UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

"COMPARACIÓN DE LA DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA SABALILLO CON ARCGIS 10.3 Y QGIS 2.18 MEDIANTE DATOS SRTM Y DATOS REGISTRADOS EN GPS map 62sc EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – REGIÓN HUÁNUCO"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

FAUSTO ANTONIO DA SILVA CHOSNA

PUCALLPA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 378

En la ciudad de Pucallpa, sala de docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales – UNU, siendo las 9:00 am del día viernes 12 de octubre del 2018. Se reunieron los miembros del Jurado Evaluador conformado por los siguientes docentes:

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza	**Presidente**
Ing. Mg. Gabriel Mercado Jáuregui	**Miembro**
Dr. Fredy Helar Velásquez Ramirez	**Miembro**

Para evaluar la sustentación y defensa del Trabajo de Investigación denominado**: "COMPARACIÓN DE LA DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA SABALILLO CON ARCGIS 10.3 Y QGIS 2.18 MEDIANTE DATOS SRTM Y DATOS REGISTRADOS EN GPS map 62sc EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – REGIÓN HUÁNUCO",** presentado por el Bachiller **FAUSTO ANTONIO DA SILVA CHOSNA.**

Terminada la sustentación de la tesis se procedió a la formulación de las preguntas por parte del Jurado, las cuales fueron absueltas por el sustentante. Por esta razón el Jurado ha decidido que la Tesis sea **APROBADA POR UNANIMIDAD** con el calificativo de **MUY BUENO**, declarando al sustentante apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**, siendo asesorado por el **Dr. Fernando Velásquez De La Cruz** y co-asesorado por el Ing. Francisco Da Silva Chosna.

Siendo las 10:15 am del mismo día, se dio por concluido el acto académico firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

.....
Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Presidente

.....
Ing. Mg. Gabriel Mercado Jáuregui
Miembro

.....
Dr. Fredy Velásquez Ramírez
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el jurado calificador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza ……
Presidente

Ing. Mg. Gabriel Mercado Jáuregui ……
Miembro

Dr. Fredy Helar Velásquez Ramírez ……
Miembro

Dr. Fernando Velásquez De La Cruz ……
Asesor

Ing. Francisco Da Silva Chosna ……
Co-Asesor

Bach. Fausto Antonio Da Silva Chosna ……
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/081-2020

La **Dirección General de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), Titulado:

"COMPARACION DE LA DELIMITACION DE LA MICROCUENCA SABALILLO CON ARCGIS 10.3 Y QGIS 2.18 MEDIANTE DATOS SRTM Y DATOS REGISTRADOS EN GPS map 62sc EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – REGION HUANUCO".

Cuyo Autor (es)	:	**DA SILVA CHOSNA, FAUSTO ANTONIO**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	INGENIERIA FORESTAL
Asesor(a)	:	Dr. Velásquez de la Cruz, Fernando

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 10%.**
En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se entrega la presente constancia.

Fecha: 07/08/2020

Dra. DINA PARI QUISPE
Dirección General de Producción Intelectual

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Fausto Antonio Da Silva Chosna

Autor de la TESIS titulada:

"Comparación de la Delimitación de la Microcuenca Sabalillo con ArcGis 10.3 y QGis 2.18 Mediante Datos SRTM y Datos Registrados en GPS map 62sc en la Reserva Comunal El Sira - Región Huánuco"

Sustentada el año: 2018

Con la asesoría de: Dr. Fernando Velásquez de la Cruz

En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales

Carrera Profesional de: Ingeniería Forestal.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- [X] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.
En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 07 / 09 / 2020

Email: mirosda0106@gmail.com

Firma:

Teléfono: 945-338917

DNI: 44172401

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir bajo su protección y bendición y orientar mi camino para salir adelante en lo personal y profesional, así mismo por ser mi guía en todas mis acciones y metas que deseo alcanzar.

A mis padres Francisco y Rosa Esther, por todo su amor y apoyo incondicional que me brindan, también a todos mis siete hermanos que creyeron en mí y me apoyaron en todo momento para la culminación de mis estudios universitarios.

A mi hijo Ángel Mirosmar, quien es mi razón de vivir y luchar cada día sin cesar, que sin su motivación no hubiera sido posible la culminación de los mismos.

AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso, que me da lucidez, salud y protección para poder trazarme metas y permitirme concluirlas guiándome en cada momento, impulsándome siempre para abatir cada obstáculo que se presente en mi trayectoria de vida.

A los Docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme sus conocimientos y haber contribuido en mi formación profesional.

Al Dr. Fernando Velázquez De La Cruz, asesor de la presente tesis, por su enorme apoyo en todo momento.

Al Ing. Francisco Da Silva Chosna, co-asesor, por el destacado apoyo en el desarrollo de la presente tesis.

Al Bach. Julio Javier Sánchez Sánchez, por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente estudio de investigación.

Al SERNANP, Jefatura de la Reserva Comunal El Sira (RCS), por facilitarme la logística necesaria para el desarrollo de la presente tesis.

A todas las personas que de una u otra manera han colaborado con la ejecución del presente estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA……vi
AGRADECIMIENTO……vii
ÍNDICE DE CONTENIDO……viii
ÍNDICE DE FIGURAS……x
ÍNDICE DE TABLAS……xi
RESUMEN……xii
ABSTRACT……xiii
INTRODUCCIÓN……1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……2
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA……2
1.2. OBJETIVOS……3
1.2.1. Objetivo General……3
1.2.2. Objetivos Específicos……3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO…… 4
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA…… 4
2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO……4
2.2.1. Sistema de Información Geográfica……4
2.2.2. Modelos de Datos Geográficos……5
2.2.3. Modelos Digitales de Terreno……9
2.2.3.1. Datos para un Modelo Digital de Terreno……9
2.2.3.2. Interpolación Espacial……11
2.2.3.3. Modelos de Elevación Digital……11
2.2.4. Datos Satelitales de Elevación Digital……12
2.2.5. Datos del SRTM……12
2.2.6. Cuencas……15
2.2.6.1. Concepto de una cuenca…… 15
2.2.6.2. Cuenca hidrográfica……15
2.2.6.3. Principales características de una cuenca…… 16
2.2.6.4. Elementos de una cuenca…… 16
2.2.6.5. Partes de una cuenca…… 18
2.2.6.6. Tipos de una cuenca…… 19

2.2.7. Software ArcGIS……20
2.2.7.1. Herramientas de ArcGIS……21
2.2.8. Software QGIS……21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS……23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA……25
3.1. ÁREA DE ESTUDIO……25
3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN……26
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA……26
3.3.1. Población……26
3.3.2. Muestra……26
3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS……26
3.4.1. Materiales……26
3.4.2. Equipos……26
3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS……27
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS……28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN……31
4.1. IMAGEN DEM SRTM OBTENIDA CON EL GLOBAL MAPPER 18.0……31
4.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON EL GPS MAP 62SC GARMIN……32
4.3. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON HYDROLOGY (ARCGIS)……33
4.4. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON R.WATERSHED (QGIS)……34
4.5. CÁLCULO DE ERRORES DE LA HERRAMIENTA HYDROLOGY……35
4.6. CÁLCULO DE ERRORES DE LA HERRAMIENTA R.WATERSHED……36
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……38
5.1. CONCLUSIONES……38
5.2. RECOMENDACIONES……39
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA……40
ANEXOS……43

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto:

		Pág.
Figura 1.	Interpretación cartográfica ráster y vectorial de elementos geográficos……	7
Figura 2.	Dimensión espacial de datos en un SIG……	7
Figura 3.	Esquema general de un SIG indicando las capas temáticas que lo integran……..	8
Figura 4.	Modelo digital de elevación……	10
Figura 5.	Ejemplo de cuenca hidrográfica……	15
Figura 6.	Partes de una cuenca hidrográfica……	19
Figura 7.	Mapa de ubicación de la Reserva Comunal El Sira……..	25
Figura 8.	Metodología – Software Global Mapper 18.0……..	28
Figura 9.	Imagen DEM superpuesta sobre el área de la Reserva Comunal El Sira……	31
Figura 10.	Mapa de delimitación de la microcuenca “Sabalillo” con el GPS map 62sc Garmin……..	32
Figura 11.	Delimitación de la micro-cuenca “Sabalillo” con Hydrology..	33
Figura 12.	Delimitación de la microcuenca “Sabalillo” con R.Watershed……	34
Figura 13.	Errores de los ejes X, Y obtenidos con Hydrology…..…….	36
Figura 14.	Errores de los ejes X, Y obtenidos con R.Watershed…..….	37

En el anexo:

Figura 15.	Tesista y equipo técnico del SERNANP – RCS	49
Figura 16.	Vigilantes Comunales de apoyo al equipo técnico del SERNANP…….	49
Figura 17.	Llegada a la quebrada “Sabalillo”, que vierte sus aguas en el río Yuyapichis……..	50
Figura 18.	Personal Guardaparque del SERNANP y Tesista……..	50
Figura 19.	Tesista tomando Datos Track de la quebrada Sabalillo……	51
Figura 20.	Tesista tomando Datos Track de la Divisoria de la Cuenca…….….	51

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Errores de Geoubicación de los centroides obtenidos con la herramienta Hydrology de ArcGÍS 10.3…….. 35

Tabla 2. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con la herramienta R.Watershed de QGIS 2.18……. 36

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal delimitar la cuenca de la quebrada Sabalillo, utilizando la plataforma del software ArcGÍS 10.3 y QGIS 2.18 respectivamente. Se compararon dos métodos de delimitación de la micro cuenca de la quebrada “Sabalillo”, el primero con la herramienta Hydrology (ArcGÍS 10.3) y el segundo con la herramienta R.Watershed (QGIS 2.18), tomando como referencia, la delimitación en el campo con GPSmap 62sc Garmin. Se utilizó un método de investigación experimental y comparativa. La población en estudio fueron todos los puntos de coordenadas X, Y correspondientes al área de la Reserva Comunal El Sira, tomados de los datos del SRTM con 30 metros de pixel y la muestra comprendió las coordenadas X, Y de 24 puntos más elevados de la línea divisoria de cuencas tomados desde el inicio de la cuenca hasta el final de la misma con el GPSmap 62sc Garmin. Se pudo determinar cuál de estos dos métodos de delimitación de la cuenca, nos brindó menos errores y fue la más óptima para su utilización y en los resultados se encontró errores planimétricos (eje X, Y) para la herramienta R.Watershed con un RMSEr de 23.055 metros y para la herramienta Hydrology un RMSEr de 29.772, poniendo en evidencia que la herramienta R.Watershed fue la que presentó menos errores, tanto en el eje X como en el eje Y.

Palabras claves: Microcuenca, Hydrology, R.Watershed, ArcGÍS 10.3, QGIS 2.18.

ABSTRACT

The main objective of this research work was to delimit the basin of the Sabalillo stream, using the software platform ArcGís 10.3 and QGIS 2.18 respectively. Two methods of delimitation of the micro basin of the stream "Sabalillo" are compared, the first with the Hydrology tool (ArcGís 10.3) and the second with the tool R.Watershed (QGIS 2.18), taking as reference, the delimitation in the field with GPSmap 62sc Garmin. An experimental and comparative research method was used. The population under study are all the points of X, Y coordinates corresponding to the area of the El Sira Communal Reserve, taken from the data of the SRTM with 30 meters of pixel and the sample includes the X, Y coordinates of 24 higher points of the dividing line of basins taken from the beginning of the basin to the end of it with the GPSmap 62sc Garmin. It was possible to determine which of these two methods of delimitation of the basin, gives us fewer errors and is the most optimal for its use and in the results it was found planimetric errors (X and Y axis) for the tool R.Watershed with a RMSEr of 23,055 meters and for the Hydrology tool an RMSEr of 29.772, showing that the R.Watershed tool presents the least errors, both on the X axis and on the Y axis.

Keywords: Micro basin, Hydrology, R.Watershed, ArcGís 10.3, QGIS 2.18.

INTRODUCCIÓN

El uso de Sistemas de Información Geográfica en los últimos años se han convertido en una herramienta fundamental en la gestión de la conservación en espacios geográficos que cumplen con ser muestras representativas de diversidad biológica y demás valores asociados.

La Reserva Comunal El Sira, es un área natural protegida con gran importancia hidrológica, ya que da lugar a un conjunto de quebradas que discurren formando cauces diversos, dispersando sus aguas a los ríos Ucayali y Pachitea respectivamente, constituyendo recursos muy importantes para el país.

