9	3
16	28.0000	0.592	3.332					0.693	0.101
		6	2					8	2
17	28.1000	0.629	3.335					0.699	0.069
		6	8					0	4
18	28.6000	0.666	3.353					0.723	0.057
		7	4					6	0
19	29.0000	0.703	3.367					0.741	0.038
		7	3					9	2
20	29.6000	0.740	3.387					0.767	0.026
		7	8					0	2
21	29.6000	0.777	3.387					0.767	0.010
		8	8					0	8
22	31.6000	0.814	3.453					0.833	0.018
		8	2					6	8
23	33.0000	0.851	3.496					0.867	0.016
		9	5					9	0
24	33.2000	0.888	3.502					0.872	0.016
		9	5					1	8
25	37.1000	0.925	3.613					0.930	0.004
		9	6					4	5
26	41.8000	0.963	3.732					0.964	0.001
		0	9					4	5

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	26
Δ TEÓRICO	0.1556
Δ TABULAR	0.2667
SE AJUSTA	

Figura 49

Distribución Log-Gumbel – Estación Canchán

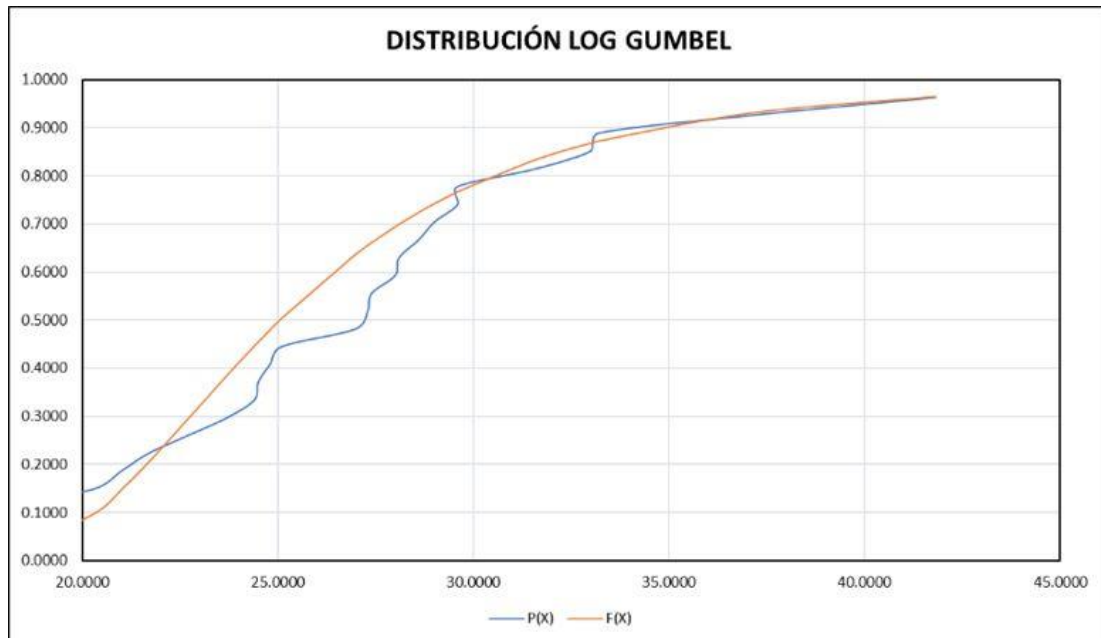


Figura 50

Hietograma Pr=10 años

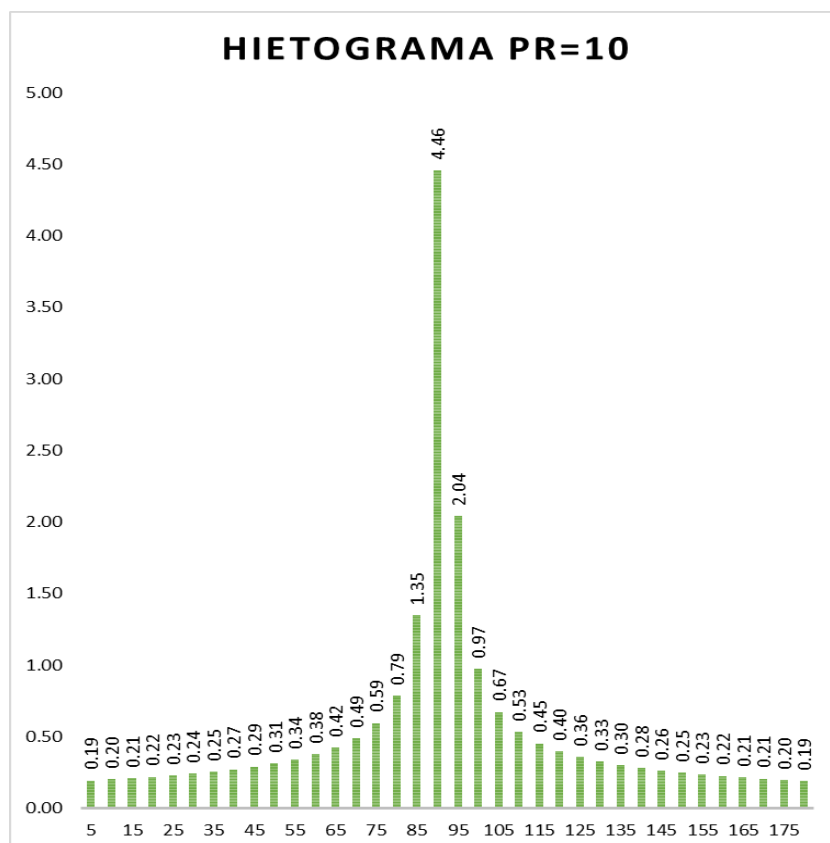


Figura 51

Hietograma Pr=25 años

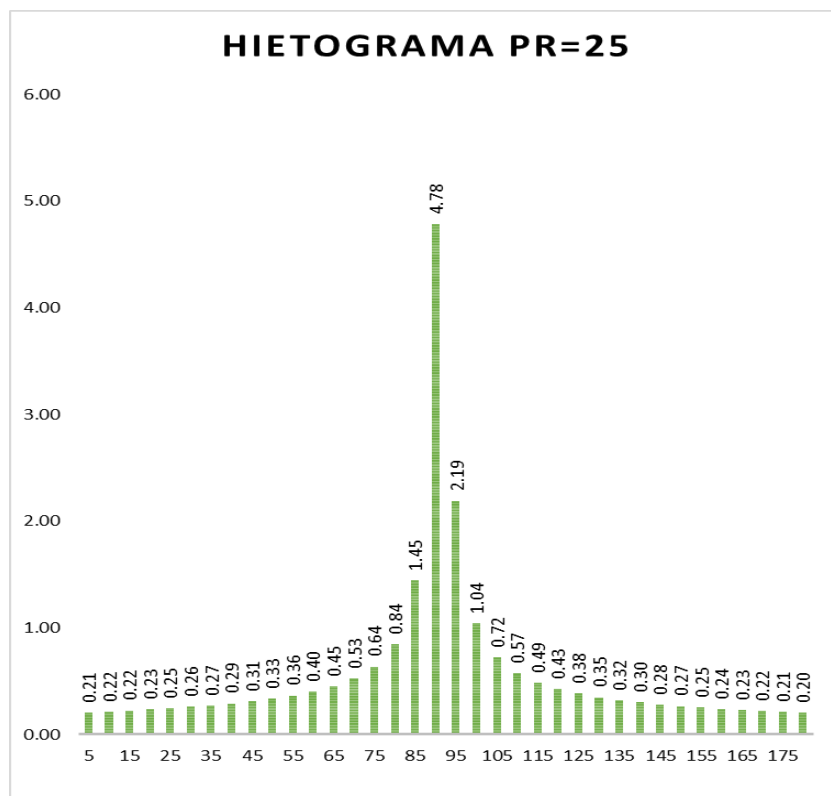


Figura 52

Hietograma Pr=50 años

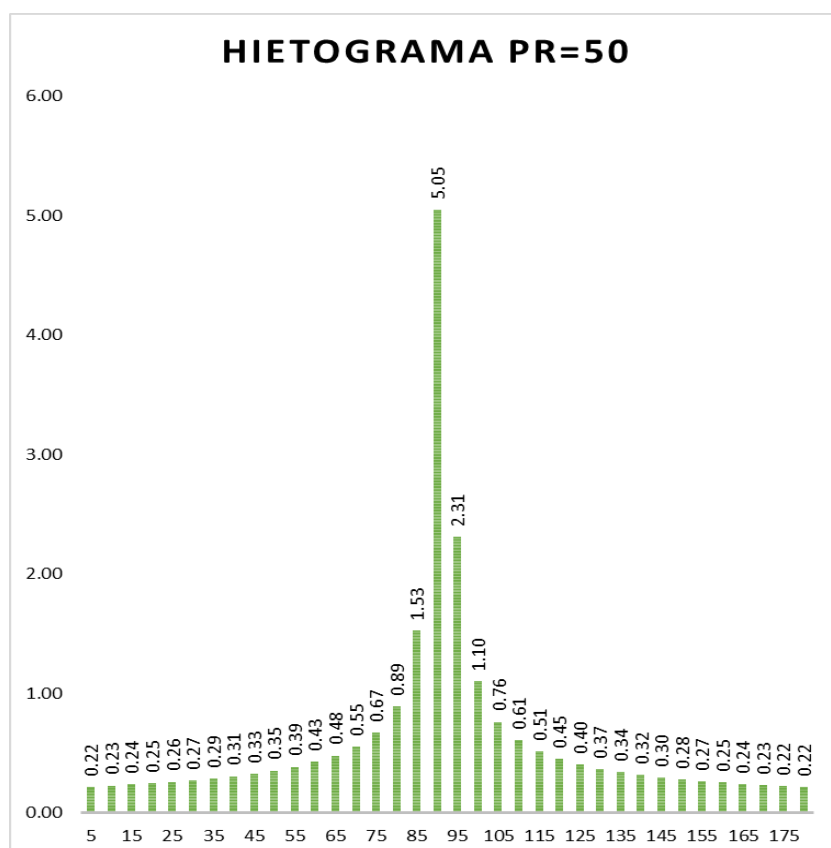


Figura 53

Hietograma Pr=100 años

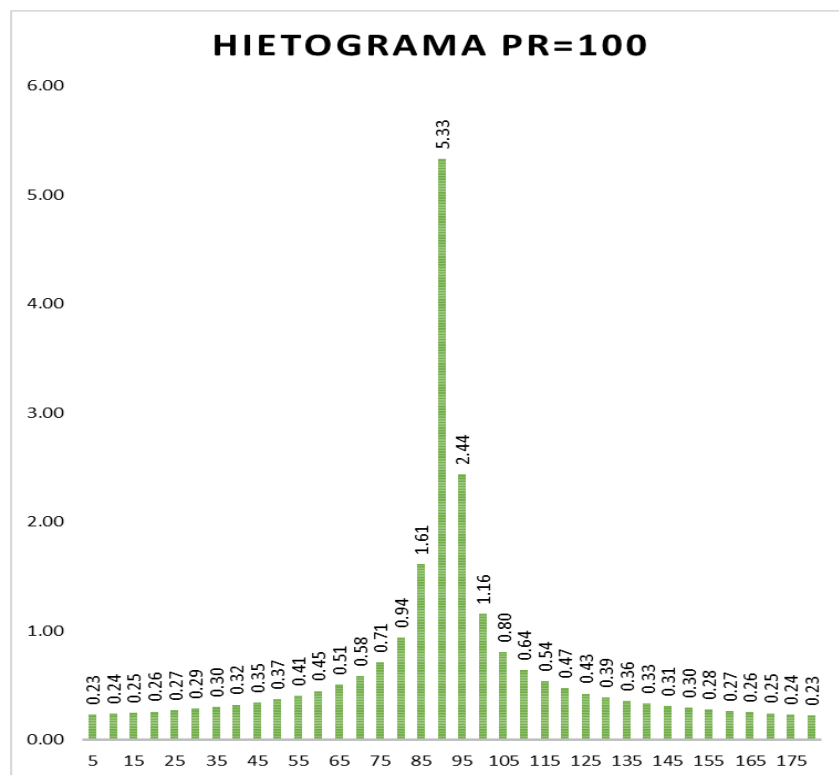


Figura 54

Hietograma Pr=500 años

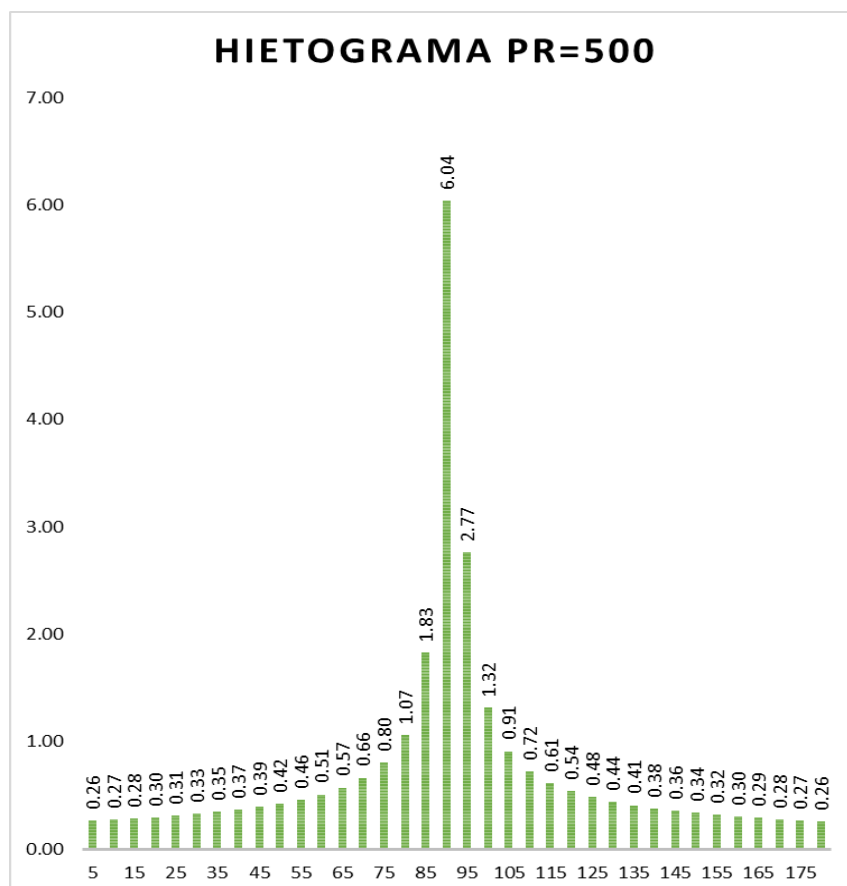


Figura 55

Caudal PR=10 años – SRTM

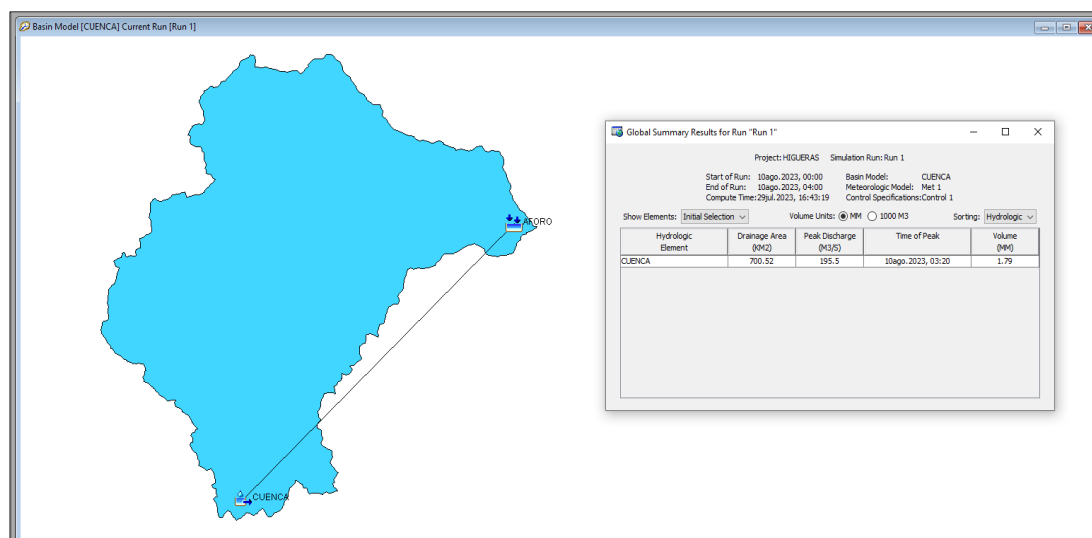


Figura 56

Caudal PR=25 años – SRTM

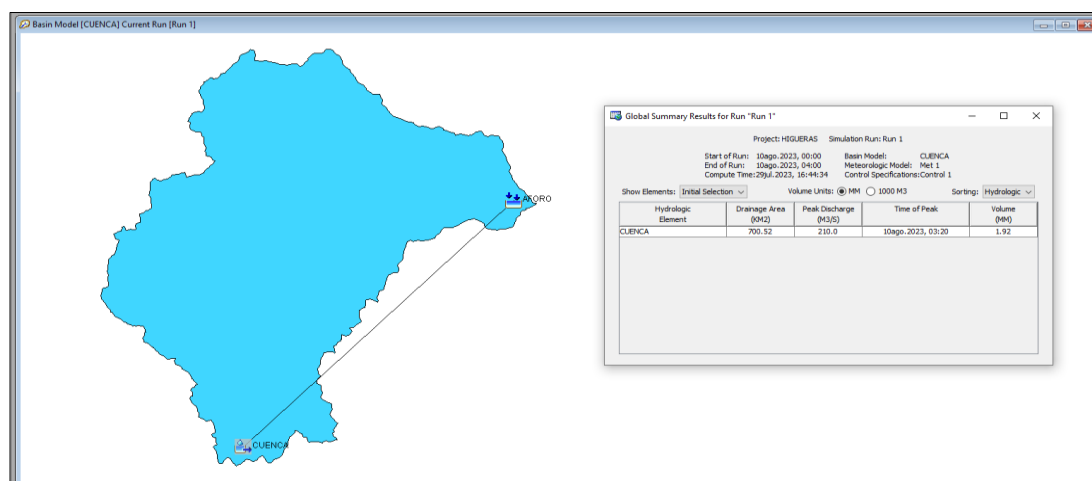


Figura 57

Caudal PR=50 años – SRTM

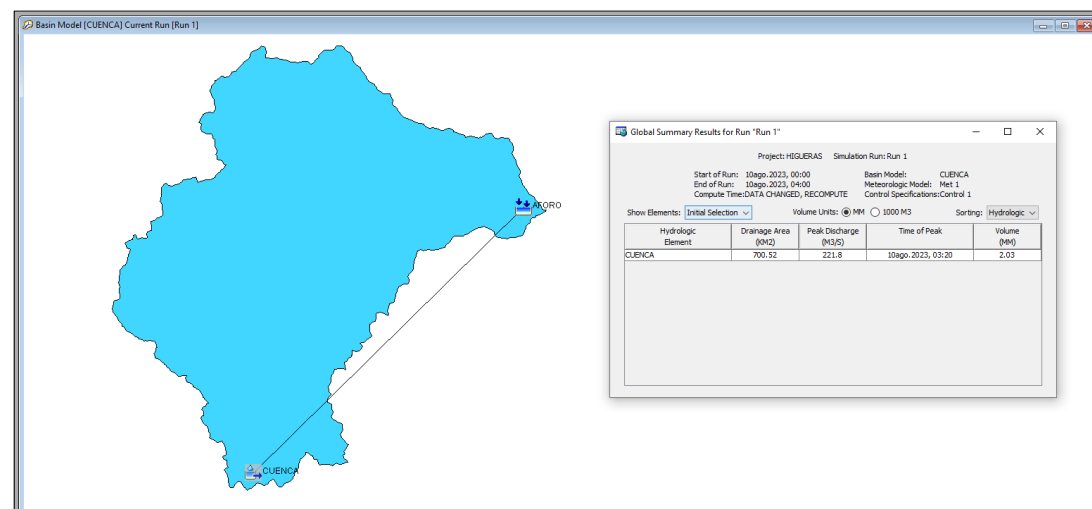


Figura 58

Caudal PR=100 años – SRTM

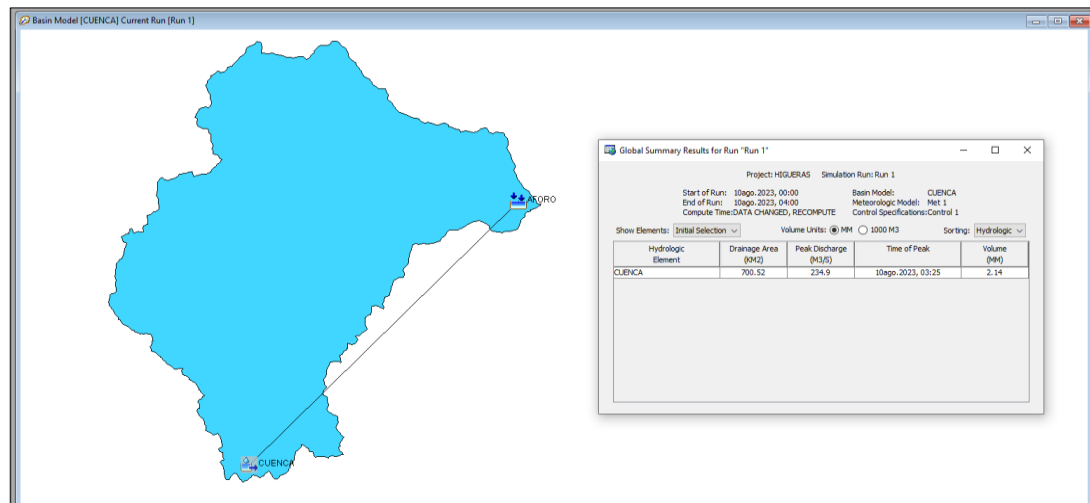


Figura 59

Caudal PR=500 años – SRTM

