UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL.

“ESTUDIO COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO DE LA MICROCUENCA CUENCA EL BARBÓN CON GRASS GIS, SAGA GIS Y DATOS DE CAMPO EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

JULIO JAVIER SÁNCHEZ SÁNCHEZ

PUCALLPA – PERÚ

2020

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 403

En el Laboratorio de Cultivo de Tejidos y Meristemas de la Universidad Nacional de Ucayali, siendo las 12:30 pm del día lunes 30 de diciembre del 2019. Se reunieron los miembros del Jurado Evaluador conformado por los siguientes docentes:

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza	**Presidente**
Dr. Fredy Velásquez Ramírez	**Miembro**
Ing. M.Sc. César Mori Montero	**Miembro**

Para evaluar la sustentación y defensa del Trabajo de Investigación titulado: **"ESTUDIO COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO DE LA MICROCUENCA CUENCA EL BARBÓN CON GRASS GIS, SAGA GIS Y DATOS DE CAMPO EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"**, presentado por el Bachiller **JULIO JAVIER SÁNCHEZ SÁNCHEZ.**

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. En consecuencia, la Tesis fue **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**.

Siendo la 01:30 pm 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

.....
Dr. Fredy Helar Velásquez Ramírez
Miembro

.....
Ing. M.Sc. César Mori Montero
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

Dr. Fredy Helar Velásquez Ramírez ..... Miembro

Ing. M.Sc. César Mori Montero ..... Miembro

Dr. Fernando Velásquez De La Cruz ..... Asesor

Bach. Julio Javier Sánchez Sánchez ..... Tesista

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

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/002-2020

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

"ESTUDIO COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO DE LA MICROCUENCA CUENCA EL BARBON CON GRASS GIS, SAGA GIS Y DATOS DE CAMPO EN LA RESERVA COMUNAL EL SIRA – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"

Cuyo autor (es)	:	**SÁNCHEZ SÁNCHEZ, JULIO JAVIER**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela Profesional	:	**INGENIERÍA FORESTAL**
Asesor	:	**Mg. Velásquez De La Cruz, Fernando**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 05%.**

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: 09/06/2020

Dra. DINA PARI QUISPE
Dirección General de Producción Intelectual

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Julio Javier Sánchez Sánchez

Autor de la TESIS titulada:

"Estudio comparativo del levantamiento de la microcuenca El Barbón con GRASS GIS, SAGA GIS y datos de campo en la Reserva Comunal El Sira - departamento de Huánuco"

Sustentada el año: 2019

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: 22 / 06 / 2020

Email: julio.sanchez9106@gmail.com

Firma:

Teléfono: 956145369

DNI: 47204467

DEDICATORIA

A Dios, por concederme la vida y la salud, por ser fuente de amor y sabiduría, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante toda mi vida.

A mis padres Luis Marcial Sánchez Pinedo y Rosa Irene Sánchez Tejada, como una muestra de mi profundo amor, admiración, gratitud y respeto, por sus sabios consejos y el espíritu de lucha constante que me enseñaron, para seguir adelante y hacer de mi lo que soy.

A Keyko Maribel Shimamoto Armas, quien es mi compañera hace más de una década y sigue compartiendo el camino a mi lado.

A mi hermana, que con su nacimiento me enseñó a conocer los milagros de Dios.

A mis abuelos, que siempre han sabido darme los más sabios consejos.

A mis maestros, por los conocimientos y experiencias impartidos durante mi formación profesional.

A mis amigos, por estar presente en las diferentes etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Ucayali, mi alma mater de formación y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por sus enseñanzas y esmero en la formación de profesionales de éxito.

A mi asesor, Dr. Fernando Velázquez De La Cruz, por su valioso conocimiento científico y tiempo brindado en la ejecución de la presente tesis.

Al Bach. Fausto Antonio Da Silva Chosna, por brindarme su apoyo incondicional en la ejecución de la presente investigación.

A la Jefatura de la Reserva Comunal El Sira (RCES) del SERNANP por brindarme su apoyo con la logística necesaria para la ejecución de la presente investigación.

A la comunidad Nativa “Nueva Austria del Sira” (Asháninka–Yanesha), por brindarme su apoyo incondicional en las actividades netamente de campo.

A las personas que han colaborado de una u otra manera en la ejecución de la presente investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xi
RESUMEN xii
ABSTRACT xiii
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 4
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 4
2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO 5
2.2.1. Sistema de Información Geográfica 5
2.2.2. Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) 7
2.2.3. Representación digital de los datos geográficos 7
2.2.4. Modelos digitales del terreno 10
2.2.5. Modelos de Elevación Digital (MED) 13
2.2.6. Datos satelitales de elevación digital 14
2.2.7. Los datos del SRTM 14
2.2.8. Cuencas 17
2.2.9. Software QGIS 21
2.2.10. GRASS 21
2.2.11. SAGA 22
2.2.12. Áreas Naturales Protegidas 22
2.2.13. Reserva Comunal El Sira 22
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 24
3.1. ÁREA DE ESTUDIO 24
3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 25

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....25
3.3.1. Población.....25
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.....26
3.5.1. Recolección de datos de campo.....26
3.5.2. Recolección de los datos digitales del SRTM (DEM).....27
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS.....28
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....31
4.1. Resultados software Global Mapper..... 31
4.2. Delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Barbón” con el GRASS.....32
4.3. Delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Barbón” con el SAGA.....35
4.4. Delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Barbón”, con el GPS Monterra Garmin.....34
4.5. Comparación de la microcuenca de la quebrada “El Barbón”, con SAGA, GRASS y GPS Monterra Garmin.....35
4.6. Cálculo de errores de GRASS.....36
4.7. Cálculo de errores de SAGA.....37
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....38
5.1. CONCLUSIONES.....38
5.2. RECOMENDACIÓNES.....39
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....40
ANEXOS.....43

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Interpretación cartográfica vectorial (izquierda) y raster (derecha) de elementos geográficos……..	8
Figura 2.	Dimensión espacial de los datos en un SIG……..	9
Figura 3.	Esquema general de un SIG indicando las capas temáticas que lo integran…….	10
Figura 4.	Cuenca hidrográfica……..	17
Figura 5.	Mapa de ubicación de la Reserva Comunal El Sira…….	24
Figura 6.	Mapa de ubicación del área de estudio…….	25
Figura 7.	Metodología……	28
Figura 8.	Imagen DEM superpuesta sobre el área de la Reserva Comunal El Sira…….	31
Figura 9.	Mapa de delimitación de la microcuenca “El Barbón” con GRASS……	32
Figura 10.	Mapa de delimitación de la microcuenca “El Barbón” con SAGA……..	33
Figura 11.	Mapa de delimitación de la microcuenca “El Barbón” con el GPS Monterra Garmin……..	34
Figura 12.	Comparación de la delimitación de la microcuenca “El Barbón”……	35
Figura 13.	Errores de los ejes X e Y. obtenidos con GRASS……	36
Figura 14.	Errores de los ejes X e Y. obtenidos con SAGA……..	37
Figura 15.	Tesista y equipo técnico de campo del SERNANP para el levantamiento de la microcuenca……	49
Figura 16.	Vigilante Comunal “trochero”……...	50
Figura 17.	Recorrido levantando el perímetro de la microcuenca……	50
Figura 18.	Desembocadura de la quebrada el Barbón en el Río Yuyapichis……..…….	51
Figura 19.	Levantamiento de datos con GPS Garmin Monterra……..	51

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con GRASS…… 36

Tabla 2. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con SAGA……... 37

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo general “Comparar la delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Barbón”, empleando dos complementos de la plataforma del programa QGIS (Sistema de información geográfica cuántica)”, como son: el GRASS (Sistema de Apoyo de Análisis de Recursos Geográficos) y el SAGA (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados), donde se tomó como referencia para el estudio, la delimitación *in situ* de la microcuenca “El Barbón”; cuyo método de investigación empleado fue “Experimental y Comparativa”. Teniendo como población estadística a todos los puntos de coordenadas X-Y, tomados de los datos de DEM (Modelo de Elevación Digital) de la SRTM (Misión Topográfica Shuttle Radar) con 30 metros de pixel, correspondientes al área de la Reserva Comunal El Sira, y la muestra estuvo comprendida por las coordenadas X-Y de 30 puntos más elevados de la línea divisoria de cuencas, medidos desde el inicio hasta el final de la misma, con la ayuda del equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global) Navegador Garmin Monterra. Cuyo resultado obtenido del procesamiento de datos fue que con el complemento GRASS se obtuvo errores máximos de geo ubicación en el eje X de 31 metros y en el eje Y de 33 metros, con un CMEr de 18.482 metros; y con el complemento SAGA se obtuvo errores máximos de geo ubicación en el eje X de 24 metros y en el eje Y de 54 metros, con un CMEr de 28.555; quedando evidenciado que el complemento GRASS es el que presenta mayor precisión.

Palabras claves: Microcuenca, GRASS, SAGA, QGIS.

ABSTRACT

This thesis research aimed to compare the delimitation of the micro-basin of the El Barbón creek, using two complements of the QGIS software platform (Quantum Geographic Information System), which are GRASS (Support System for Geographic Resources Analysis) and SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis), taking as reference the in situ delimitation of the El Barbón microbasin with GPS equipment (Global Positioning System) Garmin Monterra Navigator. An experimental and comparative research method was analyzed. The population under study are all X, Y coordinate points corresponding to the area of the El Sira Communal Reserve, taken from the DEM (Digital Elevation Model) data of the SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) with 30 pixel pixels and The sample includes the X, Y coordinates of 30 more extended points of the dividing line of signals taken from the beginning of the basin, until the end of the same recorded with the GPS navigator Garmin Monterra. If you determine what these two methods of delimitation of the basin are, providing greater precision in the results, finding with the GRASS complement maximum errors of geographical location in the X axis of 31 meters and in the Y axis of 33 meters, with a CMEr of 18,482 meters; and with the complement SAGA maximum errors of geographical location in the X axis of 24 meters and in the Y axis of 54 meters, with a CMEr of 28,555, evidencing that GRASS is the one that presents the highest precision.

Keywords: Micro-watershed delimitation, GRASS, SAGA, QGIS.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS), en los últimos años han venido implementando herramientas sofisticadas para el manejo de cuencas, que nos permite analizar, delimitar y comparar, entre otras opciones de trabajo, de manera rápida y sencilla.

Los complementos GRASS (Sistema de Apoyo de Análisis de Recursos Geográficos) y SAGA (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados) utilizan como base, la plataforma del QGIS (Sistema de Información Geográfica Cuántica); estas aplicaciones externas permiten delimitar cuencas y crear redes de drenaje a través de DEM (Modelos de Elevación Digital). Así mismo, el uso de estos complementos permite obtener resultados que pueden ser comparados con los datos reales registrados *in situ,* y con ello, conocer el margen de error obtenido.