En la gestión moderna de las áreas naturales protegidas la mayor parte de la información que se genera tiene un componente espacial (geográfico) por lo cual es necesario contar con un software de sistema de información geográfica que permita trabajar y analizar la información para generar reportes que se utilicen en la gestión de la conservación como por ejemplo: ArcGís 10.3 y QGIS 2.18 contienen Herramientas tales como Hydrology y R.Watershed respectivamente, ambos softwares permiten analizar, delimitar cuencas, redes de drenaje y muchas otras opciones a través de imágenes DEM.

Con el uso de estas herramientas se obtienen resultados que se deben comparar con los datos reales registrados en el campo, para conocer el grado de error obtenido. La microcuenca de la quebrada Sabalillo, es una cuenca importante a nivel de la red hidrográfica del Área Natural Protegida, ya que esta se encuentra al interior de la Reserva Comunal El Sira.

El objetivo de la investigación fue delimitar la cuenca de la quebrada Sabalillo mediante procesamiento digital con las herramientas Hydrology (ArcGIS 10.3) y R.Watershed (QGIS 2.18) respectivamente y comparar los resultados obtenidos, con los datos de campo registrados con el GPSmap 62sc Garmin.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

Según, Puerta (2013) menciona que la cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas.

Las cuencas pueden ser delineadas automáticamente a partir de un modelo de elevación digital, utilizando como entrada la información de dirección de flujos, lo cual posibilita conocer el área de contribución de agua. Hoy en día los sistemas de información geográfica – SIG - proporcionan una gama amplia de aplicaciones y procesos, que pueden realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de una cuenca. (Villalta, 2011)

Los programas ArcGís 10.3 y QGIS 2.18 proporcionan al usuario herramientas que permiten crear o delimitar de manera sencilla el área de cualquier cuenca o microcuenca hidrográfica. Entre estas tenemos la herramienta Hydrology y la herramienta R.Watershed respectivamente, que se utilizan en el análisis y procesamiento de información relacionada al recurso agua, en el manejo de las cuencas hidrográficas.

Los resultados obtenidos con estas herramientas, son el producto de un procesamiento digital, sin verificación de campo. Por lo tanto es necesario conocer, cuanto se aproxima a la realidad la información obtenida por estos medios.

Ante este supuesto, se delimitará la microcuenca de la quebrada “Sabalillo”, la cual se encuentra al interior del Área Natural Protegida “Reserva Comunal El Sira”, esta información servirá para la gestión de

conservación de estos espacios, del mismo modo como insumo para la planificación de las actividades de vigilancia y control en el sector, todo esto por ser una cuenca importante a nivel de la red hidrográfica del Área Natural Protegida, así mismo nos permitirá resolver la pregunta en cuestión: ¿Cuál de las dos herramientas, Hydrology o R.Watershed, nos proporciona datos más reales de la delimitación de la microcuenca de la quebrada “Sabalillo” con respecto a los datos obtenidos en campo con un GPSmap 62sc Garmin?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Delimitar la cuenca de la quebrada Sabalillo con Hydrology (ArcGÍS 10.3) y R.Watershed (QGIS 2.18) y comparar los resultados, con los datos de campo registrados con el GPS Garmin Map 62 scx.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el error que se obtiene de los datos de la delimitación de la cuenca con Hydrology (ArcGÍS 10.3) en comparación con los datos obtenidos en campo con el GPS Map 62 scx, en la delimitación de la cuenca de la quebrada Sabalillo.

- Determinar el error que se obtiene de los datos de la delimitación de la cuenca con R.Watershed (QGIS 2.18) en comparación con los datos obtenidos en campo con el GPS Map 62 scx, en la delimitación de la cuenca de la quebrada Sabalillo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Del Aguila (2014), comparó dos métodos de delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Zancudal”, el primero con la herramienta ArcHydrology y el segundo con la extensión ArcHydro Tools, utilizando la plataforma del software ArcGís 10.1, tomando como referencia, la delimitación en el campo con GPS Garmin 60 CSx. El resultado pone en evidencia que la extensión ArcHydro Tools es la que presenta menos errores, encontró un CMEr de 18.39 metros, y al 95% de confiabilidad un error de 31.83 metros; y errores máximos en X de 31 metros y en Y de 40 metros. En cuanto a ArcHydrology, encontró un CMEr de 23.05 metros y al 95% de confiabilidad un error de 38.89 metros; y errores máximos en X de 45 metros y en Y de 49 metros.

Estela (2011), diseñó el trazo de un camino forestal usando la información digital del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), en el Centro de Investigación y Capacitación Forestal – Macuya (CICFOR - Macuya) de la Universidad Nacional de Ucayali. Tesis para optar el grado de Ingeniero Forestal. Pucallpa – Perú. Utilizó un método comparativo, mediante el cual se comparó el trazo de un camino forestal, utilizando el modelo de elevación digital del SRTM, bajado de internet con el software Global Mapper y procesados con el software ArcGIS 9.3, con los datos obtenidos en el campo por medio de un GPS Garmin 60 CSx y un nivel de ingeniero.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

2.2.1. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información (TI) a la gestión de la Información Geográfica (IG). El término Sistema de

Información Geográfica (SIG) tiene tres acepciones: el SIG como disciplina; el SIG como proyecto, cada una de las realizaciones prácticas, de las implementaciones existentes; el SIG como software, es decir los programas y aplicaciones de un proyecto SIG. La acepción principal es la de SIG como proyecto, Sistema de Información que gestiona Información Geográfica, es decir información georreferenciada. La definición más extendida de SIG, con pequeñas variaciones, es «Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra». El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente. Esta complejidad ha llevado al nacimiento, a partir del trabajo con SIG, de una nueva disciplina científica, todavía bastante discutida, conocida como Ciencia de la Información Geográfica. (IGN, 2018)

Un SIG también puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas. (Burrough, 1994).

2.2.2. Modelos de Datos Geográficos

Podría parecer obvio, pero antes de trabajar con datos SIG, los mismos deben estar en formato digital. Casi todos los elementos que se encuentran sobre la superficie terrestre pueden ser codificados para que una computadora los pueda comprender, y en función del tipo de información se puede usar un modelo de datos u otro. Lo que no es tan obvio, es la forma de representar el mundo real a un medio digital. (ESRI, 2018)

A pesar de la heterogeneidad de la información geográfica, existen dos aproximaciones básicas para simplificar y modelizar el espacio, de modo que éste pueda ser almacenado y manipulado en un sistema informático, dando lugar, por tanto, a dos modelos de datos: el modelo vectorial, habitualmente utilizado para tratar fenómenos geográficos discretos (vías de comunicación, tejidos urbanos, coberturas vegetales, etc.), y el modelo ráster usado generalmente para representar fenómenos continuos. Ambos sistemas son complementarios y conviven dentro de los SIG, aunque cada uno de ellos resulte más o menos apropiado para el estudio de un tipo de información específica. (Del Bosque *et al.,* 2012)

El modelo de datos vectorial se basa en el supuesto de que la superficie de la tierra se compone de objetos discretos tales como árboles, ríos, lagunas, etc. (ESRI, 2018). En este modelo, no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas. Para cada entidad geométrica las características son constantes. La forma de estas entidades se codifica de modo explícito, porque modeliza el espacio geográfico a través de una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos: puntos, líneas y polígonos. (Olaya, 2014)

La estructura de un ráster se basa en una matriz de celdas representadas en filas y columnas, cada celda puede almacenar información de una variable (precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, longitudes de onda del espectro electromagnético, etc.).

El modelo ráster no recoge de forma explícita las coordenadas de cada una de las celdas, sino los valores de éstas. No resulta necesario acompañar a dichos valores de un emplazamiento espacial concreto, pues hacen referencia a un elemento particular de la malla, la cual representa una estructura fija y regular. Pero es necesario ubicar dicha malla en el espacio para después poder calcular las coordenadas de cada celda. (Olaya, 2014)

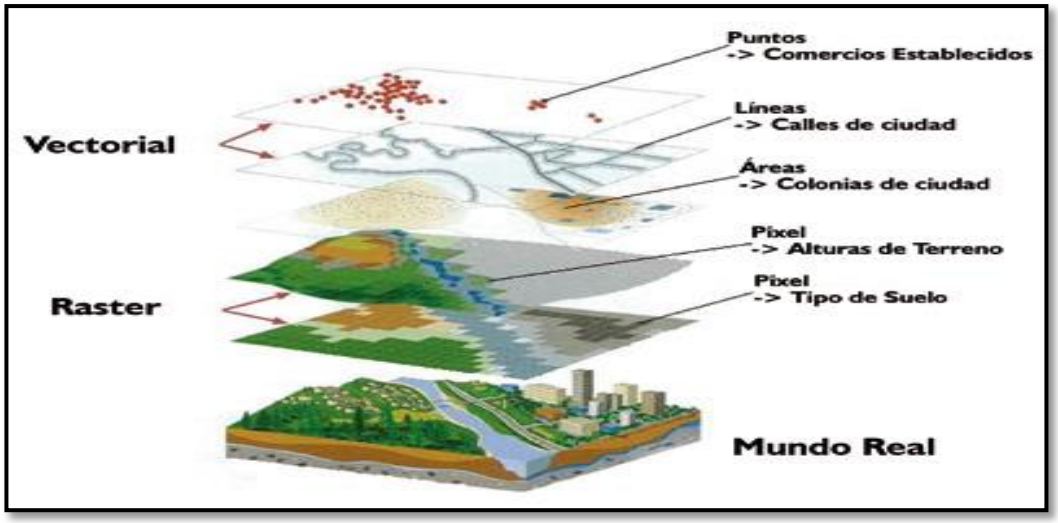


Figura 1. Interpretación cartográfica ráster y vectorial de elementos geográficos

El modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus fronteras (el límite o perímetro que separa el objeto del entorno). Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. (Bosque, 2000)

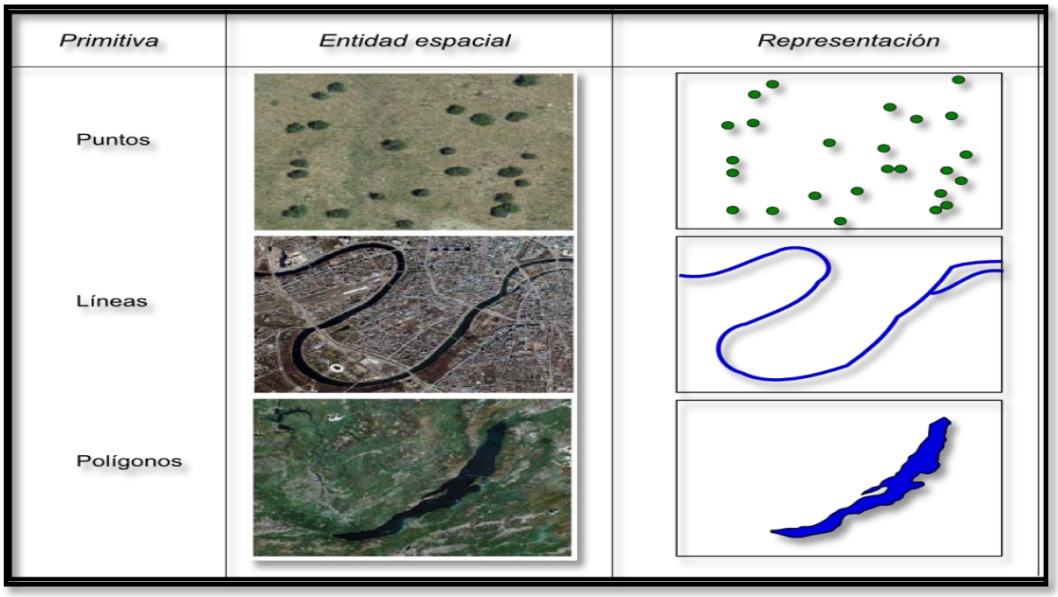


Figura 2. Dimensión espacial de datos en un SIG

Un dato espacial es una variable asociada a una localización del espacio (Wikipedia, 2018). Normalmente se utilizan datos vectoriales, los cuales pueden ser expresados mediante tres tipos de objetos espaciales:

✶ **Puntos**

Se encuentran determinados por las coordenadas terrestres medidas por latitud y longitud. Por ejemplo, ciudades, accidentes geográficos puntuales, hitos.