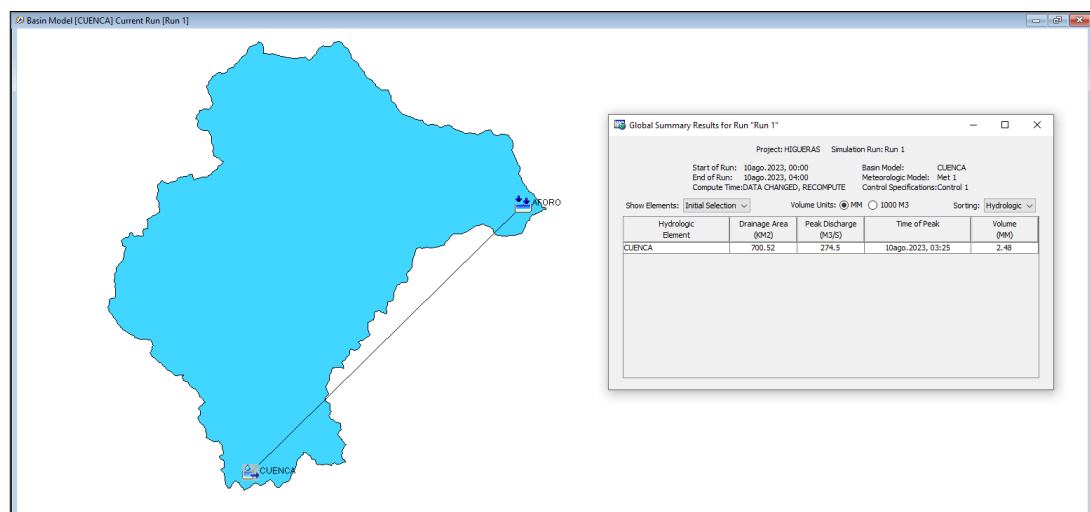


Figura 60

Caudal PR=10 años – ASTER GDEM

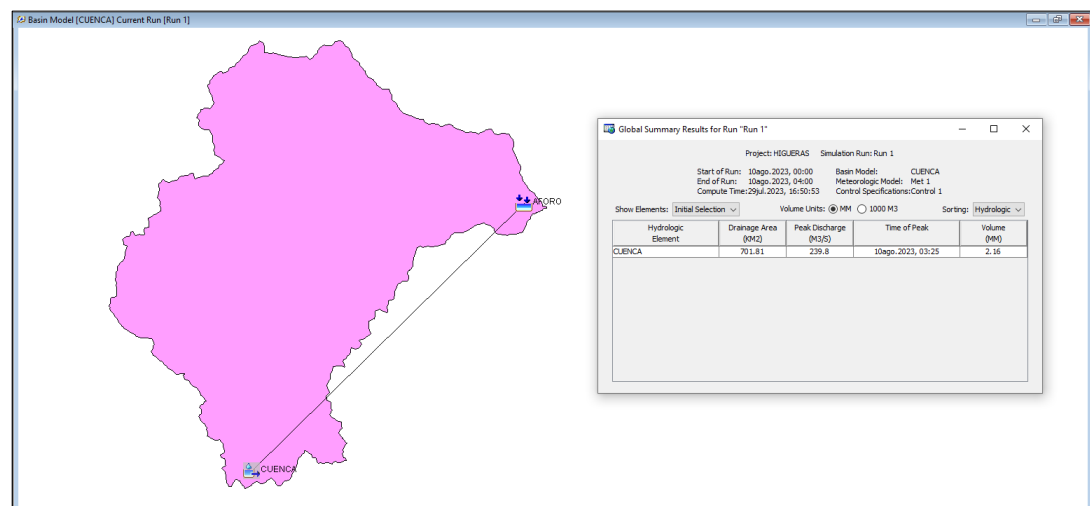


Figura 61

Caudal PR=25 años – ASTER GDEM

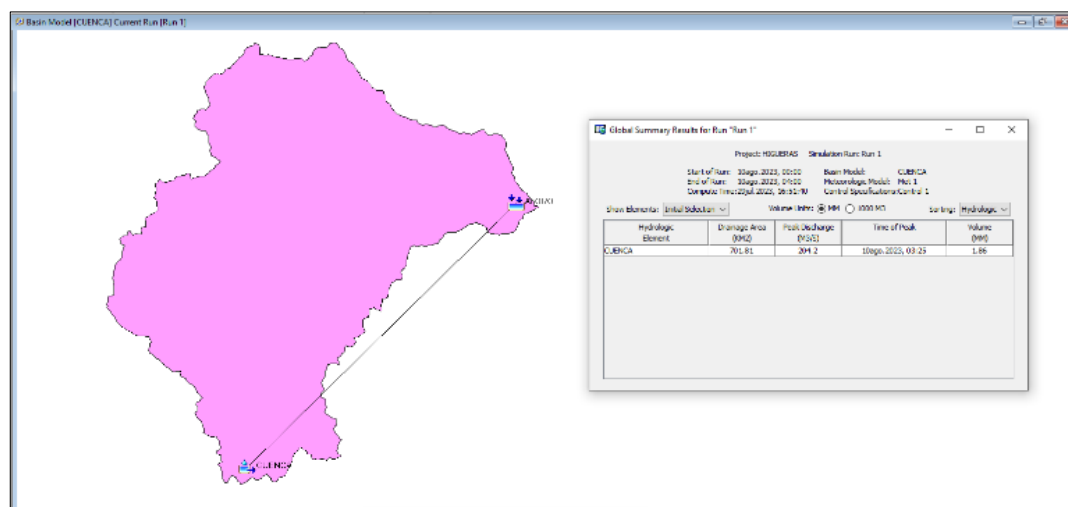


Figura 62

Caudal PR=50 años – ASTER GDEM

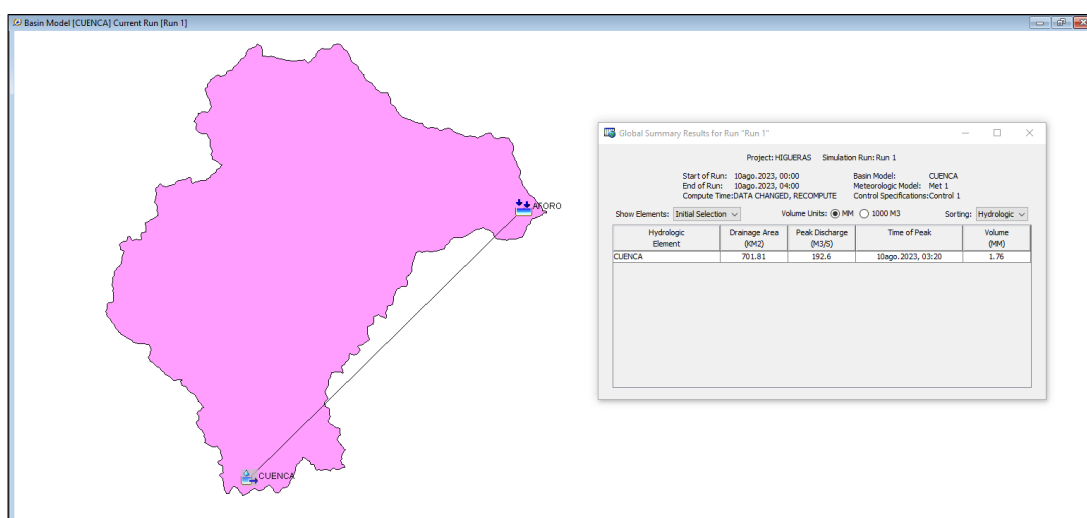


Figura 63

Caudal PR=100 años – ASTER GDEM

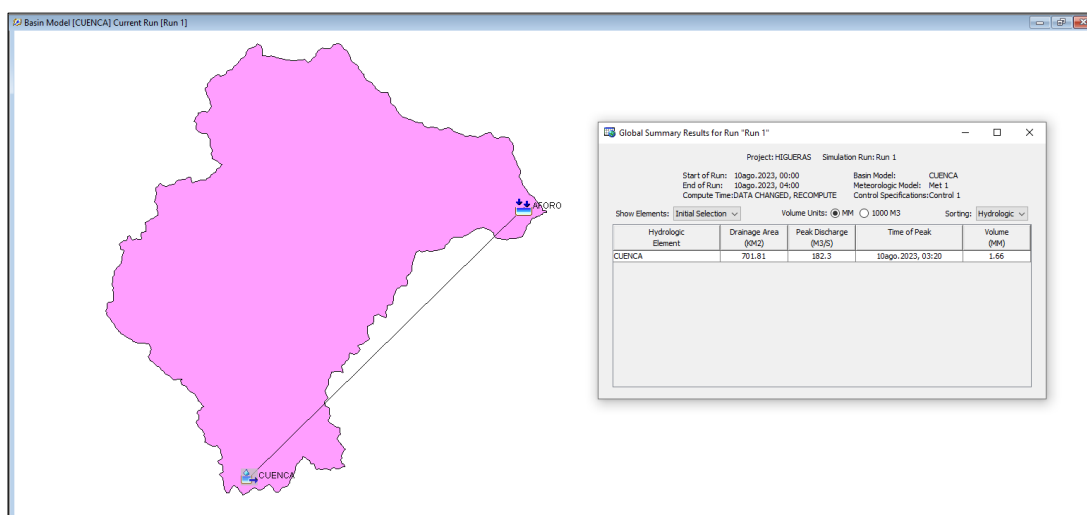


Figura 64

Caudal PR=500 años – ASTER GDEM

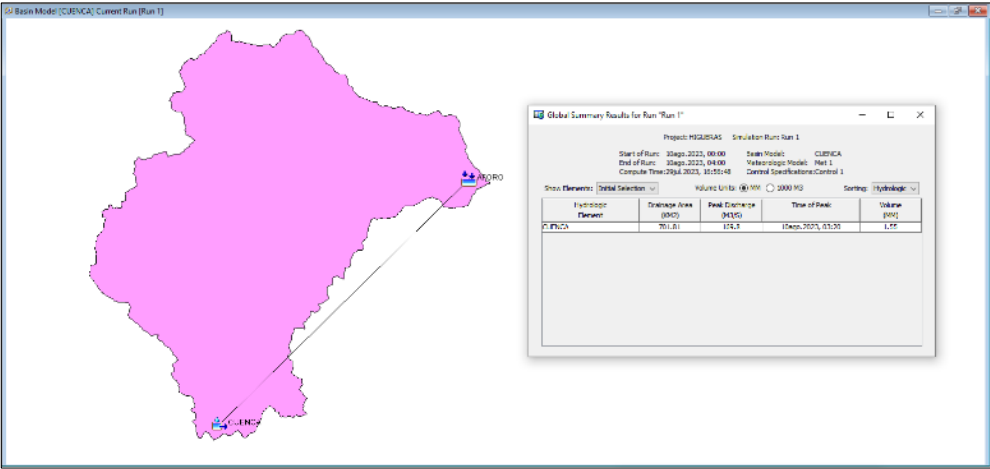


Tabla 49

Perfil de cauce

PERFIL DE CAUCE PRINCIPAL - ASTER GDEM		PERFIL DE CAUCE PRINCIPAL - SRTM	
PROGRESIVA	ALTITUD	PROGRESIVA	ALTITUD
0+000.00	2995.00	0+000.00	3001.00
0+027.52	2996.00	0+022.74	3000.67
0+055.05	2991.50	0+045.48	2998.56
0+082.57	2986.63	0+068.21	2995.00