La Reserva Comunal El Sira, como Área Natural Protegida, es de gran importancia hidrológica, ya que en la mencionada Reserva se protege cabeceras de cuencas, que vierten aguas hacia los ríos Ucayali, Pachitea, Pichis y otros; lo cual hace que se tenga y se brinde importantes servicios ecosistémicos para el país.

La quebrada “El Barbón”, es una microcuenca de mucha importancia ecológica, que se encuentra al interior de la Reserva Comunal El Sira, y en el que se llevan a cabo acciones de patrullaje en toda el área de conservación, para estimar una superficie controlada.

Por ello, es que se ha propuesto como objetivo general “Delimitar la cuenca de la quebrada El Barbón con los complementos GRASS y SAGA y comparar los resultados del procesamiento, con los datos de campo registrados en el GPS Garmin Monterra”; cuya finalidad es determinar el complemento que brinda resultados con menos errores planimétricos, para el manejo de microcuencas hidrográficas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

SERNANP (2015), manifiesta que en los últimos años, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han convertido en un instrumento fundamental para la gestión de conservación de espacios geográficos, cuyos valores son considerados como muestras representativas de diversidad biológica y demás valores asociados.

Además, SERNANP (2015), afirma que la mayor parte de la información que se genera en la gestión moderna de las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), tiene un componente espacial geográfico (coordenadas), y para trabajarlo es necesario contar con un programa SIG, ya que ello nos permitirá procesar informaciones satelitales y generar reportes que se utilizan en la gestión de la conservación, tales como: la elaboración de mapa de zonificación de un área protegida, la planificación de patrullajes, el registro, la demarcación física, distribución de especies y la determinación de ámbitos de control, así como el modelamientos de escenarios futuros que permitan hacer una planificación prospectiva.

Así mismo, SERNANP (2015) manifiesta que gracias a las recientes tecnologías de los ‘software libre’, muchas de las personas a nivel mundial pueden acceder gratuitamente, tal es el caso del QGIS, que es un “software” del SIG, cuya licencia no tiene costo alguno y que su instalación es más sencilla que los demás software con costo de licencia; además, es un software de código abierto, que contiene una extensa documentación y aplicación disponible, proporcionando una gran gama de conocimiento, a través de sus Complementos y Funciones básicas que permiten gestionar, editar, analizar y visualizar datos, así como diseñar mapas imprimibles.

Los complementos GRASS y SAGA, son aplicaciones externas del GIS de código abierto para el análisis de Modelos de Elevación Digital (DEM), y son útiles para procesamiento de información relacionada al recurso hídrico, en el manejo de las cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas obtenidas con los complementos GRASS y SAGA, son usadas para estimar la superficie controlada, a través de patrullajes al interior de las Áreas Naturales Protegidas (ANP); como es el caso de la Reserva Comunal El Sira (RCES), donde los resultados obtenidos del procesamiento, proveen información necesaria para la toma de decisiones en la gestión de su territorio. No obstante, el presupuesto asignado para estos fines, no es lo suficiente para realizar la verificación en campo de toda la información geográfica proporcionada en cada ecosistema de esta Área Natural Protegida. Por lo que es necesario saber qué complemento (GRASS o SAGA) brinda información geográfica con menor error, y de esta manera extender su uso en los diferentes sectores administrativos de la Reserva Comunal El Sira.

Ante ello, se demarcó la microcuenca de la quebrada “El Barbón”, que está ubicado al interior de la Reserva Comunal El Sira, y que al encontrarse en el ecosistema de Laderas o Faldas del Sira, representa una cuenca de mucha importancia a nivel de la red hidrográfica del ANP, y que con ello sirvió para resolver la siguiente interrogante**:** ¿Cuál de los dos complementos (GRASS o SAGA), nos proporciona datos más precisos en la demarcación de la microcuenca de la quebrada El Barbón, respecto a los datos obtenidos in situ con GPS Garmin Monterra?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Hidalgo (2012), estableció un análisis comparativo entre delimitación en forma digital con el programa Arcgis 9.3 (con coordenadas UTM de los centroides de las curvas de nivel de los puntos más altos) con la delimitación en el campo registrado con la función track del GPS (con coordenadas de los Waypoints registradas en las cimas de las colinas), todo ello realizado en la divisoria de cuenca de la quebrada El Zancudal.

Así mismo, Hidalgo (2012), menciona que para la validación de los datos utilizó el test-cartográfico de la NSSDA, cuyos resultados reflejan que existen errores de geo ubicación de 34.86 metros, producto de dosel vegetal.

Ríos (2013), estableció una comparación cuantitativa entre la red hidrográfica obtenidos a través del SRTM (software Arcgis 10.0) con los datos recogidos en campo con GPS Map 60CSx, en el bosque del Centro de Investigación y Capacitación Forestal (CICFOR–Macuya), cuyos resultados indican que los datos proporcionados por el DEM son suficientes para la elaboración de la red hidrográfica, y que la red hidrográfica del área muestral obtenida del DEM es de 4 334.4 m de longitud siendo menos resaltante que la obtenida por el track de GPS en las variables con 10 765.6 metros de longitud.

Además, Ríos (2013), encontró que el promedio de la diferencia de los datos obtenidos del DEM y del track se GPS en las variables “X”, “Y” y “Z” es de -3.465 m, 0.343 m y 5.314 m respectivamente, el análisis estadístico comparativo nos muestra que existe cierta diferencia entre los dos métodos de levantamiento de la red hidrográfica, encontrando que los valores de “X” tienen más diferencia, seguidas por los valores de “Y”, y

con escasa diferencia en los valores de altura de “Z”.

Utilizando el método de análisis comparativo en su investigación, Gutiérrez (2014) encontró que los datos del DEM SRTM presentaron mayor grado de precisión en la exactitud vertical con respecto al ASTER GDEM (con resolución de 1 arco segundo (30 metros de pixel aproximado, para ambos), y de ello el más exacto pertenece a los datos SRTM con RMSEz de 9.474 y un índice de calidad cartográfica es de 18.569 metros, según la NNSDA, con un nivel de confianza 95%, lo que significa que un modelado de delimitación de cuenca con del DEM SRTM, es similar a la delimitación encontrado *in situ.*

Del mismo modo, Del Águila (2014), realizó la comparación de dos métodos de delimitación de la microcuenca de la quebrada “El Zancudal”, como son: la herramienta ArcHydrology y la extensión ArcHydro Tools, los cuales están contenidos en la plataforma del programa ArcGis 10.1; para ello tomó como referencia, la delimitación en campo de dicha microcuenca, tomados con GPS Garmin 60 CSx; cuyo objetivo de su investigación fue determinar cuál de estos dos métodos de delimitación de la cuenca, brinda menos errores y por ende, el más óptimo para su utilización. Concluyendo que la herramienta ArcHydrology presenta menos errores, ya sea en el eje X como en el eje Y; sin embargo, para la elaboración de drenajes, determinó que el ArcHydro tools es una extensión de mayor precisión.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO2.2.1. Sistema de Información Geográfica

Wikipedia (2019), manifiesta que un SIG (Sistema de Información Geográfica) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes tales como: usuarios → hardware → software → procesos, los cuales nos permiten organizar, almacenar, manipular, analizar y modelizar gran cantidad de datos provenientes del mundo real, y que están vinculados a una referencia espacial; facilitando de esta manera, la incorporación de aspectos económicos, sociales, culturales y ambientales, conllevando a tomar decisiones de manera eficaz.

En sentido estricto, los SIG son sistemas de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. Pero en sentido amplio, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. Por lo tanto, la tecnología de los SIG pueden ser utilizada para la gestión de los recursos, la planificación urbana, la arqueología, la cartografía, la sociología, el marketing, las investigaciones científicas, la gestión de activos, la evaluación del impacto ambiental, la geografía histórica, la logística por nombrar unos pocos.

Wikipedia (2019), manifiesta que un Sistema de Información (SI) consiste en la unión entre la información digital y la herramienta informática (programa), los cuales serán analizados para los objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Además, un SIG (Sistema de Información Geográfica) es parte del SI (Sistema de Información) en el que la información se presenta de manera georreferenciada, es decir, está incluido su posición en el espacio, el cual utiliza un sistema de coordenadas estandarizado, como resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM).

ESRI (2019), indica que un SIG es un sistema utilizado para describir y categorizar la tierra y otros componentes geográficos, cuyo objetivo es demostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente, a través de mapas; y este último está representada por colecciones lógicas de información geográfica como capas, el cual constituye una metáfora eficaz para modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas. Por ello, es que los mapas del SIG interactivos, ofrecen la interfaz de usuario principal, utilizada en la información geográfica.

FAO (2019), indica que los Sistemas de Información Geográficas, es parte de la ciencia o disciplina que ha evolucionado y sigue evolucionando muy rápidamente, tal es así que la definición de lo que es

o de lo que hace, cambia y se amplía sin cesar, hasta el punto de que cualquier definición que demos de ella ahora ya no será válida dentro de 5 o 10 años.

2.2.2. Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM)

Wikipedia (2019), indica que los sistemas de coordenadas “Universal Transversal de Mercator” (UTM) es un sistema basado en la proyección cartográfica transversal de Mercator, que se construye con la proyección de Mercator normal; lo que significa es que cuando se quiere hacerle tangente al Ecuador, se genera una secante a un meridiano. Además, las magnitudes en el sistema UTM son expresadas únicamente en metros y a nivel del mar, siendo este la base para la proyección del elipsoide de referencia; lo cual es diferente al sistema de coordenadas geográficas, ya que esta última está expresada en longitud y latitud.

2.2.3. Representación digital de los datos geográficos

Bosque (2000), manifiesta que el mapa tradicional es una representación analógica de la realidad, y por ende, no está adaptado para ser procesado por un ordenador que utiliza datos en formato digital. Por ello, antes de introducir los datos en un SIG, es necesario realizar la conversión de los datos geográficos al formato digital; lo cual hace que este procedimiento sea muy tedioso.

Wikipedia (2019), indica que los SIG utilizadas en el manejo de datos en formato vectorial, son los más populares en el mercado. Sin embargo, los SIG raster son los más utilizados en estudios que requieran generar capas continuas, que son necesarias en fenómenos no discretos; así mismo, son utilizadas también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Bosque (2000), señala que un modelo de datos es una representación simplificada de la realidad, y como tal se puede llevar a acabo de muchas maneras, en relación a los objetos establecidos para ser cubiertos. Por tales razones, es que existen varios tipos de modelos de datos de objetos geográficos, los cuales son: el modelo vectorial, el raster, el jerárquico-recursivo; cada uno de ellos está mejor preparado para llevar a cabo tareas específicas.