✶ **Líneas**

Objetos abiertos que cubren una distancia dada y comunican varios puntos o nodos, aunque debido a la forma esférica de la tierra también se le consideran como arcos. Líneas telefónicas, carreteras y vías de trenes son ejemplos de líneas geográficas.

✶ **Polígonos**

Figuras planas conectadas por distintas líneas u objetos cerrados que cubren un área determinada, como por ejemplo países, regiones o lagos.

De esta forma la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas (X, Y). La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto (X, Y). Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas (X, Y). Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas.

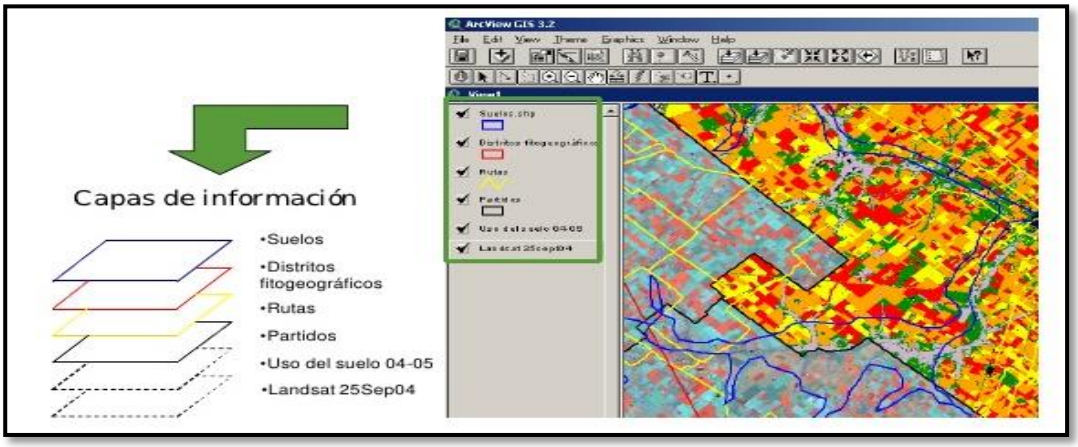


Figura 3. Esquema general de un SIG indicando las capas temáticas que lo integran

2.2.3. Modelos digitales de terreno

2.2.3.1. Datos para un modelo digital de terreno

Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Aunque algunas definiciones incluyen dentro de los MDT prácticamente cualquier variable cuantitativa regionalizada, aquí se prefiere limitar el MDT al conjunto de capas derivadas del MDE.

El trabajo con un MDT incluye las siguientes fases que no son necesariamente consecutivas en el tiempo:

- Generación del MDE.
- Manipulación del MDE para obtener otras capas del MDT (pendiente, orientación, curvatura, etc.).
- Visualización en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para localizar errores.
- Análisis del MDT (estadístico, morfométrico, etc.)
- Aplicación, por ejemplo como variable independiente en un modelo de regresión que haga una estimación de la temperatura a partir de la altitud.

Los modelos digitales de terreno MDT son una parte importante de la información integrante de los sistemas de información geográfica. (Felicísimo, 1994)

Un modelo digital de terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial en una variable cuantitativa y continúa. Los modelos digitales de terreno o MDT, son, por tanto, modelos simbólicos ya que las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto real tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos.

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (MDT).

Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo. Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Aunque algunas definiciones incluyen dentro de los MDT prácticamente cualquier variable cuantitativa regionalizada, aquí se prefiere limitar el MDT al conjunto de capas derivadas del MDE. El trabajo con un MDT incluye las siguientes fases que no son necesariamente consecutivas en el tiempo: Generación del MDE Manipulación del MDE para obtener otras capas del MDT (pendiente, orientación, curvatura, etc.) Visualización en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para localizar errores Análisis del MDT (estadístico, morfométrico, etc.) Aplicación, por ejemplo como variable independiente en un modelo de regresión que haga una estimación de la temperatura a partir de la altitud Una de las razones por las que estas fases se solapan es que en muchos casos la manipulación, visualización y análisis van a permitir descubrir errores en el MDE. De este modo se vuelve a la primera fase y se genera un MDE mejorado. (Wikipedia, 2018)

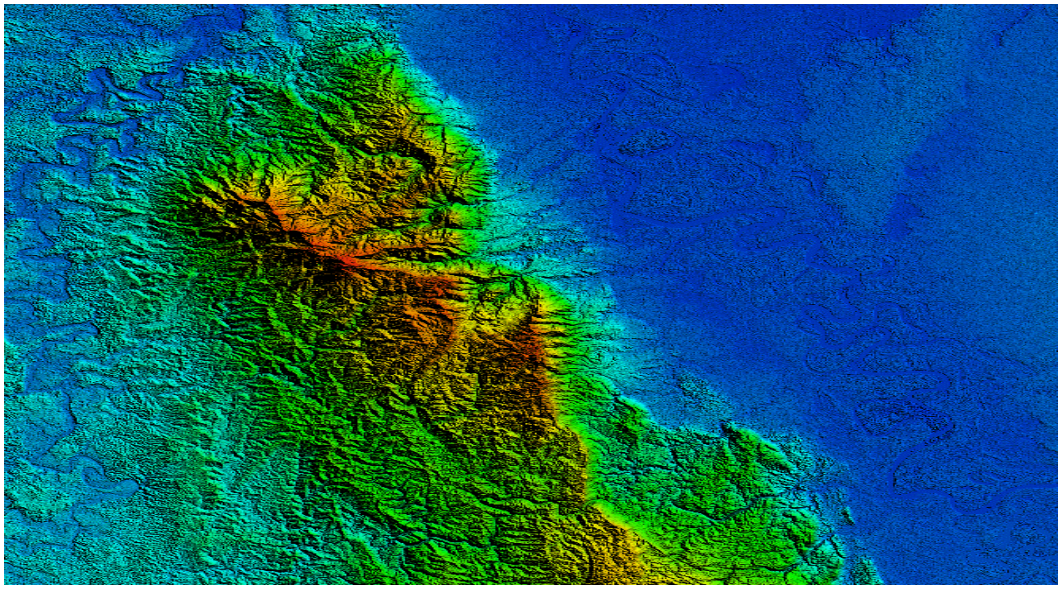


Figura 4. Modelo digital de elevaciones

2.2.3.2. Interpolación Espacial

El análisis espacial es el proceso de manipular información espacial para extraer información nueva y significativa a partir de los datos originales. Usualmente el análisis espacial se realiza con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Un SIG normalmente proporciona herramientas de análisis espacial para calcular estadísticas de las entidades y realizar actividades de geo procesamiento como la interpolación de datos. La interpolación espacial es el proceso de utilizar puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos. (Felicísimo, 1994)

La interpolación espacial puede estimar las temperaturas en lugares que no tienen ese dato utilizando lecturas de temperatura conocida en estaciones meteorológicas cercanas. A este tipo de superficie interpolada con frecuencia se le llama una superficie estadística. Datos de elevación, precipitación, acumulación de nieve, tabla de agua y densidad de población son otros tipos de datos que pueden ser calculados utilizando la interpolación. (Felicísimo, 1994)

2.2.3.3. Modelos de Elevación Digital (MED)

Un Modelo Digital de Elevación (DEM = Digital Elevation Model) es una representación en formato ráster de una superficie continua. Por lo general hace referencia a la superficie de la tierra, mediante un conjunto de puntos cuyos valores en X, Y y Z son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas arbitrario. (Fallas, 2007)

La información que se puede derivar a partir de modelos digitales de elevación tiene aplicabilidad en diferentes campos, como la hidrología, análisis de riesgos, la planificación urbana, entre otros. Los principales productos que se pueden obtener de un DEM son: mapas de pendientes, curvas de nivel, mapa de relieve, mapa de visibilidad, mapa de aspecto, cuencas hidrográficas, cuencas visuales, etc. (Fallas, 2007)

2.2.4. Datos satelitales de elevación digital

Actualmente existen dos técnicas para obtener MED desde sistemas satelitales. Una se refiere al uso de imágenes satelitales estereoscópicas provistas por sensores ópticos satelitales; la otra se basa en el uso de datos provistos por sistemas de radar satelitales, ya sean de apertura sintética (SAR) o apertura sintética interferométrica (InSAR). (Roa y Kamp, 2008)

2.2.5. Datos del SRTM

En febrero del 2000 la NASA, la Agencia Nacional de Inteligencia Geo-Espacial (NGA), y las Agencias Espaciales de Alemania y de Italia lanzaron la Misión *Shuttle Radar Topography Mission*. Esta misión produjo el modelo de elevación digital (MED), de más alta resolución de la superficie terrestre (Farr, 2007). Este MED fue producido a una resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m en el Ecuador) para casi todo el globo terráqueo, entre las latitudes 60 grados norte y 56 grados sur (Farr, 2007) con un error de altitud vertical medio de 6,2 m (nivel de confianza de 90%) y un error de geo ubicación de 9 m para Suramérica. (Rodríguez, 2006)

NASA (2005), menciona que el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtuvo datos de elevación a una escala casi global, para generar la más completa base de datos topográficos de alta resolución digital de la tierra. SRTM consiste en un sistema de radar especialmente modificado que voló a bordo de la nave espacial Endeavour, durante una misión de 11 días en febrero de 2000.

Los datos SRTM tienen unas propiedades particulares, que pueden resultar positivas o negativas, dependiendo de la aplicación a la que se destine. El SRTM utilizó una técnica llamada interferometría para recoger los datos topográficos. En pocas palabras, la interferometría recoge dos imágenes de la misma ubicación en distintas posiciones de ventaja Cuando se comparan las dos imágenes, se aprecia una ligera diferencia

en los valores de las mismas y a partir de esa diferencia se puede calcular la topografía de la superficie terrestre. (NASA, 2005)

Para adquirir estas dos imágenes durante la misión se instaló una antena principal en el tramo de carga del transportador espacial, y se desplegó una segunda antena fuera de borda en un mástil que se extendía 60 m desde el tramo de carga una vez entrado en órbita (NASA, 2005). La antena principal transmitía un haz de ondas de radar hacia la tierra. Cuando estas ondas chocaban contra la superficie se dispersaban en todas las direcciones. Las ondas dispersas rebotaban de vuelta a la antena (onda recibida) donde eran recogidas y se medía la distancia recorrida. Utilizando esta información y conociendo la distancia constante entre las dos antenas (línea base) se puede calcular con precisión la elevación de la superficie terrestre. (NASA, 2005)

El SRTM fue diseñado con umbrales de precisión cartográfica para ayudar a asegurar un conjunto de datos topográficos globales exactos y consistentes. Después de la misión la NASA y la NGA emprendieron una campaña de validación global. Se comprobó que la misión había superado tanto los requisitos de precisión vertical como horizontal.

Aunque esto representa una gran mejoría por encima de los múltiples MED que existen para Sudamérica, es importante reconocer algunas de sus peculiaridades tales como vacíos de datos, ruido de fase, sesgo de follaje (dosel vegetal), exactitud de resolución de 30 m y estimados de pendiente. (Mathew, 2008)

El vacío de datos son áreas donde aparecieron errores extremos durante el procesamiento o donde no regresó la señal del radar. Para mitigar estos vacíos el proyecto GeoSUR, en cooperación con el grupo de ciencias topográficas del USGS, utilizará el algoritmo de Relleno de Superficie Deltaica (Delta Surface Fill/DSF) de la NGA para rellenar los vacíos con la mejor fuente de relleno disponible para el MED. (Mathew, 2008)

Por ejemplo, un área con cobertura de bosque va a tener menos ruido que las tierras agrícolas por el modo en que la señal del radar rebota en la superficie. Este error ya se había anticipado antes de la misión y se establecieron controles para minimizar el error vertical a 8 metros aproximadamente. (Farr, 2007)

Una característica altamente discutida del MED SRTM es el sesgo del follaje (o dosel vegetal). Debido a la corta (5,6 cm) longitud de onda de la Banda C, la mayoría de las ondas del radar recibidas sobre áreas densamente vegetadas se reflejan de vuelta en el follaje, bastante por encima de la superficie de la tierra desnuda. (Mathew, 2008)

Uno de los motivos por el cual resulta problemático para los hidrólogos es el modelaje de una red de drenaje, por ejemplo, en un área de selva densa donde se esté deforestando. A veces se crean redes de canales falsos por causa de valores de elevación contrastantes entre la selva y las áreas taladas. (Valeriano *et al.,* 2005)

La pendiente es un producto derivado valioso de cualquier MED y forma parte de muchos modelos de procesos superficiales terrestres, tales como el modelaje de deslizamientos de tierra. Varios estudios han dejado constancia de que la pendiente se subestima en áreas de topografía pronunciada y sobreestimada en áreas de poco relieve. (Jarvis *et al.,* 2004)

Los MED tienen un papel clave en el modelaje de los procesos de la superficie terrestre; por esta razón un MED exacto y consistente es componente esencial de las estructuras de datos geoespaciales nacionales que se están construyendo en Sudamérica. (Mathew, 2008)

Mathew (2008), menciona algunas aplicaciones fundamentales de un MED, entre otras, son:

- Modelaje hidrológico
- Planificación de infraestructura
- Rectificación de orto-imágenes
- Manejo y mitigación de desastres

✶ Análisis de línea visual

2.2.6. Cuencas

2.2.6.1. Concepto de una cuenca

Una cuenca es una depresión en la superficie de la tierra, un valle rodeado de alturas. El término cuenca hidrográfica tiene un sentido más amplio, siendo una parte de la superficie terrestre cuyas aguas fluyen hacia un mismo río o lago. (Wikipedia, 2018)



Figura 5. Ejemplo de cuenca hidrográfica

2.2.6.2. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el sistema, área o ámbito geográfico, delimitado por el divortium aquarum, donde ocurre el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo". (Wikipedia, 2018)

Es también la unidad natural definida por la existencia de la divisoria de aguas en un territorio dado. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "divortium aquarum". El divortium aquarum, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor

de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. (Wikipedia, 2018)

2.2.6.3. Principales características de una cuenca

- **La curva cota–superficie**

Esta característica da una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.