0+110.10	2978.00	0+098.67	2992.00
0+140.55	2976.00	0+129.12	2992.00
0+171.00	2976.00	0+159.57	2992.00
0+201.45	2976.00	0+190.02	2992.00
0+231.91	2972.00	0+220.48	2992.00
0+262.36	2972.00	0+250.93	2992.00
0+292.81	2972.00	0+281.38	2992.00
0+321.65	2972.89	0+311.83	2992.00
0+350.49	2968.56	0+342.28	2992.00
0+379.33	2963.00	0+372.74	2992.00
0+406.86	2963.61	0+403.19	2992.00
0+434.40	2963.33	0+433.64	2992.00
0+461.94	2963.08	0+464.09	2992.00
0+489.48	2963.45	0+491.13	2992.00
0+517.02	2963.94	0+518.17	2992.00
0+544.55	2963.94	0+545.20	2992.00
0+572.09	2963.00	0+572.24	2992.00
0+602.37	2963.00	0+599.27	2992.00
0+632.65	2965.64	0+626.31	2992.00
0+662.93	2963.81	0+653.34	2992.23
0+693.21	2964.44	0+680.38	2992.00
0+723.49	2963.25	0+710.83	2992.00
0+753.77	2963.00	0+741.28	2992.00
0+784.05	2963.00	0+770.12	2993.11
0+814.33	2963.48	0+798.96	2992.00
0+844.61	2963.42	0+827.80	2992.00

0+874.89	2963.00	0+856.64	2992.00
0+896.52	2963.25	0+885.47	2992.00
0+918.15	2962.00	0+914.31	2992.00
0+940.89	2970.11	0+943.15	2992.00
0+963.63	2968.22	0+971.99	2992.44
0+986.36	2962.00	1+000.83	2992.00
1+016.25	2962.16	1+025.09	2992.56
1+046.14	2963.13	1+049.36	2991.00
1+076.02	2963.03	1+073.63	2987.19
1+105.91	2962.00	1+097.89	2982.00
1+135.79	2962.28	1+127.10	2979.58
1+165.68	2962.00	1+156.31	2977.40
1+195.56	2962.75	1+185.52	2974.78
1+225.45	2962.00	1+214.73	2973.72
1+256.17	2947.00	1+243.94	2969.75
1+286.89	2946.00	1+273.15	2963.88
1+316.56	2946.92	1+302.36	2960.51
1+346.22	2946.00	1+331.57	2960.08
1+375.89	2946.00	1+360.78	2960.00