Wikipedia (2019), afirma que el modelo raster corresponde al dual lógico del anterior planteamiento que es el modelo vectorial; es decir, que en lugar de codificar las fronteras de los objetos, se registra el interior y sus límites quedan implícitamente representados. Por lo tanto, un tipo de datos raster es esencialmente la representación en mallas de cualquier tipo de imagen digital; y que este modelo de retícula o raster, se concentra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización; de tal manera que divide el espacio en celdas regulares, donde cada una de ellas representa un único valor.

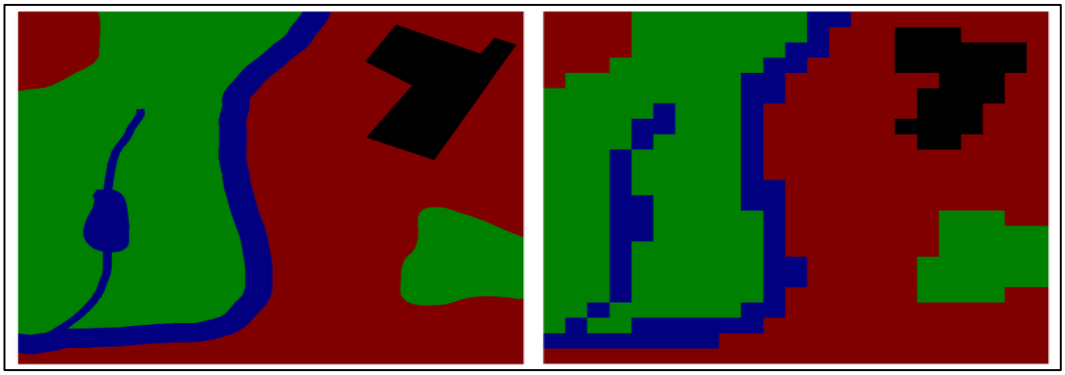


Figura 1. Diferencia cartográfica entre el modelo vectorial (izquierda) y el modelo raster (derecha) de elementos geográficos

Bosque (2000), menciona que el modelo vectorial, es la representación de los objetos espaciales que codifican sus fronteras (el límite o perímetro que separa el objeto del entorno) de modo explícito; cuyas líneas que actúan de fronteras, son representadas mediante coordenadas de puntos o vértices, los cuales delimitan los segmentos rectos que lo forman.

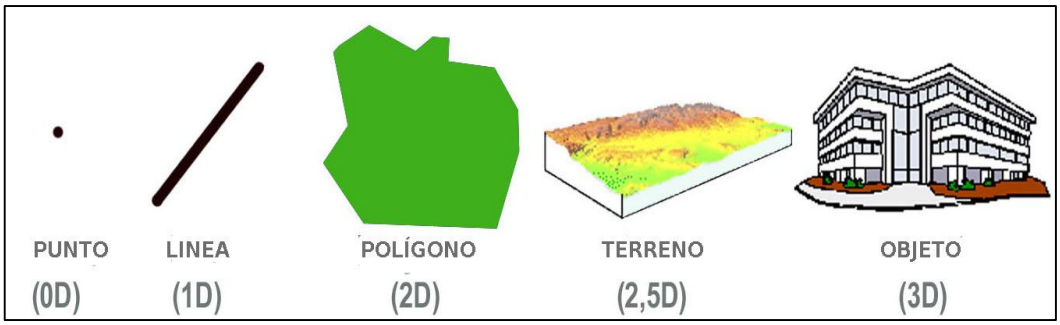


Figura 2. Dimensión espacial de los datos en un SIG

Wikipedia (2019) indica que para modelar digitalmente las entidades del mundo real, se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

- **Puntos**

Los puntos se utilizan para las entidades geográficas que requieran una simple ubicación o por un único punto de referencia, como por ejemplo los picos de elevaciones, las localizaciones de los pozos o puntos de interés. Los puntos proporcionan la menor cantidad de información como archivo, y no son posibles medirlos. Así mismo, se pueden utilizar para representar zonas a pequeña escala, como por ejemplo, para representar las ciudades en un mapa del mundo, se utilizan puntos en lugar de polígonos.

- **Líneas o polilíneas**

Las líneas unidimensionales o polilíneas son utilizadas para rasgos de líneas como: ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel, los cuales pueden ser medidos su distancia. Así mismo, los puntos pueden ser utilizados para representar polígonos en pequeñas escalas de las entidades puntuales.

- **Polígonos**

Los polígonos bidimensionales se utilizan para representar elementos geográficos que cubren una determinada área de la superficie

terrestre, como lagos, usos del suelo, límites de parques naturales, provincias o edificios. Así mismo, los polígonos proporcionan la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales, que pueden ser medidos tanto su perímetro como su área.

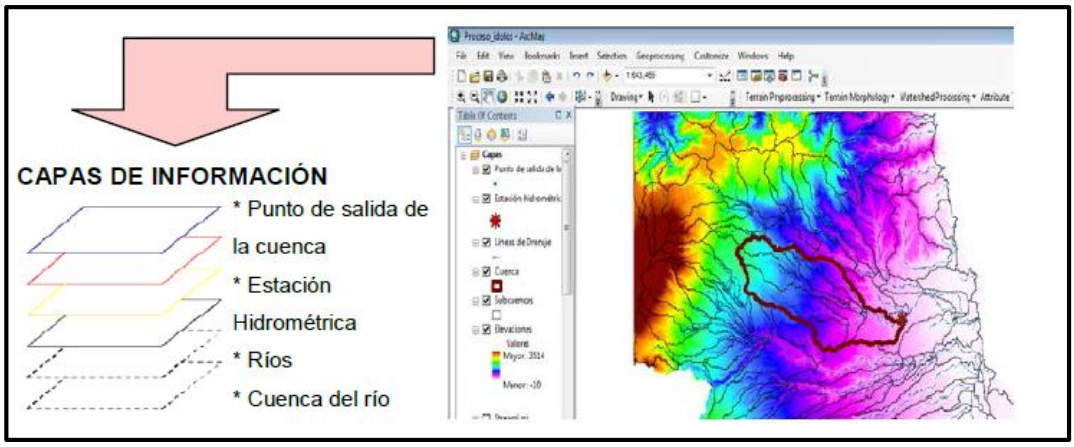


Figura 3. Esquema de un SIG indicando las capas temáticas que lo integran.

2.2.4. Modelos digitales del terreno

2.2.4.1. Datos para un modelo digital de terreno

Wikipedia (2019), define al Modelo Digital de Terreno (MDT) como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continúa; siendo el más conocido el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), modelo en el que la variable representada es la cota del terreno en relación a un sistema de referencia concreto; sin embargo, no existe un uso normalizado en la literatura científica de los términos Modelo Digital del Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital de Superficie (MDS). El término Modelo Digital de Superficie, en la mayoría de los casos se refiere a la superficie de la tierra, incluyendo a todos los objetos que lo contiene. En cambio, un Modelo Digital del Terreno (MDT) representa la superficie de suelo desnudo, es decir, sin ningún objeto dentro del mismo, como por ejemplo, la vegetación o los edificios.

Bosque (2000), indica que los Puntos son figuras en el espacio, comprendido por las coordenadas X e Y de la posición geométrica y la

altitud Z; y según la disposición de los puntos, existen dos modalidades como son: los dispuestos regularmente sobre el terreno (matriz de altitudes) y los distribuidos en forma irregular (organización de red irregular de triángulos, TIN).

Bosque (2000), manifiesta que para recoger la localización espacial y altitud de los datos, se usa una línea (conjunto de segmentos rectos), empleando las propias curvas de nivel tomadas de un mapa fuente como las líneas estructuras del relieve.

Además, Bosque (2000) afirma que un modelo digital de un terreno, se puede representar, principalmente de dos modelos de datos como son: la matriz de alturas (organización raster) y la estructura TIN (red de triángulos irregulares); estos dos modelos están basados en el empleo de puntos, para la representación de la información, constituyendo así como el modelo digital del terreno. En ambos casos, el modelo se genera a partir de una muestra de datos puntuales, distribuidos en muchas ocasiones, aleatoriamente sobre el plano.

Felicísimo (1994), indica que la Red Irregular de Triángulos (TIN), está formado a partir de un conjunto de puntos, donde se conoce la elevación; de los cuales se trazan un conjunto de triángulos, formados por tripletas de puntos cercanos no colineales, formando un mosaico. En ocasiones, parte de las curvas de nivel, que al descomponerse en un conjunto de puntos, genera una red irregular de triángulos. En tal sentido, se debe tener en cuenta que para este caso, se pueden formar triángulos a partir de puntos extraídos de la misma curva de nivel, y con el mismo valor, se darán lugar a triángulos planos. Las ventajas son por ejemplo, que pueden adaptarse mejor a las irregularidades del terreno, ocupar menos espacio y dar muy buenos resultados a la hora de visualizar modelos en 3D o determinar cuencas visuales.

Mathew (2008), manifiesta que las curvas de nivel constituyen una fuente conveniente, para generar un modelo digital del terreno (MDT),

cuya densidad varía adecuadamente, para obtener una representación fidedigna del fenómeno de altitud. Así mismo, las curvas de nivel presentan un intervalo mayor en zonas planas, y más cercanas en las zonas de relieve más movido, siendo este último, la forma más adecuada para representar el fenómeno estudiado.

2.2.4.2. Interpolación espacial

Bosque (2000), indica que la interpolación es un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), por medio de los valores de esa variable; pero en otras posiciones del espacio (puntos muestrales con valores reales). Generalmente, para la creación de una estructura TIN, parte de los datos tomados de puntos que contienen sus tres coordenadas: X, Y, Z; y que muchas veces, estas muestras de puntos son extraídas de una estructura raster, que son escogidos de algunos de los puntos que la componen.

2.2.4.3. Análisis de un modelo digital de terreno (MDT)

Bosque (2000), manifiesta que se pueden diferenciar dos tipos de medidas que caracterizan a un MDT, a través de sus análisis que se difieren entre sí, los cuales son: *Las medidas que establecen la geometría general (pendiente) de la superficie y que depende de la posición absoluta de los puntos que la forman. *Las que pueden estudiar las relaciones relativas entre los puntos de la superficie, como son las medidas de rugosidad y la fuerza del relieve; que en general son aquellas que determinan la producción de flujos de un líquido (hidrología) sobre la superficie topográfica. Dichas medidas MDT son:

- **Pendiente**

Es la variación de la altura entre dos puntos del territorio en relación a la distancia que los separa; la cual puede ser expresado en fracción o en tantos por uno (el cociente entre la variación de la altura

entre los dos puntos, numerador, y la distancia entre los dos puntos, denominador). Otra manera de expresar la pendiente es con porcentajes, esto consiste en multiplicar por 100 a la fracción anterior, el resultado mide la inclinación del terreno en el número de unidades verticales en relación a 100 unidades de distancia.