- **El coeficiente de forma**

Da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.

- **El coeficiente de ramificación**

También da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida. (Wikipedia, 2018)

2.2.6.4. Elementos de una cuenca

Según, Wikipedia (2018). El río principal, actúa como el único colector de las aguas. A menudo la elección del río principal es arbitraria, pues se pueden seguir distintos criterios para su elección (el curso fluvial más largo, el de mayor caudal medio, el de mayor caudal máximo, el de mayor superficie de cuenca, etc.). El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su naciente y su desembocadura. En el curso de un río distinguimos tres partes:

- **El curso superior**

Ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado, la profundización del cauce.

- **El curso medio**

En donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle.

- **El curso inferior**

Situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

Otros términos importantes a distinguir en un río son:

- **Cauce**

Cauce o lecho (Del lat. calix, -icis, tubo de conducción.) m. Lecho de los ríos y arroyos. Conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riegos u otros usos.

- **Thalweg**

Línea que une los puntos de mayor profundidad a lo largo de un curso de agua.

- **Margen derecha**

Si nos imaginamos parados en el medio del río, mirando hacia donde corre el río, es decir mirando aguas abajo, la margen derecha es la que se encuentra a nuestra derecha.

- **Margen izquierda**

Si nos imaginamos parados en el medio del río, mirando hacia donde corre el río, es decir mirando aguas abajo, la margen izquierda es la que se encuentra a nuestra izquierda.

- **Aguas abajo**

Con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o

afluente, se dice que un punto está aguas abajo, si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente (en castellano se utiliza también el término «Ayuso» para referirse a aguas abajo).

- **Aguas arriba**

Es el contrario de la definición anterior (en castellano se utiliza también el término «asuso» con el mismo significado).

- **Los afluentes**

Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

- **El Divortium Aquarum**

Llamada también línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

- **El relieve de la cuenca**

Consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

2.2.6.5. Partes de una cuenca

Según, Wikipedia (2018)

- **Cuenca alta**

Es la parte de la cuenca en la cual predomina el fenómeno de la socavación. Es decir que hay aportación de material terreo hacia las

partes bajas de la cuenca, visiblemente se ven trazas de erosión.

✶ **Cuenca media**

Es la parte de la cuenca en la cual medianamente hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

✶ **Cuenca baja**

Es la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

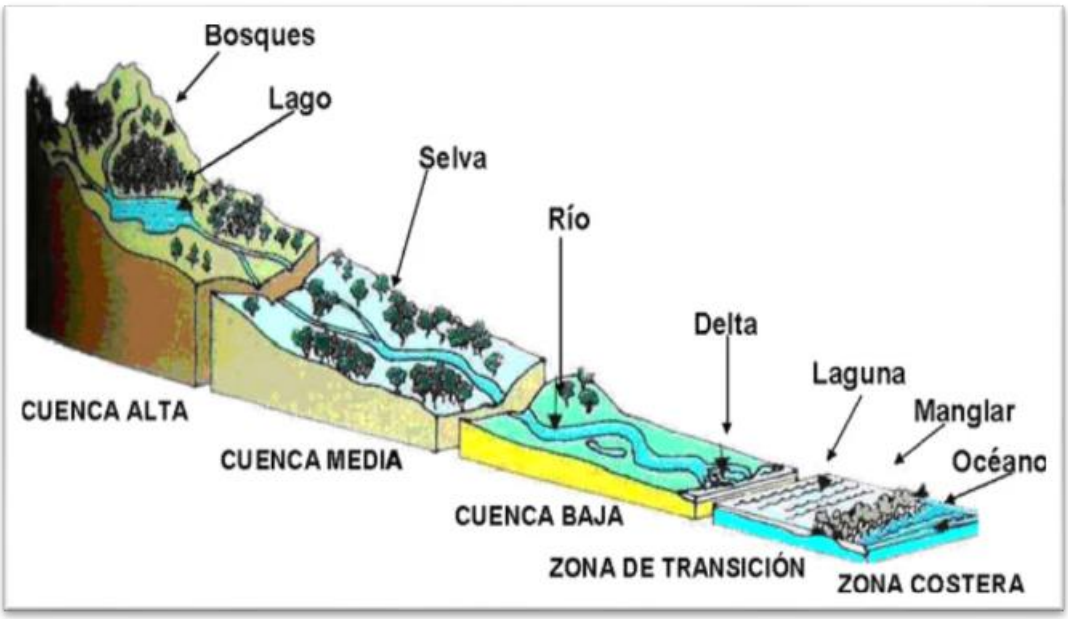


Figura 6. Partes de una cuenca hidrográfica

2.2.6.6. Tipos de cuencas

Según, Wikipedia (2018) existen tres tipos de cuencas:

✶ **Exorreicas**

Avenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Plata, en Sudamérica.

- **Endorreicas**

Desembocan en lagos o lagunas, siempre dentro del continente. Por ejemplo, la cuenca del río Desaguadero, en Bolivia.

- **Arreicas**

Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta central patagónica pertenecen a este tipo, no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

2.2.7. Software ArcGÍS

Es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización. (ESRI, 2018)

Como sistema de información, ArcGÍS es accesible desde clientes desktop, navegadores web, y terminales móviles que se conectan a servidores de departamento, corporativos o con arquitecturas de computación en la nube (Cloud Computing) y para los desarrolladores, ArcGÍS proporciona herramientas que les permitirán crear sus propias aplicaciones. (ESRI, 2018)

ArcGÍS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGÍS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGÍS Server, para la publicación y gestión web, o ArcGÍS Móvil para la captura y gestión de información en campo. (Wikipedia, 2018)

2.2.7.1. Herramientas de ArcGÍS

Además de ArcMap, se pueden contar con las extensiones 3D Analyst, Geostatistical Analyst, Maplex, Network Analyst, Schematics, Spatial Analyst, Tracking Analyst y ArcScan. (Wikipedia, 2018)

- **Spatial Analyst**

Proporciona una amplia posibilidad de recursos relacionados con el análisis espacial de datos. Esta herramienta se pueden crear, consultar y analizar datos ráster; combinar varias capas ráster; aplicar funciones matemáticas, construir y obtener nueva información a partir de datos ya existentes, etc. Spatial Analyst nos permite: obtener información nueva de los datos existentes; hallar ubicaciones adecuadas; realizar análisis de distancia y coste del trayecto; identificar la mejor ruta existente entre dos puntos; realizar análisis estadísticos e Interpolar valores de datos para un área de estudio.

- **3D Analyst**

De acuerdo a Esri, la extensión 3D Analyst de ArcGIS proporciona herramientas para la creación, visualización y análisis de datos SIG en un contexto tridimensional; la función ArcScene; por ejemplo permite crear y animar ambientes 3D. Personalmente utilizó 3D Analyst para el modelado de capas geológicas y datos de agua subterránea relacionada captaciones de hidráulica subterránea.

- **Geostatistical Analyst**

Esta herramienta permite la realización de análisis geoestadístico, partiendo del análisis exploratorio de los datos hasta su representación espacial.

2.2.8. Software QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Era uno de los primeros ocho proyectos de la Fundación OSGeo

y en 2008 oficialmente graduó de la fase de incubación. Permite manejar formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Algunas de sus características son: Soporte para la extensión espacial de PostgreSQL, PostGIS.

Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, Mapinfo, GRASS GIS, etc. Soporte para un importante número de tipos de archivos ráster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.) Una de sus mayores ventajas es la posibilidad de usar Quantum GIS como GUI del SIG GRASS, utilizando toda la potencia de análisis de este último en un entorno de trabajo más amigable.

QGIS es un software libre y opera bajo la licencia GNU GPL. El software Quantum GIS puede ser modificado libremente, de tal manera que pueda realizar diferentes y más especializadas funcionalidades. Ya existen dos nuevos productos denominados: QGIS Browser y QGIS Server. Estos productos poseen diferentes interfaces del usuario (front-end). (Wikipedia, 2018)

QGIS (Quantum GIS) es un “software” de Sistema de Información Geográfica, que tiene como principal ventaja su gratuidad ya que no tiene costo de licencia y su instalación es sumamente sencilla, además de ello es un software en constante desarrollo al ser de código abierto, además cuenta con extensa ayuda y documentación disponible, proporcionando una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas imprimibles. (SERNANP, 2015)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Según, CRICYT (2009):

- **DEM:** Conjunto de datos que contienen medidas de elevación del terreno, aplicando procedimientos fotogramétricos a pares de imágenes estereoscópicas solapadas.

- **GEOSERVIDOR:** Sitio web de intercambio de datos vectoriales y ráster del Ministerio del Ambiente.

- **GPS:** Son las siglas en inglés, son los Sistemas de Posicionamiento Global los cuales mediante receptores portátiles o estacionarios reciben la información de un conjunto de satélites - veinticuatro para ser exactos - en órbita terrestre, que facilitan la localización de personas, objetos, edificios, etc.

- **SIG:** Sistema de Información Geográfica; son herramientas de análisis que ofrecen la posibilidad de identificar las relaciones espaciales de los fenómenos que se estudian.

- **TIN:** Red de Triángulos Irregulares creados a partir de una base de datos vectorial denominados curvas de nivel.

- **VECTORIAL:** Datos geográficos digitales en forma de puntos, líneas y polígonos.

- **RÁSTER:** Datos geográficos digitales que usan celdas de igual tamaño que poseen un valor.

- **WAYPOINT:** Es una posición de un lugar determinado del planeta. Cada una de esas posiciones en GPS, cada uno de esos lugares, es lo que llamamos un waypoint (Punto del camino, en inglés).

- **TRACK:** Es una sucesión de waypoints concatenados que definen un camino recorrido. También le podemos llamar sendero, estela, etc.

- **ARCGIS:** Sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

- **QGIS:** Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.

- **GRASS:** Es un software SIG (Sistema de Información Geográfica) bajo licencia GPL (software libre).

- **SRTM:** Misión de la Topografía de Radar del Shuttle (SRTM, en inglés) de la NASA, es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NGA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA. Su fin es obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo.

- **CUENCA:** Extensión de terreno más ancha y menos profunda que un valle, cuyas aguas se vierten en un río, en un lago o en el mar.

- **HIDROLOGÍA:** Es una rama de las ciencias de la tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre.

- **GEODATOS:** Son información acerca de ubicaciones geográficas almacenadas en un formato que se puede usar con un sistema de información geográfica (SIG).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicado al interior de la Reserva Comunal El Sira, ubicado entre las coordenadas Geográficas 9°29'11.8" de Latitud Sur, 74°49'45.1" de Longitud Oeste, a 382 msnm, en el distrito de Yuyapichis, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco.