1+405.55	2947.67	1+389.98	2960.00
1+435.21	2948.58	1+419.19	2960.00
1+464.88	2939.00	1+448.40	2960.00
1+493.72	2941.00	1+477.61	2960.00
1+522.55	2940.11	1+506.82	2960.00
1+551.39	2935.00	1+536.03	2960.00
1+580.23	2931.89	1+565.24	2960.00
1+609.07	2926.44	1+594.45	2960.02
1+637.91	2922.00	1+623.66	2960.00
1+662.17	2923.38	1+652.87	2960.12
1+686.44	2923.50	1+682.08	2955.00
1+710.71	2922.69	1+710.99	2948.25
1+734.97	2921.00	1+739.91	2943.12
1+760.86	2919.83	1+768.82	2937.84
1+786.75	2919.78	1+797.74	2932.56
1+812.64	2918.25	1+826.66	2927.00
1+838.53	2918.67	1+855.57	2920.60
1+864.42	2918.17	1+884.49	2915.38
1+890.31	2908.00	1+913.40	2912.36
1+917.83	2905.75	1+942.32	2908.49
1+945.35	2898.00	1+971.23	2903.00
1+972.88	2897.50	1+999.06	2903.21
2+000.40	2897.00	2+026.88	2903.21
2+027.93	2898.63	2+054.71	2903.07
2+055.45	2898.00	2+082.53	2903.17
2+082.98	2899.25	2+110.36	2902.84
2+110.50	2895.00	2+138.18	2901.66
2+137.91	2895.00	2+166.01	2899.13
2+165.32	2895.00	2+193.83	2896.21
2+192.72	2895.00	2+221.66	2895.51
2+220.13	2893.20	2+249.48	2895.20
2+247.54	2892.00	2+277.31	2895.00
2+274.95	2889.60	2+298.94	2895.00
2+302.36	2885.10	2+320.57	2895.00
2+329.76	2882.40	2+348.75	2895.18

2+357.17	2880.00	2+376.93	2896.12
2+384.58	2880.00	2+405.11	2895.38
2+412.10	2880.38	2+433.29	2894.20
2+439.63	2880.00	2+461.47	2891.50
2+467.15	2880.25	2+489.65	2889.20
2+494.68	2879.00	2+517.84	2886.22
2+522.99	2880.48	2+546.02	2884.60
2+551.31	2880.03	2+574.20	2882.90
2+579.63	2880.30	2+602.38	2880.00
2+607.95	2876.57	2+629.81	2880.24