- **Hidrología**

Como se sabe, la actividad fluvial incluye un conjunto de procesos de gran importancia en el modelado de la superficie de la Tierra, cuya unidad geomorfológica básica es la cuenca hidrográfica, y el tratamiento de los modelos digitales del terreno puede aportar resultados de interés en este campo basándose principalmente en la modelización de los procesos hidrológicos más simples; para ello deben definirse algunos criterios básicos para el tratamiento numérico posterior de los datos, como son: Una línea de flujo, es el trayecto que sigue la línea de máxima pendiente, a partir de un punto inicial. Además, es una simulación simple del proceso de escorrentía superficial, que como MDE, sólo debería finalizar en los supuestos de alcanzar una concavidad, desembocar en el mar o llegar al borde del modelo.

2.2.5. Modelos de Elevación Digital (MED)

INEGI (2019), menciona que un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo; y que estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. Así mismo, el mismo autor indica que, en los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son: la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR, de los

cuales se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).

2.2.6. Datos satelitales de elevación digital

Jarvis et al., (2004) afirma que la topografía es un componente básico en muchos de los procesos superficiales de la tierra, y como un elemento para muchos análisis científicos que pueden explicar y predecir estos procesos. Por otro lado, el mismo autor menciona que la capacidad de una persona para entender y modelar estos procesos depende en gran parte de la calidad y consistencia de los datos topográficos.

Mathew (2008) indica que para modelar estos procesos con precisión en grandes extensiones espaciales o en áreas internacionales es muy difícil, debido a las inconsistencias existentes entre datos topográficos adyacentes.

NASA (2005), manifiesta que el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtuvo datos de elevación a una escala casi global para generar la solución más completa de las bases de datos topográficos de alta digitalización de la tierra. Además, indica que el SRTM consiste en un sistema de radar especialmente modificado, que vuela a bordo de la nave espacial Endeavour durante una misión de 11 días en febrero de 2000.

2.2.7. Los datos del SRTM

NASA (2005), menciona que los datos SRTM tienen algunas propiedades particulares, que pueden resultar positivas o negativas, dependiendo de la aplicación a la que se destine. El SRTM utiliza una técnica llamada interferometría para recoger los datos topográficos; esta interferometría recoge dos imágenes de la misma ubicación en distintas posiciones de ventaja, y 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), afirma que para adquirir estas dos imágenes durante la misión (del 11 febrero de 2000), 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. 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.

Además, la NASA (2005) manifiesta que el SRTM fue diseñado con umbrales de precisión cartográfica para asegurar que el conjunto de datos topográficos globales sean exactos y consistentes; y que después de la misión de la NASA y la NGA, iniciaron una campaña de validación global, comprobando que la misión había superado tanto los requisitos de precisión vertical como horizontal.

Mathew (2008), afirma que 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), menciona que los vacíos de Datos son áreas en donde aparecen errores extremos durante el procesamiento de datos o donde no regresó la señal del radar; y para mitigar estos vacíos, el proyecto GeoSUR, en cooperación con el grupo de ciencias topográficas del USGS, utilizó 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; por otro lado, el ruido de fase, que es causado principalmente por el ruido térmico y de cuantización de los receptores del radar, además de ser en gran medida dependiente de las

propiedades de retrodispersión de la superficie, en términos más simples; así mismo, el ruido de fase es una variación de altura mínima dada entre píxel a píxel colindante, que se encuentra influida por el tipo de superficie, de la cual se refleja la transmisión del radar.

Farr (2007), manifiesta que un área con cobertura boscosa, va a tener menos ruido que las tierras agrícolas, por el motivo de que la señal del radar rebota en la superficie. Así mismo, indica que este error ya se había anticipado antes de la misión y para ello se establecieron controles para minimizar el error vertical a 8 metros aproximadamente.

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

Valeriano et al., (2005) afirma que el modelaje de una red de drenaje, resulta un gran problema para los hidrólogos, cuando se trata de una selva densa, donde se esté deforestando; que en su mayor parte forman redes de canales falsos por causa de valores de elevación contrastantes entre la selva y las áreas taladas.

Jarvis et al., (2004) indica que 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. Así mismo, menciona que de acuerdo a los múltiples estudios realizados sobre este tema, se ha dejado constancia de que la pendiente se subestima en áreas de topografía pronunciada y sobreestimada en áreas de poco relieve.

Mathew (2008) manifiesta que los MED tienen un papel clave en el modelaje de los procesos de la superficie terrestre, ya que como es exacto y consistente, es un componente esencial de las estructuras de

datos geoespaciales nacionales que se están construyendo en Sudamérica.

Mathew (2008) hace de conocimiento de algunas aplicaciones fundamentales de un MED, y de otras, como son:

- Modelaje hidrológico
- Planificación de infraestructura
- Rectificación de orto-imágenes
- Manejo y mitigación de desastres
- Análisis de línea visual
- Simulación de vuelos en 3D
- Construir herramientas de visualización.

2.2.8. Cuencas

2.2.8.1. Concepto de una cuenca

Wikipedia (2019) afirma que una cuenca es una depresión en la superficie de la tierra, un valle rodeado de alturas, y que el término de cuenca hidrográfica, se manifiesta en sentido más amplio, los cuales forman parte de la superficie terrestre, cuyas aguas fluyen hacia un río o lago.



Figura 4. Cuenca hidrográfica

2.2.8.2. Cuenca hidrográfica

Wikipedia (2019), menciona que una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que sus aguas dan al mar a través de un único río o que vierte sus aguas a un único lago endorreico; la cual es delimitada por líneas de las cumbres, llamada divisoria de aguas. Además, el uso de los recursos naturales, se regula administrativamente, separando el territorio por cuencas hidrográficas, y con miras al futuro, las cuencas hidrográficas se perfilan como una de las unidades de división funcionales con mucha más coherencia, permitiendo una verdadera integración social y territorial por medio del agua. También recibe los nombres de hoya hidrográfica, cuenca de drenaje, cuenca imbrífera, cuenca de exudación o cuenca fluvial. Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos).

2.2.8.3. Principales características de una cuenca

Según Wikipedia (2019) las características de una cuenca son: La curva cota–superficie, 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.

2.2.8.4. Elementos de una cuenca

Según Wikipedia (2019) existen los siguientes elementos:

- **Divisoria de aguas**

La divisoria de aguas o divortium aquarum es una línea que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada

a cada lado de la divisoria desemboca en ríos o afluentes distintos. Otro término utilizado para esta línea se denomina parteaguas.

- **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.

- **Afluentes**

Los afluentes son los ríos secundarios que vierten sus aguas en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada subcuenca.

- **El relieve de la cuenca**

El relieve de una 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, llanuras y mesetas.

2.2.8.5. Partes de una cuenca

Según Wikipedia (2019), existen las siguientes partes elementales:

- **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 mediamente 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.

2.2.8.6. Tipos de Cuenca

Según, Wikipedia (2019) existen tres tipos de cuencas:

- **Exorreicas**

Drenan 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, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto del Sahara y en muchas otras partes.

2.2.9. Software QGIS

Wikipedia (2019), menciona que el Quantum GIS 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 se graduó de la fase de incubación. Además, el QGIS permite manejar formatos raster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos, cuyas 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 raster (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.

Así mismo, el autor indica que el 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).

2.2.10. GRASS

OSGeo (2019), indica que GRASS (Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos), es un paquete de software de Sistema de Información Geográfica (GIS) gratuito y de código abierto que se utiliza para la gestión y análisis de datos geoespaciales, procesamiento de imágenes, producción de gráficos y mapas, modelado espacial y visualización. Además, actualmente se utiliza en los entornos académicos y comerciales en todo el mundo, así como por muchas agencias gubernamentales y empresas de consultoría ambiental.

2.2.11. SAGA

Wikipedia (2019), afirma que SAGA (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados) es un programa informático del sistema de información geográfica (GIS), que se utiliza para editar datos espaciales. Es un software gratuito y de código abierto, desarrollado originalmente por un pequeño equipo en el Departamento de Geografía Física de la Universidad de Göttingen, Alemania, y ahora está siendo mantenido y ampliado por una comunidad internacional de desarrolladores.

2.2.12. Áreas Naturales Protegidas

Ley N° 26834 (1997), define a las áreas naturales protegidas como los espacios continentales y/o marinos del territorio nacional, expresamente reconocidos y declarados como tales, incluyendo sus categorías y zonificaciones, para conservar la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contribución al desarrollo sostenible del país.

2.2.13. Reserva Comunal El Sira

SERNANP (2015), manifiesta que la Reserva Comunal El Sira (RCES) es un Área Natural Protegida - ANP, que integra el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SINANPE, la cual fue establecida como tal, mediante el Decreto Supremo Nº 037-2001-AG del 23 de Junio del 2001, con una extensión de 616,413.41 ha, que está ubicada entre los departamentos de Ucayali, Huánuco y Pasco; que tiene como finalidad la conservación de la diversidad biológica, en beneficio de las comunidades nativas pertenecientes a los grupos étnicos Asháninka, Yánesha y Shipibo- Conibo vecinos a dicha Área Natural Protegida. Su Zona de Amortiguamiento, está ubicada en las provincias de Atalaya, Coronel Portillo, Oxapampa y Puerto Inca en los departamentos de Ucayali, Pasco y Huánuco, establecida mediante Resolución Jefatural Nº 304-2001-INRENA con una superficie que alcanza 1 096 542.21 ha, y con un perímetro de 1’853,470.47 m de longitud.

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 raster 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.

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

- **Desembocadura:** Lugar en el que una corriente de agua desemboca en otra, en el mar o en un lago.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

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.