La Reserva Comunal El Sira (RCES) se ubica en la zona centro-oriental del Perú, sobre el ámbito de la Cordillera El Sira, influenciada por las cuencas de los ríos Ucayali, Pachitea y Pichis. Políticamente ocupa territorios de los departamentos de Pasco, Huánuco y Ucayali, y protege el ecosistema de la cordillera El Sira, único en su género. Es una cadena montañosa muy escarpada, de unos 2,500 metros de altura y cubierta por bosque tropical. La extensión de la RCES es de 616,413.41 hectáreas.

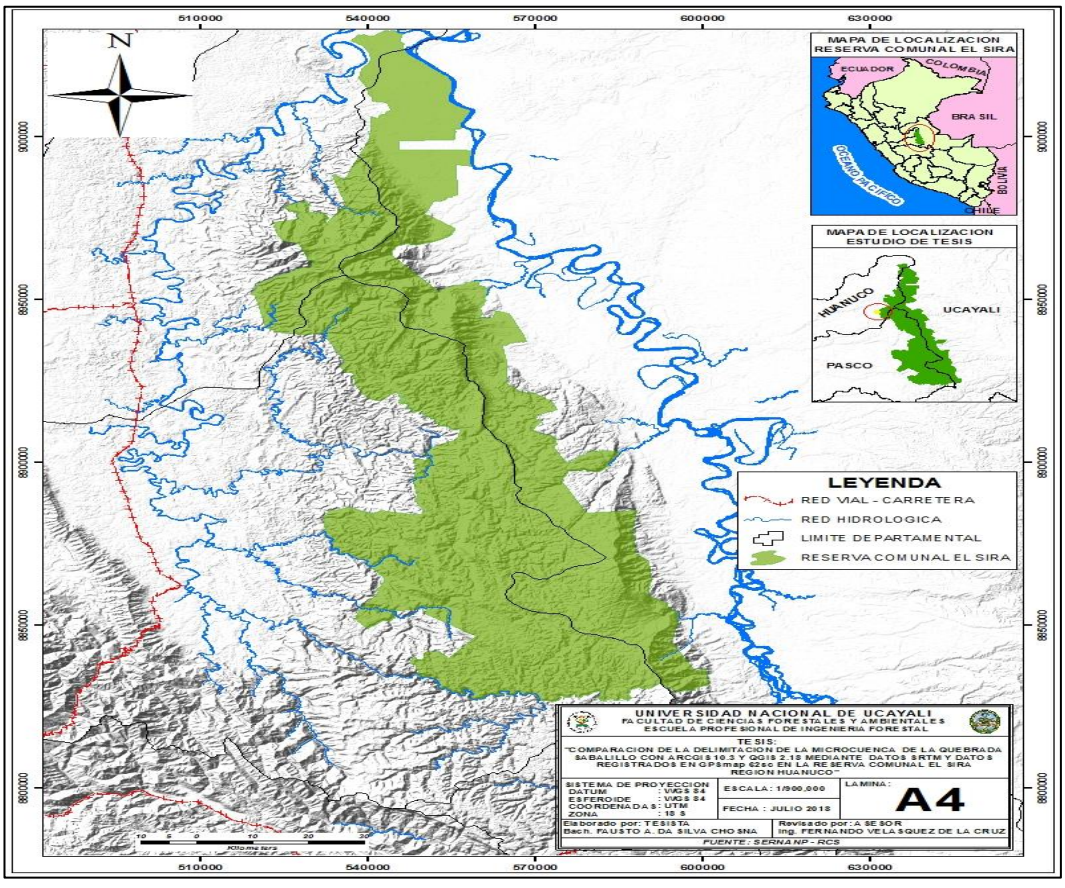


Figura 7. Mapa de ubicación de la Reserva Comunal El Sira

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se utilizó el método experimental y comparativo.

3.3. POBLACION Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población en estudio estuvo conformada por todos los puntos de coordenadas X, Y correspondientes al área de la Reserva Comunal El Sira, tomados de los datos del SRTM con 30 metros de pixel.

3.3.2. Muestra

La muestra del presente estudio comprende las coordenadas X, Y de 24 puntos más elevados de la línea divisoria de cuencas tomados desde el inicio de la cuenca hasta el final de la misma con el GPS.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Materiales

- Machete
- Botas
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Entre otros imágenes DEM

3.4.2. Equipos

- Computadora portátil
- Software ArcGIS 10.3
- Software QGIS 2.18
- Software Global Mapper 18.0
- Software DNRgps
- GPSmap 62sc Garmin

- ✶ Brújula Sunnto
- ✶ Cámara fotográfica

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Recolección de los datos digitales del SRTM (DEM) por medio de una computadora portátil, bajados del internet por medio del Software Global Mapper 18.0 y procesados con el Software ArcGIS 10.3 y QGIS 2.18 respectivamente.

- ✶ Se descargó, a través del software Global Mapper 18.0, la imagen DEM del SRTM, que corresponde al área de la Reserva Comunal El Sira.

- ✶ La imagen DEM obtenida se procesó con las herramientas Hydrology (ArcGis 10.3) y R.Watershed (QGIS 2.18) respectivamente, para la delimitación de la microcuenca y la red de drenaje.

- ✶ Se calculó los centroides de las curvas de nivel, generadas con el DEM de las cimas de las colinas, que constituyen la divisoria de cuencas, tanto para los resultados obtenidos con Hydrology y R.Watershed.

- ✶ La línea divisoria de cuencas, se registró mediante la función Track del GPS, abriendo una trocha desde la desembocadura de la quebrada Sabalillo en el Río Yuyapichis. Durante el trayecto se registró mediante Waypoints, las coordenadas X,Y de los puntos más elevados (cimas de las colinas), que dividen una cuenca de la adyacente.

- ✶ La diferencia entre las coordenadas X,Y de los centroides, con las coordenadas X,Y de los waypoints, se compara mediante la prueba estadística del Cuadrado Medio del Error, para cada método.

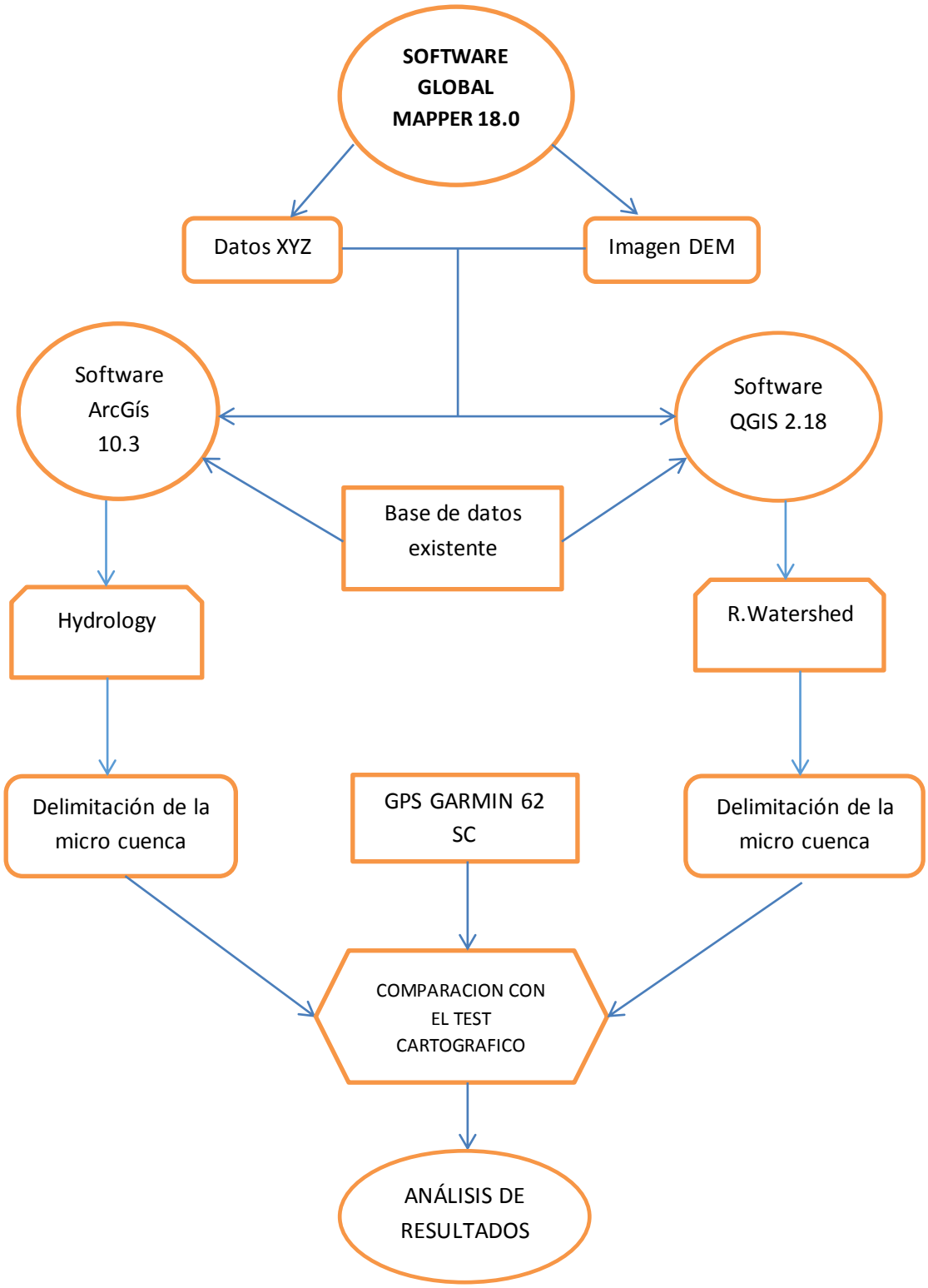


Figura 8. Metodología – Software Global Mapper 18.0

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos fueron procesados por medio del Test del Estándar Nacional para la Precisión de Datos Espaciales (NSSDA, en inglés). Este

estándar NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) aplica a todo conjunto de geodatos, sea representado en formato matricial (ráster), puntual (lista de coordenadas X, Y) o formato vectorial, derivado de fuentes tales como fotografías aéreas, imágenes satelitales y mediciones directas en el terreno. El estándar provee un lenguaje común para informar la exactitud y de esta manera facilitar la identificación de conjunto de geodatos para aplicaciones geográficas. El test consiste en:

RMSEx = sqrt[SUM(xdata,i – xcheck,i)2/n]

RMSEy = sqrt[SUM(ydata,i – ycheck,i)2/n]

Dónde:

Xdata,i, Ydata,i : Son las coordenadas del punto de prueba "i" en el conjunto de geodatos.

Xcheck,i , Ycheck,i: Son las coordenadas del punto de prueba en la fuente independiente de mayor exactitud.

n= es el número de puntos de prueba en el conjunto de geodatos.

i= es un número entero 1 hasta n.

El error horizontal en el punto i se define como:

sqrt[(x data, i - x check, i) +(y data, i - y check, i)].