Tabla 50

Ubicación planimétrica

ASTER GDEM			SRTM		
ESTE	NORTE	COTA	ESTE	NORTE	COTA
339490.21	8893493.93	3001.00	339429.44	8893462.93	2995.00
339510.46	8893504.26	3000.67	339452.21	8893478.40	2996.00
339530.72	8893514.59	2998.56	339474.98	8893493.86	2991.50
339550.97	8893524.92	2995.00	339497.75	8893509.32	2986.63
339581.43	8893525.05	2992.00	339520.52	8893524.78	2978.00
339611.88	8893525.19	2992.00	339550.97	8893524.92	2976.00
339642.33	8893525.32	2992.00	339581.43	8893525.05	2976.00
339672.78	8893525.46	2992.00	339611.88	8893525.19	2976.00
339703.23	8893525.59	2992.00	339642.33	8893525.32	2972.00
339733.69	8893525.73	2992.00	339672.78	8893525.46	2972.00
339764.14	8893525.86	2992.00	339703.23	8893525.59	2972.00
339794.59	8893526.00	2992.00	339723.63	8893505.20	2972.89
339825.04	8893526.13	2992.00	339744.02	8893484.81	2968.56
339855.49	8893526.27	2992.00	339764.41	8893464.42	2963.00
339885.95	8893526.40	2992.00	339790.47	8893473.32	2963.61
339916.40	8893526.54	2992.00	339816.54	8893482.21	2963.33
339946.85	8893526.67	2992.00	339842.60	8893491.10	2963.08
339965.80	8893545.96	2992.00	339868.66	8893500.00	2963.45
339984.74	8893565.25	2992.00	339894.72	8893508.89	2963.94
340003.69	8893584.53	2992.00	339920.79	8893517.78	2963.94
340022.64	8893603.82	2992.00	339946.85	8893526.67	2963.00
340041.59	8893623.10	2992.00	339968.07	8893548.27	2963.00
340060.53	8893642.39	2992.00	339989.29	8893569.87	2965.64
340079.48	8893661.67	2992.23	340010.51	8893591.47	2963.81
340098.43	8893680.96	2992.00	340031.73	8893613.07	2964.44
340128.88	8893681.09	2992.00	340052.96	8893634.67	2963.25
340159.33	8893681.23	2992.00	340074.18	8893656.27	2963.00
340179.54	8893701.80	2993.11	340095.40	8893677.87	2963.00
340199.76	8893722.37	2992.00	340116.62	8893699.47	2963.48
340219.97	8893742.94	2992.00	340137.84	8893721.07	2963.42
340240.18	8893763.51	2992.00	340159.06	8893742.67	2963.00
340260.39	8893784.08	2992.00	340174.36	8893727.38	2963.25
340280.60	8893804.65	2992.00	340189.65	8893712.08	2962.00
340300.81	8893825.22	2992.00	340209.91	8893722.41	2970.11
340321.02	8893845.79	2992.44	340230.16	8893732.74	2968.22
340341.23	8893866.36	2992.00	340250.42	8893743.07	2962.00
340348.74	8893889.44	2992.56	340269.35	8893766.20	2962.16
340356.25	8893912.51	2991.00	340288.28	8893789.32	2963.13

340363.77	8893935.59	2987.19	340307.21	8893812.45	2963.03
340371.28	8893958.66	2982.00	340326.14	8893835.57	2962.00
340392.51	8893978.72	2979.58	340345.07	8893858.70	2962.28
340413.73	8893998.79	2977.40	340364.00	8893881.82	2962.00
340434.96	8894018.85	2974.78	340382.93	8893904.95	2962.75
340456.19	8894038.91	2973.72	340401.87	8893928.07	2962.00
340477.42	8894058.98	2969.75	340401.73	8893958.80	2947.00
340498.65	8894079.04	2963.88	340401.59	8893989.52	2946.00
340519.88	8894099.10	2960.51	340426.90	8894004.99	2946.92
340541.11	8894119.17	2960.08	340452.21	8894020.46	2946.00
340562.33	8894139.23	2960.00	340477.52	8894035.94	2946.00
340583.56	8894159.29	2960.00	340502.83	8894051.41	2947.67
340604.79	8894179.35	2960.00	340528.14	8894066.88	2948.58
340626.02	8894199.42	2960.00	340553.45	8894082.35	2939.00
340647.25	8894219.48	2960.00	340573.66	8894102.92	2941.00
340668.48	8894239.54	2960.00	340593.87	8894123.49	2940.11
340689.71	8894259.61	2960.00	340614.08	8894144.07	2935.00
340710.93	8894279.67	2960.00	340634.29	8894164.64	2931.89
340732.16	8894299.73	2960.02	340654.51	8894185.21	2926.44
340753.39	8894319.79	2960.00	340674.72	8894205.78	2922.00
340774.62	8894339.86	2960.12	340682.23	8894228.85	2923.38
340795.85	8894359.92	2955.00	340689.74	8894251.93	2923.50
340823.22	8894369.26	2948.25	340697.25	8894275.00	2922.69
340850.58	8894378.59	2943.12	340704.76	8894298.07	2921.00
340877.95	8894387.93	2937.84	340730.12	8894303.31	2919.83
340905.32	8894397.27	2932.56	340755.47	8894308.54	2919.78
340932.68	8894406.61	2927.00	340780.83	8894313.77	2918.25
340960.05	8894415.94	2920.60	340806.18	8894319.00	2918.67
340987.42	8894425.28	2915.38	340831.54	8894324.23	2918.17
341014.78	8894434.62	2912.36	340856.89	8894329.47	2908.00
341042.15	8894443.95	2908.49	340879.66	8894344.93	2905.75
341069.52	8894453.29	2903.00	340902.43	8894360.39	2898.00
341097.19	8894456.20	2903.21	340925.21	8894375.85	2897.50
341124.86	8894459.12	2903.21	340947.98	8894391.31	2897.00
341152.53	8894462.03	2903.07	340970.75	8894406.77	2898.63
341180.21	8894464.95	2903.17	340993.52	8894422.23	2898.00

ANEXO 4

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 65

Inicio de recorrido de zona de interés



Figura 66

Identificación de las zonas cercanas al cauce



Figura 67

Reconocimiento topográfico de la zona



Figura 68

Estacionamiento de estación total



Figura 69

Primer tramo de levantamiento topográfico



Figura 70

Levantamiento de márgenes de cauce



Figura 71

Inicio de levantamiento segundo día



Figura 72

Levantamiento de cauce



Figura 73

Levantamiento de cauce aguas arriba



Figura 74

Verificación de nivel de cauce



Figura 75

Recorrido de identificación de características de bancos de cauce



Figura 76

Identificación de edificaciones vulnerables



Figura 77

Identificación de viviendas vulnerables