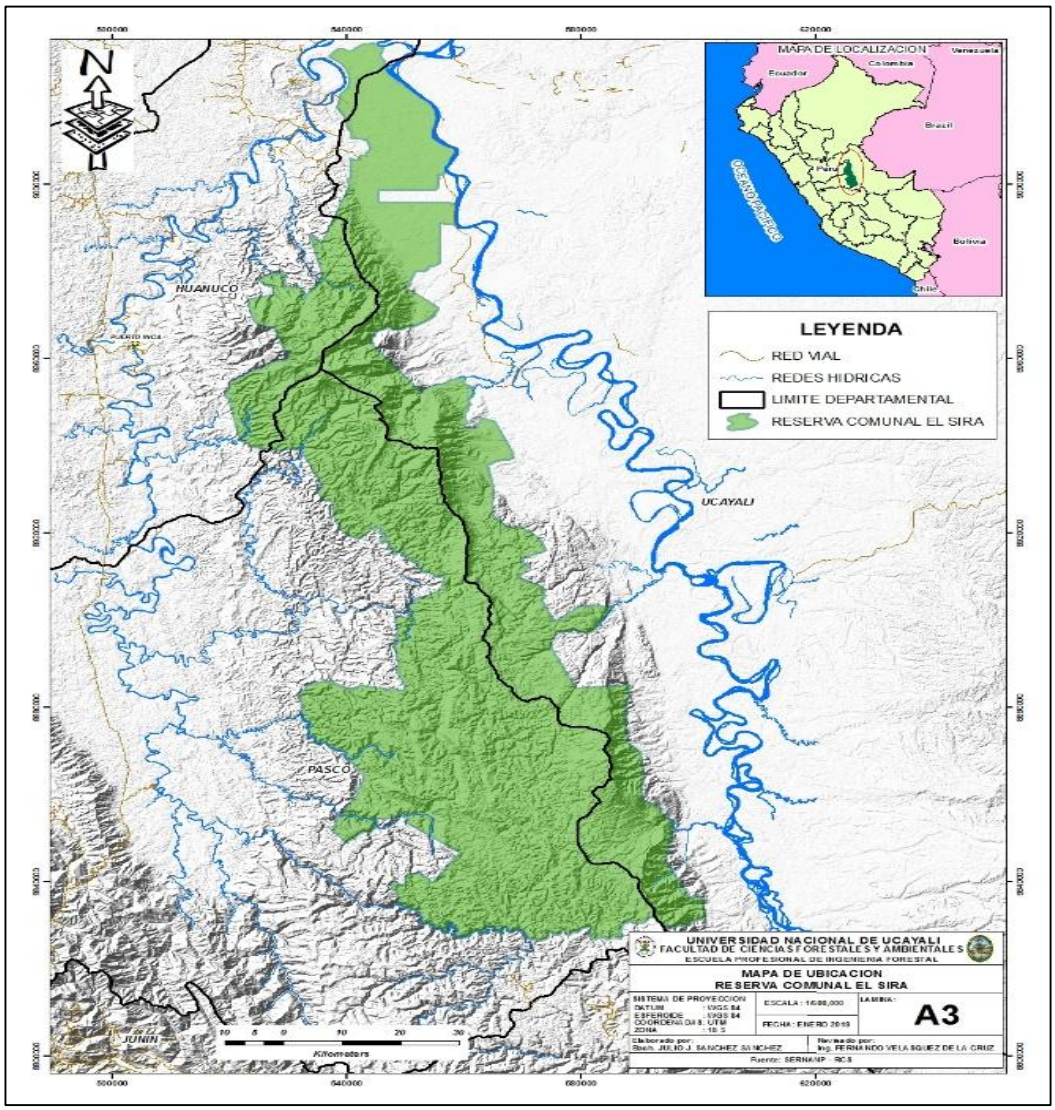


Figura 5. Mapa de ubicación de la Reserva Comunal El Sira

El área de estudio, microcuenca El Barbón, está ubicada al interior de la Reserva Comunal El Sira, en el centroide de coordenadas UTM E-520287, N-8952628, WGS 84 ZONA 18S, en el distrito de Yuyapichis, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco.

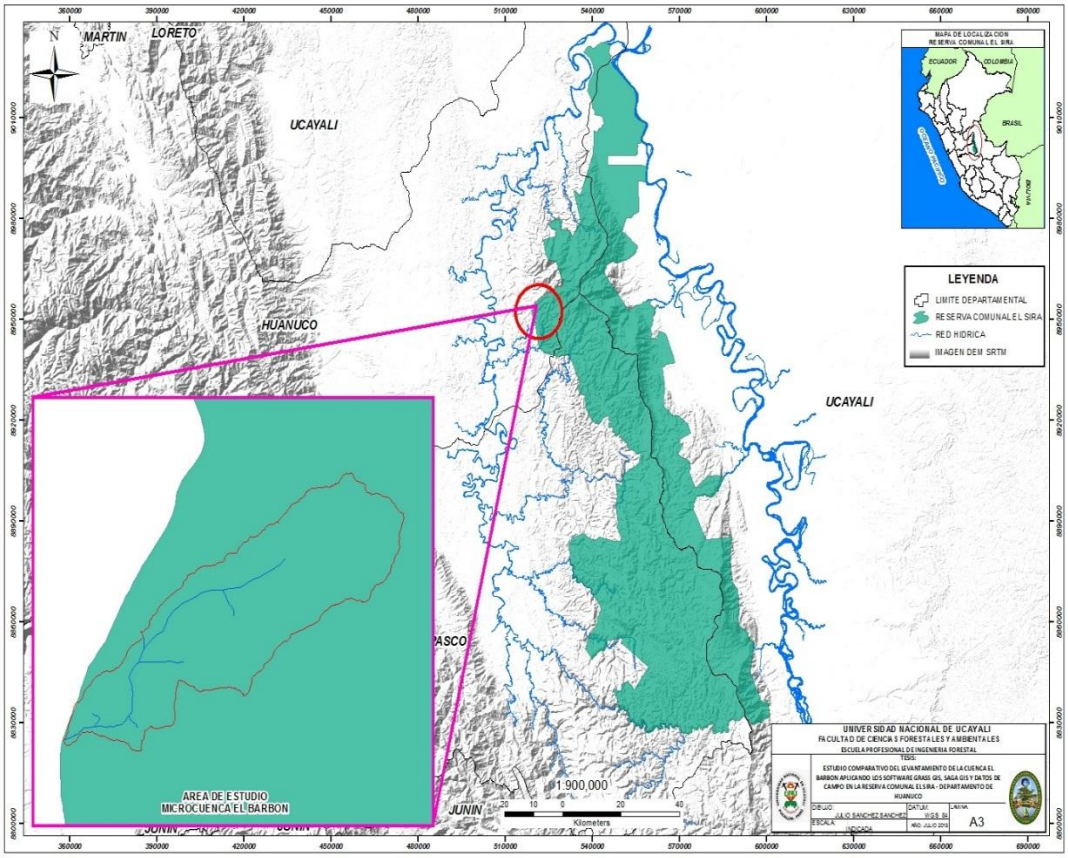


Figura 6. Mapa de ubicación del área de estudio

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente estudio de tesis se utilizó el método experimental y comparativo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población en estudio son 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 los puntos más elevados de la línea divisoria de cuencas tomados desde el inicio de la cuenca El Barbón hasta el final de esta.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron en el trabajo fueron los siguientes:

- Machete
- Botas
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Imagen DEM

3.4.2. Equipos

- Computadora portátil
- GPS Garmin Monterra
- Cámara fotográfica
- Software QGIS
- Complemento GRASS
- Complemento SAGA
- Software Global Mapper
- Software DNRGPS

3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Recolección de datos de campo

Se realizó un recorrido para georreferenciar la microcuenca hidrográfica con el GPS Garmin Monterra.

Se inició tomando una coordenada en la desembocadura de la cuenca hidrográfica, seguidamente se subió, por la pendiente, hasta la divisoria de cuencas, se continuó el recorrido abriendo pequeñas trochas, por la divisoria de cuencas tomando coordenadas UTM (X, Y) de los puntos más elevados identificados, finalmente se culminó el recorrido llegando nuevamente a la desembocadura de la microcuenca. Finalmente, con la información geográfica obtenida en campo se diseñó la microcuenca hidrográfica en el software QGIS. La línea divisoria de cuencas se registró mediante la función Track del GPS.

3.5.2. Recolección de los datos digitales del SRTM (DEM)

Con una computadora portátil, se realizó el siguiente proceso:

- Se descargó, a través del software Global Mapper, la imagen DEM del SRTM, que corresponde al área de la Reserva Comunal El Sira.
- La imagen DEM obtenida se procesó con los complementos GRASS y SAGA en la plataforma de QGIS para la delimitación digital 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, para los resultados obtenidos con GRASS y SAGA.
- La diferencia entre las coordenadas X, Y de los Centroides, con las coordenadas X, Y de los Waypoints, se comparó mediante la prueba estadística del Cuadrado Medio del Error, para cada método.

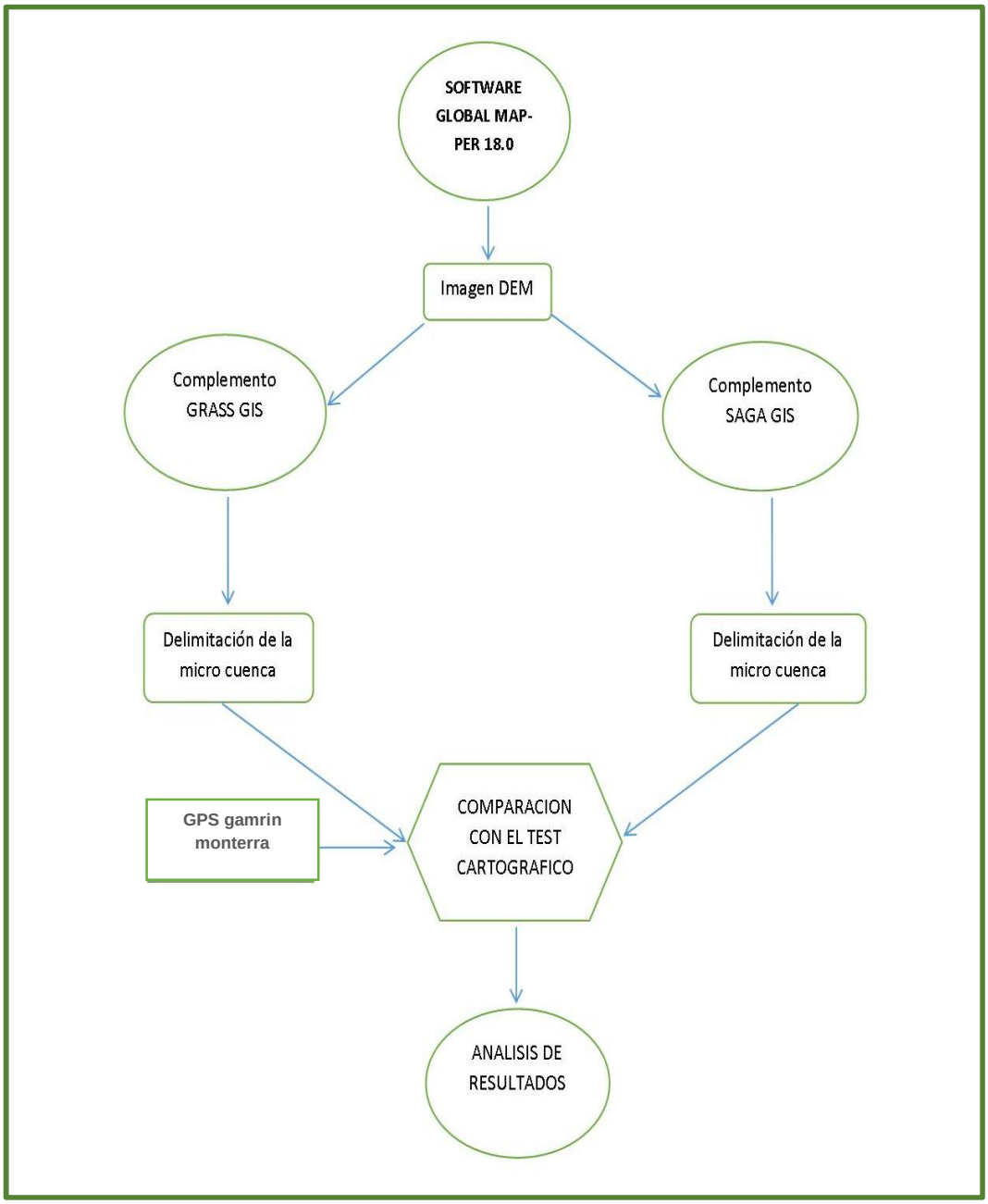


Figura 7. Metodología

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)”.