El error horizontal RMSE es:

RMSEr = sqrt[SUM((x data, i - x check, i)2 +(y data, i - y check, i)2)/n]

= sqrt[RMSEx2 + RMSEy2]

Caso 1: Computar Exactitud de acuerdo con NSSDA cuando RMSEx = RMSEy

Si RMSEr = sqrt(2*RMSEx2) = sqrt(2*RMSEy2)

= 1.4142*RMSEx = 1.4142*RMSEy

Se presume que los errores sistemáticos han sido eliminados de la mejor manera posible. El factor 2.447 es usado para computar la exactitud horizontal con el nivel estadístico de confianza de 95% si los errores están distribuidos de manera normalizada y son independientes en cada componente X y componente Y (Greenwalt and Schultz, 1968). Cuando estas condiciones aplican, la Exactitud, (Accuracy) que es el valor de exactitud de acuerdo al NSSDA, deberá ser computado usando la fórmula:

$$\text{Accuracyr} = 2.447 * \text{RMSEx} = 2.447 * \text{RMSEy}$$

$$= 2.447 * \text{RMSEr}/1.4142$$

$$\text{Accuracyr} = 1.7308 * \text{RMSEr}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. IMAGEN DEM SRTM OBTENIDA CON EL GLOBAL MAPPER 18.0

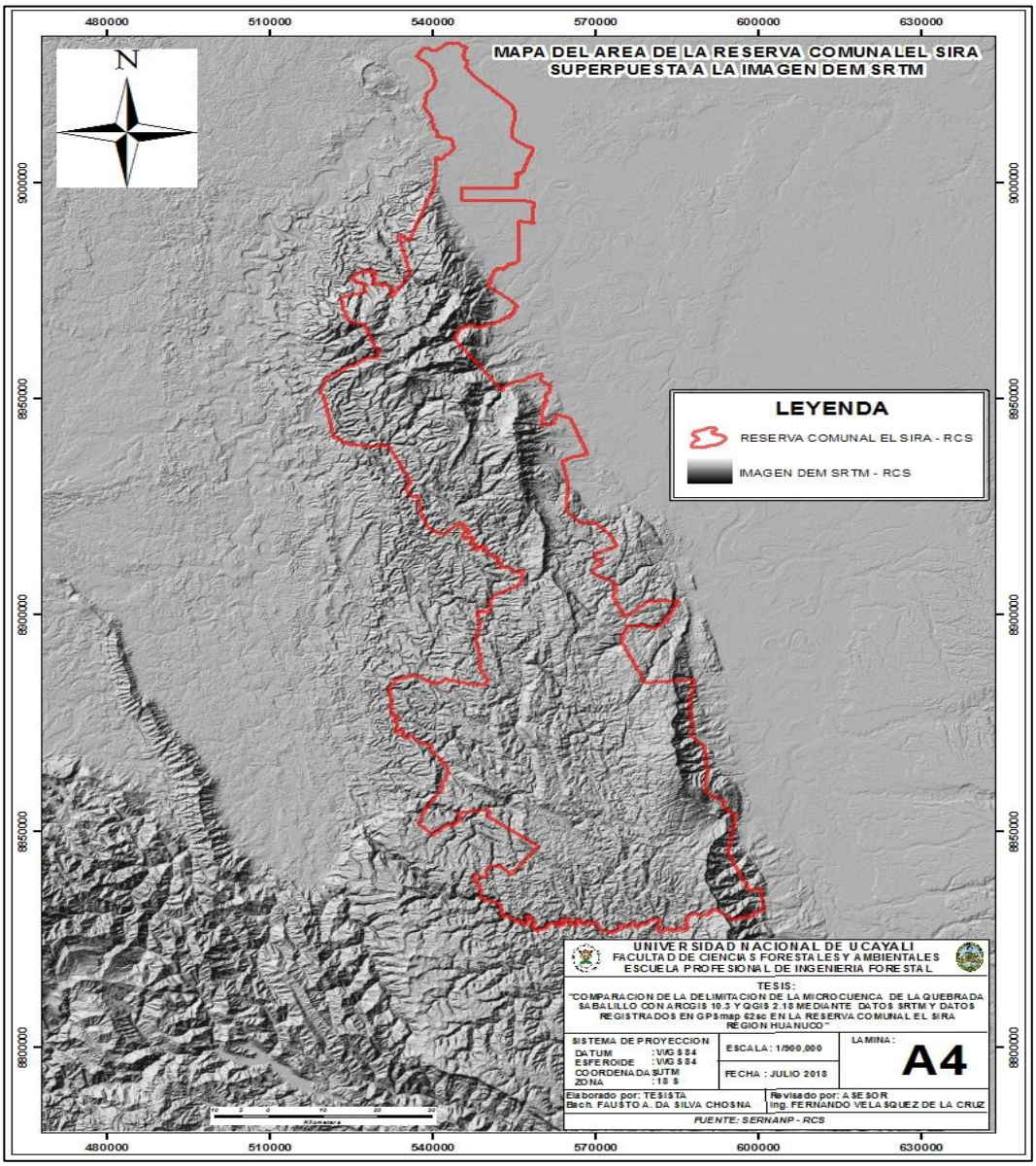


Figura 9. Imagen DEM superpuesta sobre el área de la Reserva Comunal El Sira.

Con una resolución de 30 x 30 metros de pixel, esta imagen sirvió para la delimitación de la divisoria de cuenca y la red de drenaje de la microcuenca de la quebrada “Sabalillo”, tanto para Hydrology y R.Watershed.

4.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON EL GPS MAP 62SC GARMIN

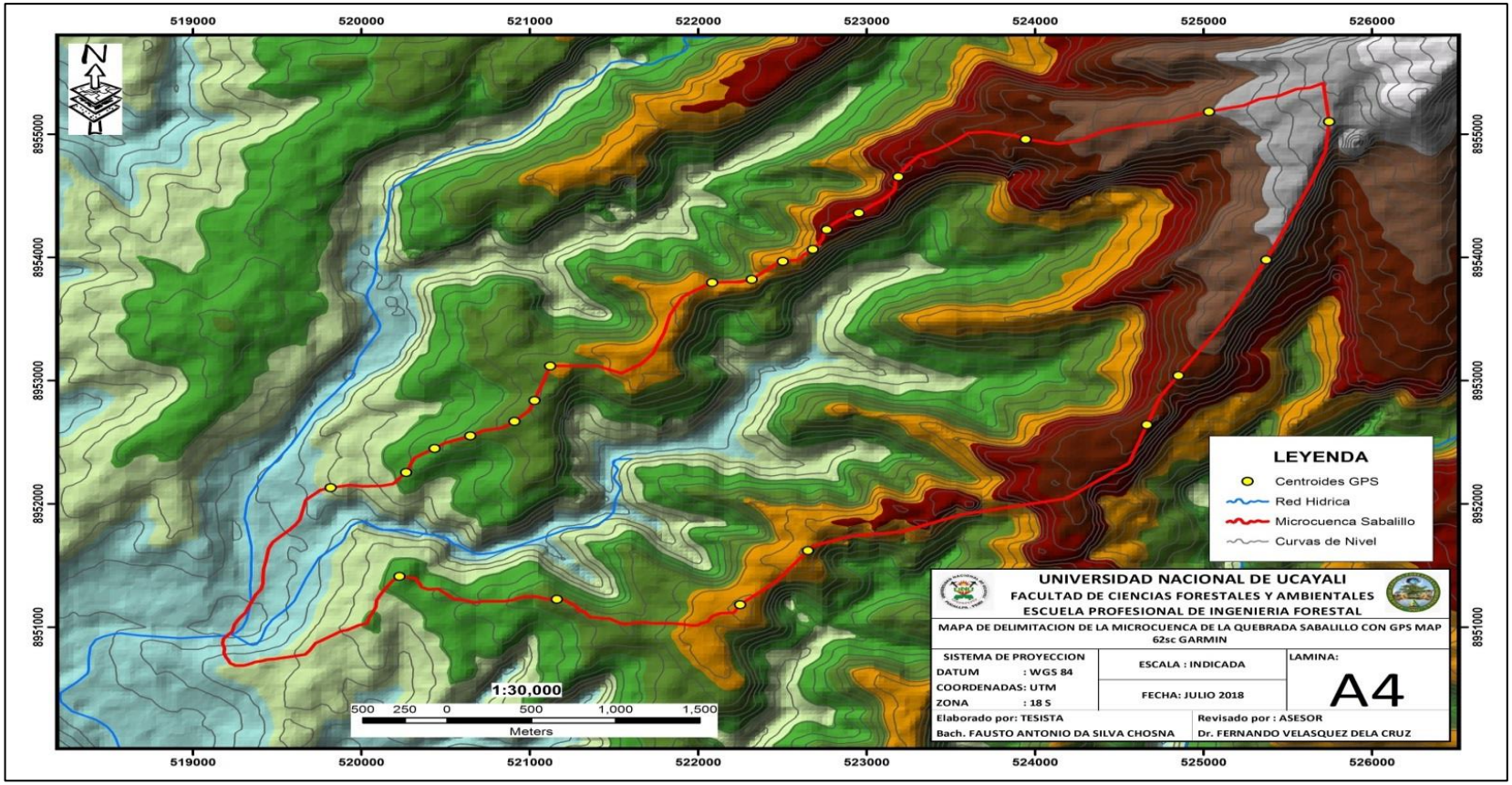


Figura 10. Mapa de delimitación de la microcuenca "Sabalillo" con el GPS map 62sc Garmin

Con el GPS se delimitó la divisoria de la microcuenca "Sabalillo", y se obtuvo, también, puntos de las colinas más altas de la divisoria de cuenca.

4.3. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON HYDROLOGY (ARCGÍS)

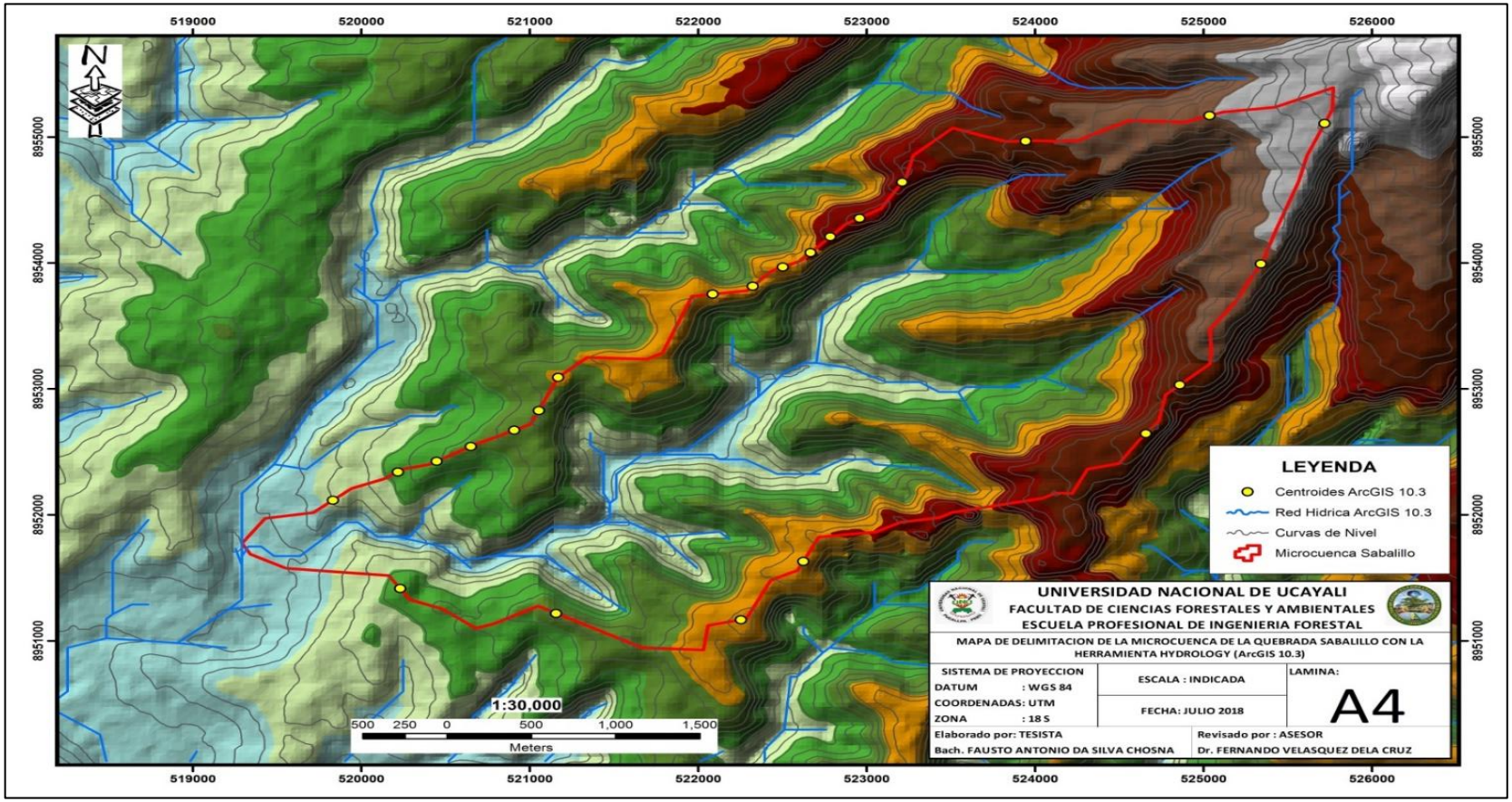


Figura 11. Delimitación de la micro-cuenca "Sabalillo" con Hydrology

Se calculó que la micro cuenca cuenta con un área de 788746.67 m^2 (78.8746 ha) y un perímetro de 4322.7422 m (4.3227 Km).