Atkinson-Gordo (2001), explica que este estándar NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) aplica a todo conjunto de geodatos, sea representado en formato matricial (raster), 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.

Cuando estas condiciones aplican, la Exactitud, (Accuracy) que es el valor de exactitud de acuerdo al NSSDA, deberá ser computado usando la fórmula:

Accuracyr = 2.447 * RMSEx = 2.447 * RMSEy
= 2.447 *RMSEr/1.4142
Accuracyr = 1.7308 * RMSEr

Así mismo, Atkinson-Gordo (2001), señala que este es el test empleado actualmente por las agencias federales de los Estados Unidos para analizar bases de datos gráficos. La mayor ventaja que ofrece es que no nos dice si el mapa es aceptado o denegado, sino que nos ofrece un índice de calidad de la cartografía en unidades reales sobre el terreno. En este caso, le corresponde al usuario de la cartografía el establecer los límites de aceptación en función de sus necesidades. El dato ofrecido por el NSSDA deberá aparecer junto con la metainformación del mapa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS SOFTWARE GLOBAL MAPPER

Mediante el software Global Mapper se descargó la imagen DEM del SRTM; correspondiente a la Reserva Comunal El Sira. Con una resolución de 30 x 30 metros por pixel, esta imagen nos sirvió para la delimitación de la divisoria de cuenca y la red de drenaje de la microcuenca de la quebrada El Barbón, con GRASS y SAGA

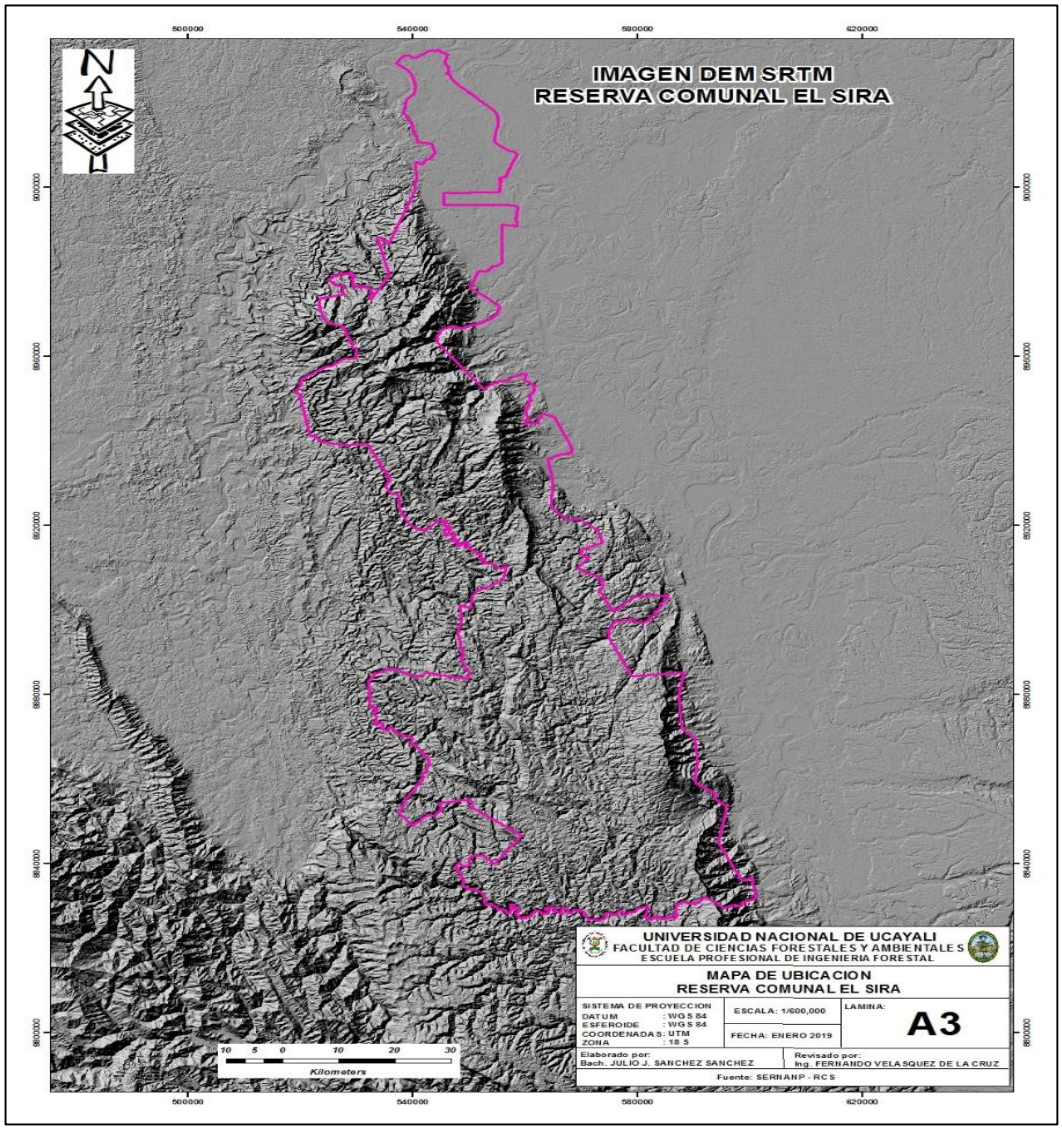


Figura 8. Imagen DEM superpuesta sobre el área de la Reserva Comunal El Sira

4.2. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL BARBÓN CON GRASS.