4.4. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA "SABALILLO" CON R.WATERSHED (QGIS)

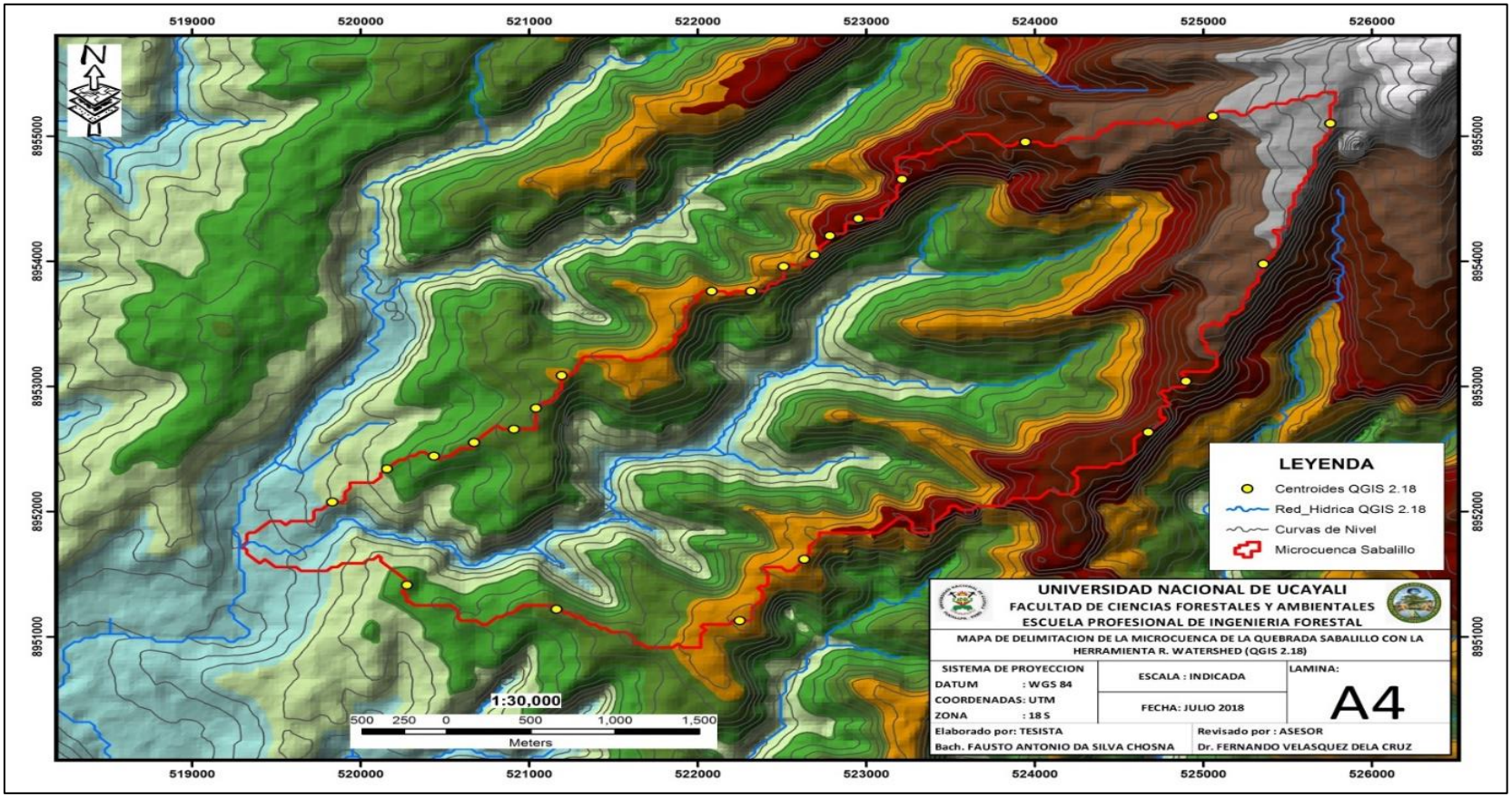


Figura 12. Delimitación de la microcuenca "Sabalillo" con R.Watershed

Se calculó que la micro cuenca cuenta con un área de 750268 m^2 (75.0268 ha) y un perímetro de 5771.1929 m (5.7711 Km).

4.5. CÁLCULO DE ERRORES DE LA HERRAMIENTA HYDROLOGY

Tabla 1. Errores de Geoubicación de los centroides obtenidos con la herramienta Hydrology de ArcGÍS 10.3.

CME GEO UBICACIÓN		
COORDENADAS	**X**	**Y**
Max	48.114	75.817
Min	0	0
CME	16.702	24.646
CMEr	29.772	
95% IC	51.530	

Se encontró un CMEr de 29.77 metros, y al 95% de confiabilidad un error de 51.53 metros; y errores máximos en X de 48.11 metros y en Y de 75.81 metros. Para que los datos sean confiables, el CMEr al 95% tendría que ser mayor que los errores máximos en los ejes, pero no es así; esto significa que la herramienta Hydrology no presenta datos confiables en el manejo de cuencas.

Referente al cálculo de error en el uso de esta herramienta, se encontró un trabajo de Urrunaga *et al.,* (2014), quien utilizó el Hydrology para delinear de forma digital la cuenca de la quebrada Zancudal en el CICFOR – MACUYA, en la cual encontró un CMEr de 23.05 metros y al 95% de confiabilidad un error de 39.89 metros; y errores máximos en X de 45 metros y en Y de 49 metros. Esto en la plataforma de ArcGís 10.1.

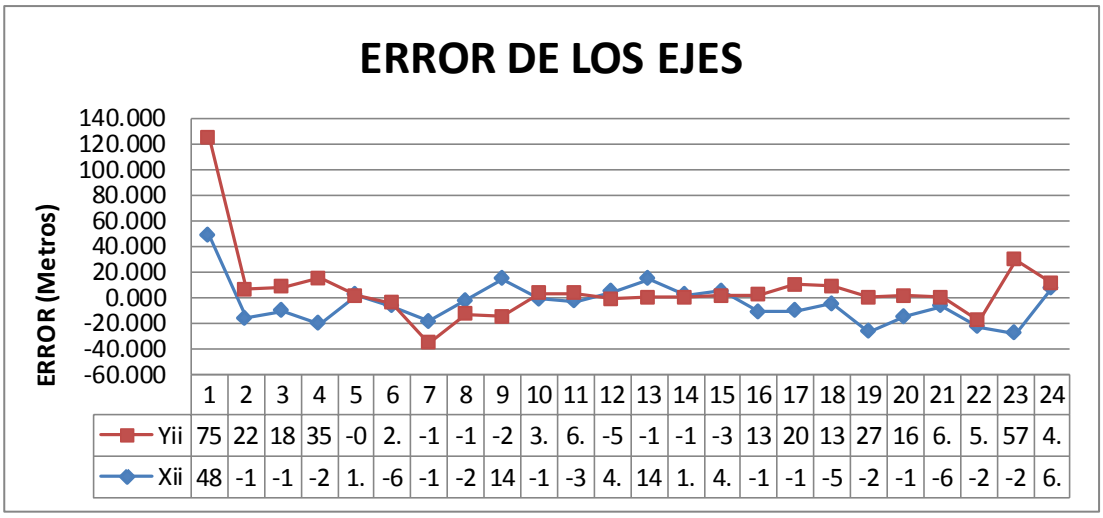


Figura 13. Errores de los ejes X, Y obtenidos con Hydrology

En esta figura se puede observar la dispersión de los errores por punto de las coordenadas X, Y. Se observa que el eje Y presenta mayor acumulación de errores respecto al eje X.

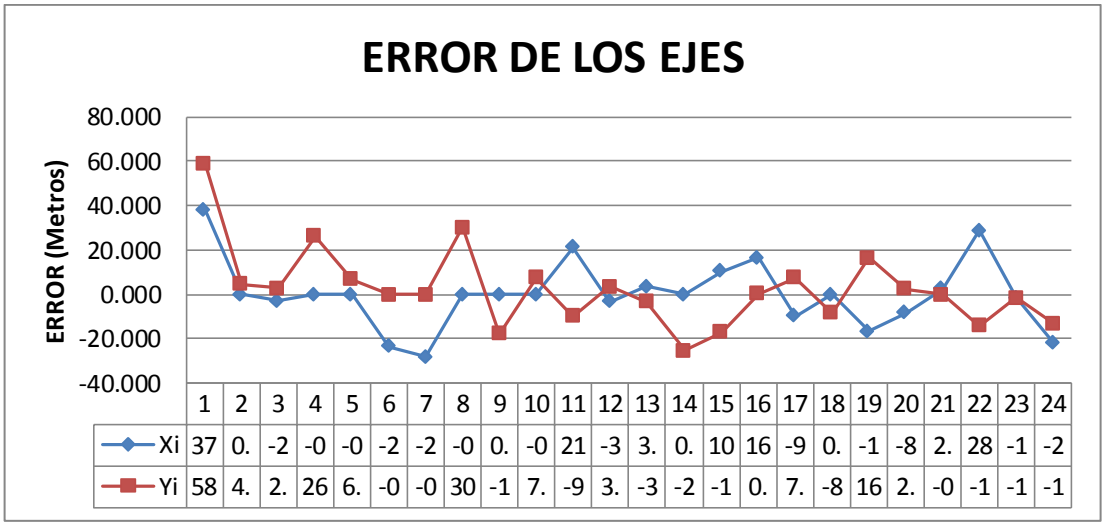
4.6. CÁLCULO DE ERRORES DE LA HERRAMIENTA R.WATERSHED

Tabla 2. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con la herramienta R.Watershed de QGIS 2.18.

CME GEO UBICACIÓN		
COORDENADAS	**X**	**Y**
Max	37.964	58.847
Min	0	0
CME	15.010	17.500
CMEr	23.055	
95% IC	39.904	

Mediante el uso de esta herramienta se encontró un CMEr de 23.05 metros y al 95% de confiabilidad un error de 39.90 metros; y errores máximos en X de 37.96 metros y en Y de 58.84 metros. Para que los datos sean confiables el CMEr al 95% tendría que ser mayor que los errores

máximos en los ejes, pero no es así; esto significa que la herramienta R.Watershed no presenta datos confiables en el manejo de cuencas. Cabe recalcar que no se encontró bibliografía, referente al cálculo de error en el uso de esta herramienta.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Xi	37	0.	-2	-0	-0	-2	-2	-0	0.	-0	21	-3	3.	0.	10	16	-9	0.	-1	-8	2.	28	-1	-2
Yi	58	4.	2.	26	6.	-0	-0	30	-1	7.	-9	3.	-3	-2	-1	0.	7.	-8	16	2.	-0	-1	-1	-1

Figura 14. Errores de los ejes X, Y obtenidos con R.Watershed

En esta figura, se puede observar la dispersión de los errores por punto de las coordenadas X, Y. Se observa que el eje Y presenta mayor acumulación de errores respecto al eje X.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. R.Watershed (QGIS 2.18), es la herramienta que presenta menor error de geo ubicación, con respecto a los centroides registrados con el GPS map 62sc Garmin.

2. Se determinó errores planimétricos (eje X, Y) para la herramienta R.Watershed con un RMSEr de 23.055 metros y para la herramienta Hydrology un RMSEr de 29.772.

3. Las tablas muestran que tanto para R.Watershed e Hydrology, el mayor número de errores se encuentran en el eje Y.

4. Se obtuvo errores planimétricos elevados en ambos métodos de delimitación de la microcuenca, tanto para R.Watershed e Hydrology.

5. La delimitación de cuencas con R.Watershed, muestra ciertas ventajas de forma, respecto al Hydrology, ya que R.Watershed sigue la dirección del Pixel, una línea puede ser horizontal o vertical, mientras que Hydrology la divisoria de cuenca va en cualquier dirección.

6. La microcuenca de la quebrada “Sabalillo” tiene un área de 91.9 ha y un perímetro de 5.38 kilómetros con R.Watershed se obtuvo un área de 75.0268 ha y un perímetro de 5.7711 kilómetros. Con Hydrology se obtuvo un área de 78.8746 ha y un perímetro de 4.3277 kilómetros.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar los estudios con otros softwares relacionados al manejo de cuencas, que permita obtener información actualizada sobre las características morfométricas de la microcuenca de la quebrada “Sabalillo”.

2. Se recomienda levantar la cuenca “Sabalillo” con un GPS submétrico para obtener coordenadas X, Y, y Z con precisión submétrica y compararlo con las coordenadas registradas con los softwares de delineación automática de cuencas.

3. Se recomienda realizar descargas de Modelos Digitales de Elevación más actuales disponibles en la plataforma de LAND VIEWER para realizar diversos trabajos relacionados a geoubicación espacial.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Bosque, S. (2000). Sistemas de Información Geográfica, segunda edición, Madrid 450 p.