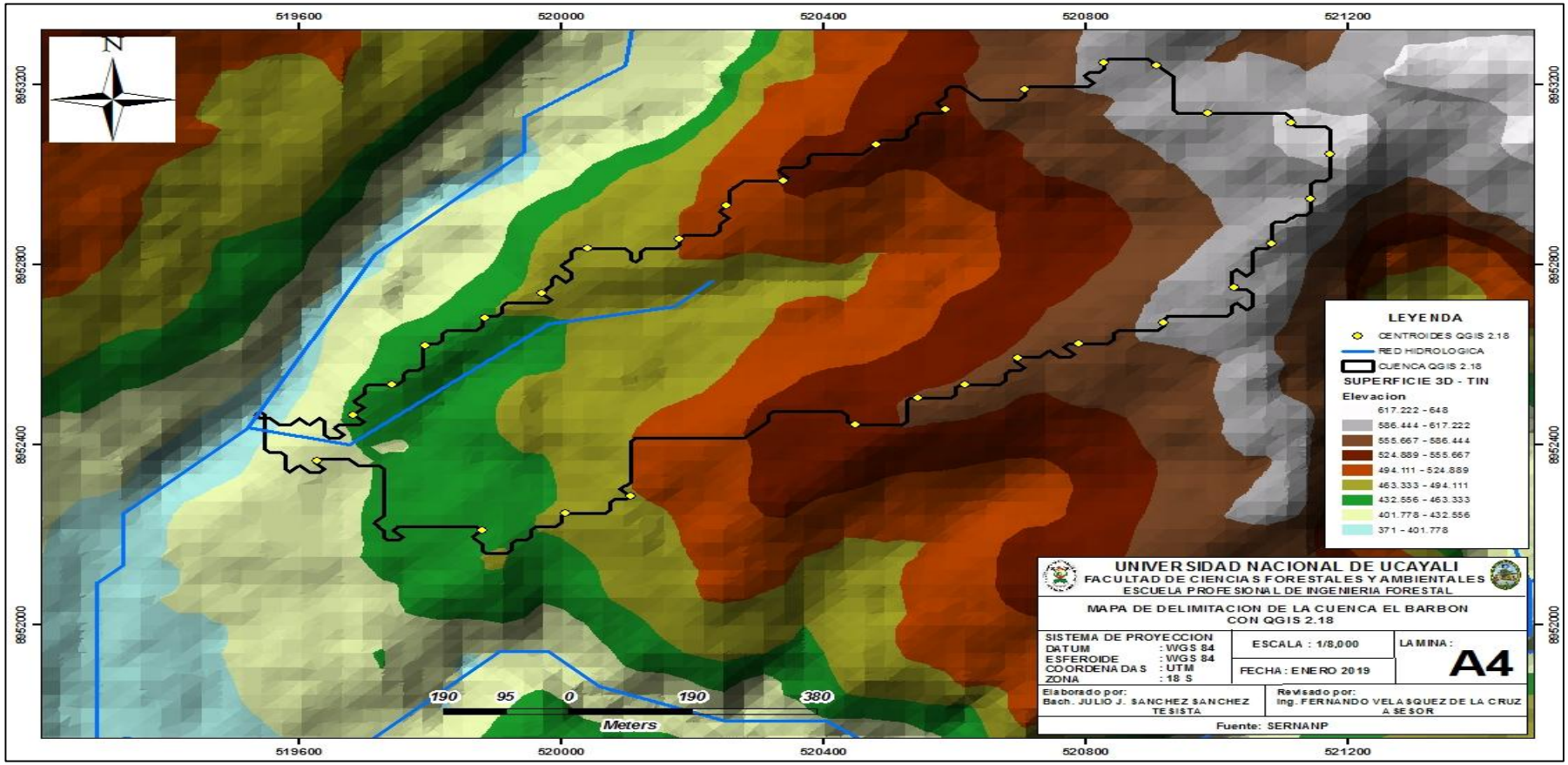


Figura *9.* Mapa de delimitación de la microcuenca El Barbón con GRASS

4.3. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA EL BARBÓN CON SAGA

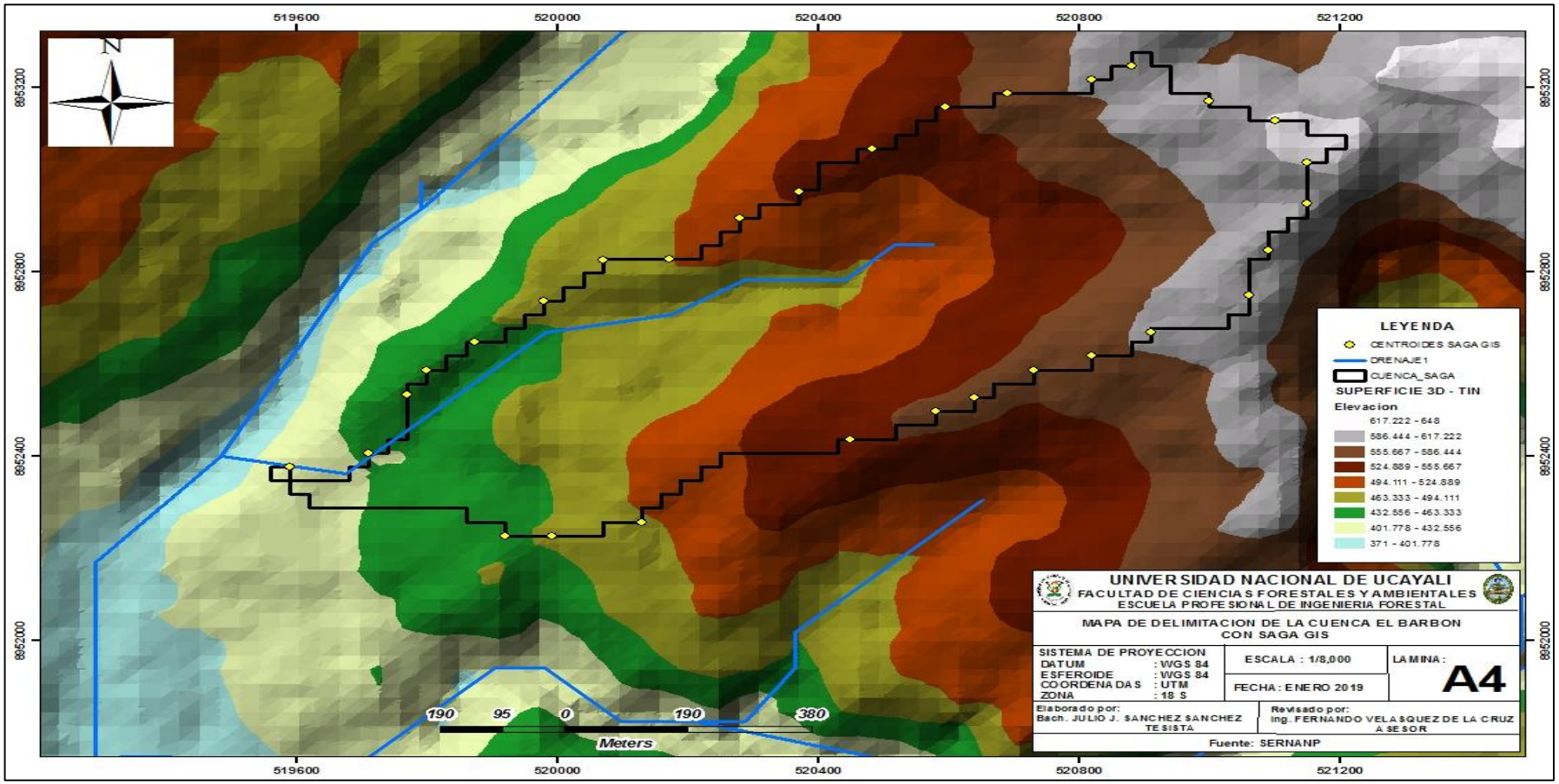


Figura 10. Mapa de delimitación de la microcuenca El Barbón con SAGA

4.4. DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA “EL BARBÓN” CON EL GPS MONTERRA GARMIN

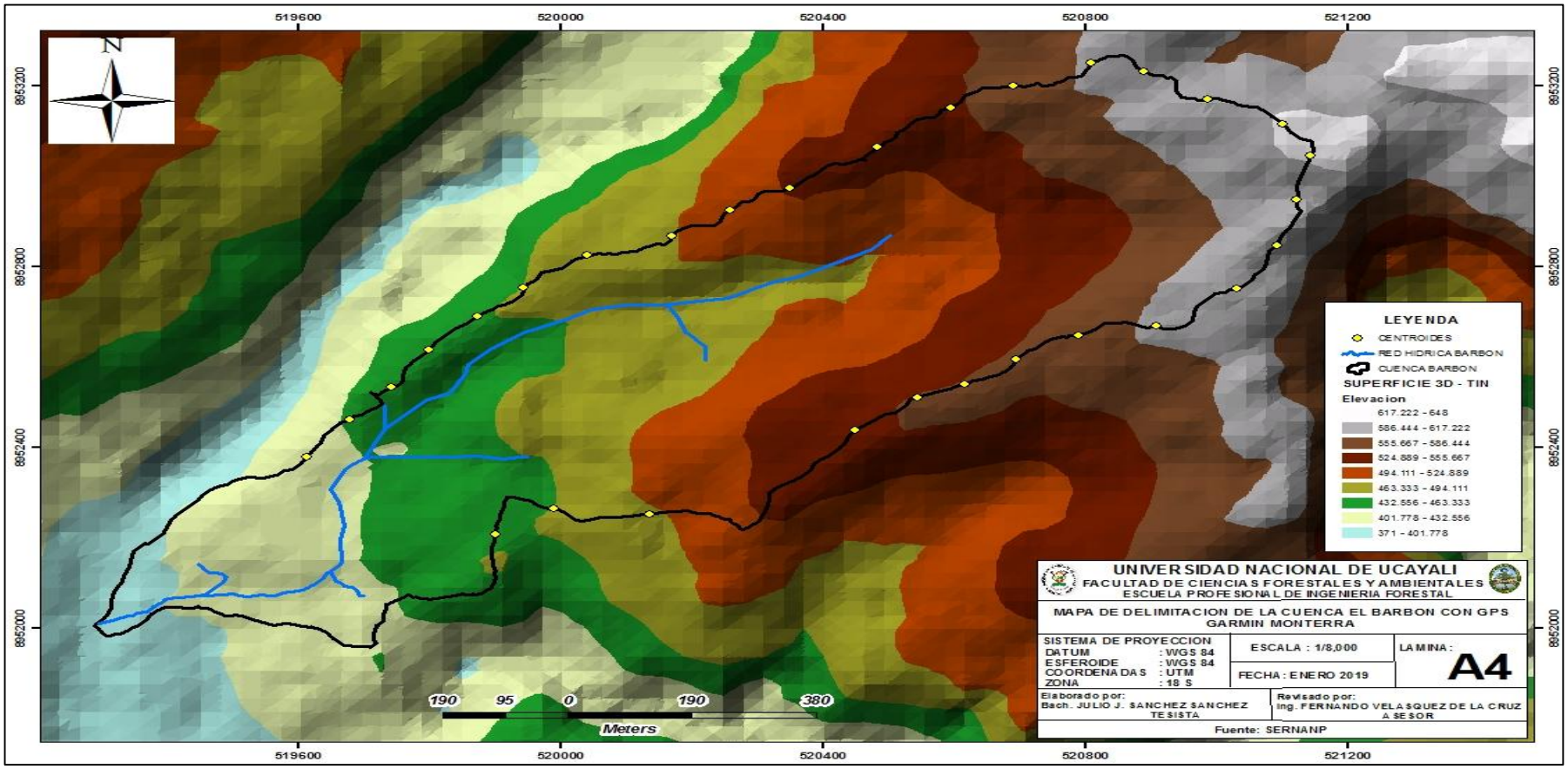


Figura 11. Mapa de delimitación de la microcuenca El Barbón con el GPS Monterra Garmin