Burrough, P. (1994). Principles of Geographical Information Systems for land ressources assessment. Oxford Science.

CRICYT. (2009). Red Hidrográfica. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/RedHidro6.htm

Del Aguila, E. (2014). Comparación de la Delimitación de la Micro Cuenca "El Zancudal" con Hydrology y Archydro Tools en el CICFOR – Macuya. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

Del Bosque, I.; Fernández, C.; Martín, L.; Pérez, E. (2012). Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales. Confederación Española de Centros de Estudios Locales (CSIC).

Estela, E. (2011). Trazo de un Camino Forestal con Datos del SRTM en el Bosque CICFOR – Macuya. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

ESRI. (2018). Geoprocesamiento - Informática con datos geográficos. Obtenido de ArcGIS Resources: http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000004000000.htm)

Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. Universidad Nacional de Costa Rica.

Farr, T. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183. Pp 21- 22.

Felicísimo, A. (1994). Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales. 118 p.

INEGI (2018). ¿Qué es un modelo digital de elevación? En línea: Consultado 26/05/18. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx

Jarvis, A.; Rubiano, J.; Nelson, A.; Farrow, A.; Mulligan, M. (2004). Practical use of SRBM data in the tropics - Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. CIAT, Cali, Colombia. Working Document No. 198, 32 p.

Mathew, C. (2008). USGS Programa GeoSUR. Desarrollo de Mapas de Relieve. Hidrografía y Derivados para Suramérica. Corporación Andina de Fomento (CAF). 150 p.

NASA. (2005). Shuttle Radar Topography Mission: Instruments. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm.

Olaya, V. (2011). Sistemas de Información Geográfica.

Puerta, R.; Rengifo, J.; Bravo, N. (2013). Manual de ArcGIS, nivel intermedio. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. 35 p.

Roa, J. y Kamp, U. (2008). Modelos de Elevación Digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 49(1) 2008, 11 – 42.

Rodríguez, E.; Morris, C.; Belz, J. (2006). A Global Assessment of the SRTM Performance: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: www.asprs.org/publications.

SERNANP. (2015). Manejo Básico de QGIS para el uso en Sistemas de Información Geográfica en ANP.

Valeriano, M.; Kuplich, T.; Storino, M.; Amaral, B.; Medes, J.; Lima, D. (2005). Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90 m data: Computers and Geosciences, v. 32 p.

Villalta, V. (2014). Manual delimitación de cuencas. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://www.gispoint.es/manual_cuencas.pdf.

Wikipedia. (2018). Modelos digitales de terreno MED. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle

Wikipedia. (2018). Cuencas y sus partes. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/cuencas.

Wikipedia. (2018). Sistema de información geográfica. En línea: Consultado 22/05/2018. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica

ANEXOS

ANEXO 1

FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ERROR PLANIMÉTRICO

✶ **Datos de trazo de la cuenca real GPS map 62sc (Waypoints).**

PUNTO	X	Y
1	519909.03231615	8952278.121
2	520460.59080869	8952449.862
3	520599.71001021	8952532.377
4	520796.36821256	8952652.118
5	521036.81474704	8952753.149
6	521119.13446366	8952940.615
7	521144.56563693	8953075.596
8	520976.45054578	8953167.896
9	520877.47847067	8953240.367
10	520722.68485660	8953205.293
11	520607.18638760	8953165.664
12	520524.05887142	8953105.343
13	520468.04742569	8953050.535
14	520404.58593351	8953022.044
15	520355.49566653	8952977.514
16	520271.28277389	8952938.863
17	520169.70888448	8952866.499
18	520077.37383326	8952828.294
19	519971.31764243	8952789.432
20	519900.47655612	8952711.082
21	519790.87389714	8952605.774
22	519726.82429211	8952498.785
23	519636.66551910	8952420.886
24	519555.83268550	8952334.027

✶ **Datos digitales de la cuenca de la quebrada Sabalillo usando los datos de Hydrology.**

PUNTO	X	Y
1	519860.919	8952202.304
2	520476.745	8952427.670
3	520610.233	8952514.093
4	520816.949	8952616.810
5	521035.136	8952753.815
6	521125.917	8952938.241
7	521163.804	8953092.084
8	520979.420	8953178.359
9	520863.377	8953269.534
10	520723.932	8953201.331
11	520610.619	8953159.149
12	520519.855	8953111.121
13	520453.693	8953065.106
14	520402.814	8953023.699
15	520350.698	8952981.285
16	520282.520	8952925.800
17	520180.577	8952845.906
18	520082.454	8952814.840
19	519998.418	8952762.237
20	519915.690	8952694.910
21	519797.776	8952598.948
22	519750.383	8952493.638
23	519665.108	8952363.166
24	519548.964	8952329.964

✶ **Datos digitales de la cuenca de la quebrada Sabalillo usando los datos del R.Watershed.**

PUNTO	X	Y
1	519871.068	8952219.275
2	520460.568	8952445.134
3	520602.521	8952529.575
4	520796.437	8952625.821
5	521036.839	8952746.279
6	521142.624	8952940.695
7	521172.720	8953075.744
8	520976.497	8953137.767
9	520877.416	8953258.225
10	520722.740	8953197.996
11	520585.848	8953175.410
12	520527.464	8953101.934
13	520464.551	8953054.039
14	520404.507	8953047.424
15	520345.080	8952994.723
16	520254.792	8952938.768
17	520179.552	8952859.208
18	520077.351	8952836.622
19	519987.932	8952772.871
20	519908.688	8952708.635
21	519788.304	8952605.778
22	519698.016	8952512.891
23	519638.073	8952422.299
24	519577.632	8952347.261

✶ **Cálculo de error con Hydrology.**

PUNTO	X	X1	diff in X	diff in X2	Y	Y1	diff in Y	diff in Y2	diff in X2 + diff in Y2	1/2*(diff X2 + diff Y2)
1	519909.032	519860.919	48.114	2314.914	8952278.121	8952202.304	75.817	5748.243	8063.157	89.795
2	520460.591	520476.745	-16.154	260.956	8952449.862	8952427.670	22.192	492.494	753.450	27.449
3	520599.710	520610.233	-10.523	110.737	8952532.377	8952514.093	18.284	334.290	445.027	21.096
4	520796.368	520816.949	-20.580	423.555	8952652.118	8952616.810	35.308	1246.664	1670.220	40.868
5	521036.815	521035.136	1.679	2.818	8952753.149	8952753.815	-0.666	0.444	3.262	1.806
6	521119.134	521125.917	-6.783	46.007	8952940.615	8952938.241	2.374	5.634	51.641	7.186
7	521144.566	521163.804	-19.239	370.132	8953075.596	8953092.084	-16.488	271.868	642.000	25.338
8	520976.451	520979.420	-2.969	8.818	8953167.896	8953178.359	-10.463	109.477	118.295	10.876
9	520877.478	520863.377	14.102	198.856	8953240.367	8953269.534	-29.166	850.676	1049.533	32.396
10	520722.685	520723.932	-1.248	1.557	8953205.293	8953201.331	3.963	15.701	17.258	4.154
11	520607.186	520610.619	-3.432	11.782	8953165.664	8953159.149	6.515	42.451	54.232	7.364
12	520524.059	520519.855	4.204	17.676	8953105.343	8953111.121	-5.778	33.388	51.063	7.146
13	520468.047	520453.693	14.354	206.036	8953050.535	8953065.106	-14.571	212.316	418.352	20.454
14	520404.586	520402.814	1.772	3.139	8953022.044	8953023.699	-1.655	2.738	5.877	2.424
15	520355.496	520350.698	4.798	23.017	8952977.514	8952981.285	-3.771	14.219	37.236	6.102
16	520271.283	520282.520	-11.238	126.283	8952938.863	8952925.800	13.063	170.639	296.922	17.231
17	520169.709	520180.577	-10.868	118.116	8952866.499	8952845.906	20.593	424.085	542.201	23.285
18	520077.374	520082.454	-5.080	25.805	8952828.294	8952814.840	13.454	181.007	206.813	14.381
19	519971.318	519998.418	-27.101	734.454	8952789.432	8952762.237	27.195	739.587	1474.042	38.393
20	519900.477	519915.690	-15.213	231.448	8952711.082	8952694.910	16.172	261.526	492.974	22.203
21	519790.874	519797.776	-6.902	47.638	8952605.774	8952598.948	6.826	46.600	94.238	9.708
22	519726.824	519750.383	-23.559	555.019	8952498.785	8952493.638	5.147	26.487	581.505	24.114
23	519636.666	519665.108	-28.442	808.950	8952420.886	8952363.166	57.719	3331.521	4140.472	64.346
24	519555.833	519548.964	6.869	47.184	8952334.027	8952329.964	4.062	16.500	63.685	7.980

✶ **Cálculo de error con R.Watershed**

PUNTO	X	X1	diff in X	diff in X2	Y	Y1	diff in Y	diff in Y2	diff in X2 + diff in Y2	1/2*(diff X2 + diff Y2)
1	519909.032	519871.068	37.964	1441.289	8952278.121	8952219.275	58.847	3462.931	4904.221	70.030
2	520460.591	520460.568	0.023	0.001	8952449.862	8952445.134	4.729	22.362	22.363	4.729
3	520599.710	520602.521	-2.811	7.902	8952532.377	8952529.575	2.802	7.851	15.753	3.969
4	520796.368	520796.437	-0.068	0.005	8952652.118	8952625.821	26.297	691.546	691.550	26.297
5	521036.815	521036.839	-0.024	0.001	8952753.149	8952746.279	6.871	47.206	47.207	6.871
6	521119.134	521142.624	-23.490	551.758	8952940.615	8952940.695	-0.080	0.006	551.765	23.490
7	521144.566	521172.720	-28.154	792.668	8953075.596	8953075.744	-0.149	0.022	792.690	28.155
8	520976.451	520976.497	-0.046	0.002	8953167.896	8953137.767	30.129	907.734	907.736	30.129
9	520877.478	520877.416	0.063	0.004	8953240.367	8953258.225	-17.858	318.906	318.910	17.858
10	520722.685	520722.740	-0.055	0.003	8953205.293	8953197.996	7.297	53.246	53.249	7.297
11	520607.186	520585.848	21.338	455.327	8953165.664	8953175.410	-9.746	94.984	550.311	23.459
12	520524.059	520527.464	-3.406	11.598	8953105.343	8953101.934	3.409	11.623	23.221	4.819
13	520468.047	520464.551	3.496	12.224	8953050.535	8953054.039	-3.504	12.279	24.502	4.950
14	520404.586	520404.507	0.079	0.006	8953022.044	8953047.424	-25.380	644.122	644.128	25.380
15	520355.496	520345.080	10.416	108.486	8952977.514	8952994.723	-17.209	296.148	404.634	20.116
16	520271.283	520254.792	16.491	271.946	8952938.863	8952938.768	0.095	0.009	271.955	16.491
17	520169.709	520179.552	-9.843	96.887	8952866.499	8952859.208	7.291	53.163	150.050	12.250
18	520077.374	520077.351	0.023	0.001	8952828.294	8952836.622	-8.328	69.358	69.359	8.328
19	519971.318	519987.932	-16.615	276.052	8952789.432	8952772.871	16.561	274.259	550.311	23.459
20	519900.477	519908.688	-8.211	67.428	8952711.082	8952708.635	2.446	5.984	73.411	8.568
21	519790.874	519788.304	2.570	6.604	8952605.774	8952605.778	-0.004	0.000	6.604	2.570
22	519726.824	519698.016	28.808	829.918	8952498.785	8952512.891	-14.107	198.996	1028.914	32.077
23	519636.666	519638.073	-1.407	1.980	8952420.886	8952422.299	-1.413	1.997	3.977	1.994
24	519555.833	519577.632	-21.799	475.210	8952334.027	8952347.261	-13.235	175.162	650.373	25.502

ANEXO 2

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 15. Tesista y equipo técnico del SERNANP – RCS



Figura 16. Vigilantes Comunales de apoyo al equipo técnico del SERNANP



Figura 17. Llegada a la quebrada “Sabalillo”, que vierte sus aguas en el río Yuyapichis.



Figura 18. Personal Guardaparque del SERNANP y Tesista



Figura 19. Tesista tomando Datos Track de la quebrada Sabalillo



Figura 20. Tesista tomando Datos Track de la Divisoria de la Cuenca