4.5. COMPARACIÓN DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA “EL BARBÓN” CON SAGA, GRASS Y GPS MONTERRA

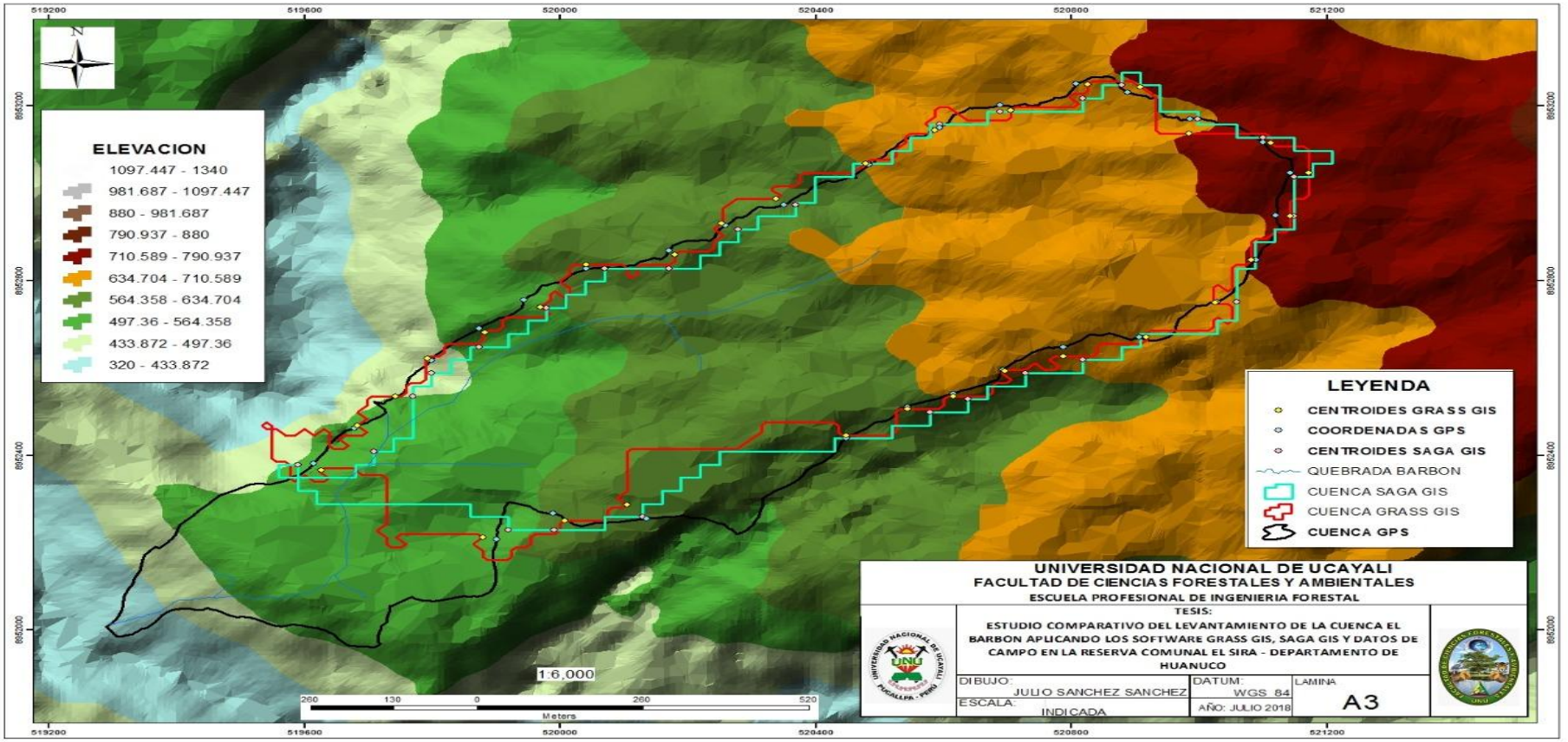


Figura 12. Comparación de la delimitación de la microcuenca “El Barbón”

4.6. CÁLCULO DE ERRORES DE GRASS

Tabla 1. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con GRASS

CME GEO UBICACIÓN		
COORDENADAS	**X**	**Y**
Max	31.000	33.000
Min	0	0
CME	13.937	12.138
CMEr	18.482	
95% IC	31.988	

Se encontró un CMEr de 18.482 metros, errores máximos en X de 31 metros y en Y de 33 metros; y al 95% de confiabilidad un error de 31.988 metros.

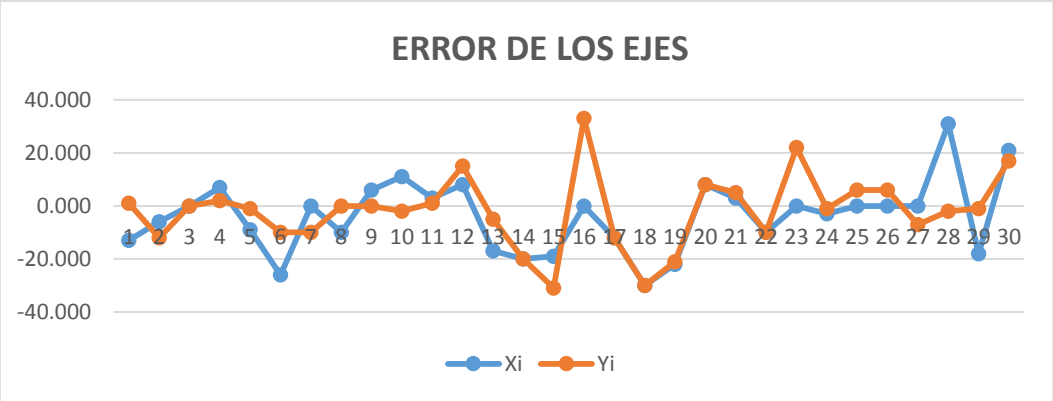


Figura 13. Errores de los ejes X e Y. obtenidos con GRASS

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.

4.7. CÁLCULO DE ERRORES DE SAGA

Tabla 2. Errores de geo ubicación de los centroides obtenidos con SAGA.

CME GEO UBICACIÓN		
COORDENADAS	**X**	**Y**
Max	24.000	54.000
Min	0	0
CME	19.947	20.433
CMEr	28.555	
95 % IC	49.423	

Se encontró un CMEr de 28.555 metros, errores máximos en X de 24 metros y en Y de 54 metros; y al 95% de confiabilidad un error de 49.423 metros; para que los datos sean confiables el CMEr tiene que ser mayor que los errores máximos en los ejes.

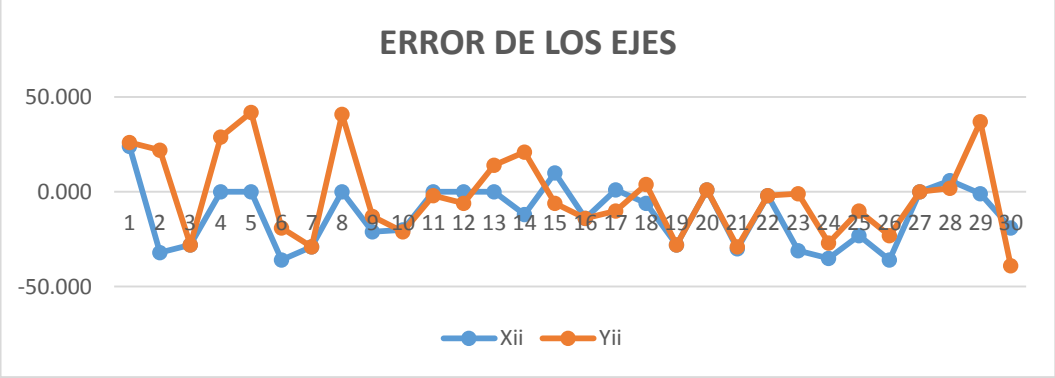


Figura 14. Errores de los ejes X e Y. obtenidos con SAGA GIS

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. Se calculó los errores de geo ubicación de los centroides, de los puntos más altos en el levantamiento de la microcuenca El Barbón, respecto a los datos registrados con GPS Garmin Monterra, obteniendo con el complemento GRASS errores máximos de geo ubicación en el eje X de 31 metros y en el eje Y de 33 metros, con un CMEr de 18.482 metros; con el complemento SAGA errores máximos de geo ubicación en el eje X de 24 metros y en el eje Y de 54 metros, con un CMEr de 28.555. Lo cual permite concluir que los centroides obtenidos con el complemento GRASS, son los que presentan menos errores de geo ubicación, respecto a los datos registrados con GPS Garmin Monterra, por lo tanto, brindan datos más confiables para el manejo de microcuencas hidrográficas en el ámbito de la Reserva Comunal El Sira.

2. Los gráficos muestran que, tanto para GRASS como para SAGA, el mayor error de geo ubicación se encuentran en el eje Y, lo cual puede ser resultado del sesgo del follaje o dosel vegetal y la fuerte pendiente que se encuentra en la microcuenca El Barbón, lo cual concuerda con lo indicado por (Hidalgo, 2012 y Ríos, 2013).

3. La microcuenca de la quebrada El Barbón tiene un área de 91.9 ha y un perímetro de 5.38 kilómetros, calculada con los datos registrados en el GPS Garmin Monterra; con GRASS se obtuvo un área de 75.03 ha y un perímetro de 5.7711 kilómetros; y con SAGA se obtuvo un área de 74 ha y un perímetro de 5.460 kilómetros.

5.2. RECOMENDACIÓNES

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 El Barbón.

2. Se recomienda realizar investigaciones similares en los ecosistemas “Pajonal, Bajial, Zonas Altas y Cumbres del Sira”, con la finalidad de determinar si el uso de Software permite generar información confiable para el manejo de cuencas.

3. Se recomienda realizar estudios con Modelos Digitales de Elevación (DEM) disponibles en la plataforma de Earth Explorer de la NASA para realizar estudios complementarios, que ayuden a entender la dinámica de las microcuencas hidrográficas en ecosistemas de “Laderas o Faldas del Sira”.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Atkinson-Gordo, ADJ.; Garcia-Balboa, JL.; Ariza-López, FJ. (2001). Los diferentes test para el control de calidad posicional en cartografía. Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (INGEGRAF). Universidad de Extremadura, Badajoz, 6-8 de junio del 2001.

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

CRICYT. (2009). Red Hidrográfica. En línea: Consultado 22/10/2019. Disponible en: http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/RedHidro6.htm.

Del Águila, E. (2014). Comparación de la delimitación de la microcuenca "El zancudal" con Hidrology y Archydro Tools en el Cicfor - Macuya Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

ESRI. (2014). ¿Qué es un SIG? En línea: Consultado 22/10/2019. Disponible en: http://www.esri.es/es/formacion/formacion-esri-espana/que-es-un-sig-/.

FAO. (2019). Funcionamiento y Usos de los Sistemas de Información Geográfica. En línea: Consultado 18/10/2019. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/003/t0446s/t0446s07.htm.

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

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

Gutiérrez, H. (2014). Comparación de datos SRTM y ASTER GDEM para delimitación de la microcuenca de la quebrada El Zancudal en el Cicfor - Macuya, en Pucallpa. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

Hidalgo, V. (2012). Comparación de 2 métodos de levantamiento de la divisoria de cuenca de la quebrada “El Zancudal” en el Centro de Investigación y

Capacitación Forestal CICFOR – Macuya. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

INEGI. (2019). ¿Qué es un modelo digital de elevación?. En línea: Consultado 26/10/18. 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.

Ley N° 26834. (1997). Ley de Áreas Naturales Protegidas, Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. Publicada el 04/07/1997.

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 22/05/2019. Disponible en: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm.

OSGeo. (2019). Bringing advanced geospatial technologies to the world. En linea: Consultado 22/10/18. Disponible en: https://grass.osgeo.org/.

Ríos, W. (2013). Comparación de los datos del SRTM y el GPS map 60sx en el levantamiento de la red hidrográfica de la quebrada "El Zancudal" en el Centro de Investigación y Capacitación Forestal CICFOR - Macuya en Pucallpa Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.

SERNANP. (2015). Documento de Trabajo N° 16 Manejo Básico de QGIS para el uso en Sistemas de Información Geográfica en ANP. En Línea: Consultado 22/810/2019. Disponible en: http://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/?publicacion=824.

SERNANP. (2015). Plan Maestro 2015-2019 de la Reserva Comunal El Sira, Lima, Perú, publicada en el diario oficial El Peruano, el 09/07/2015.

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.

Wikipedia. (2019). Modelos digitales de terreno MED. En línea: Consultado 22/10/2019. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle.

Wikipedia. (2019). Cuencas y sus partes. En línea: Consultado 22/10/2019. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/cuencas.

Wikipedia. (2019). Sistema de información geográfica. En línea: Consultado 22/10/2019. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica.

Wikipedia. (2019). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). En Linea: Consultado 22/10/18. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/SAGA.

ANEXOS

ANEXO 1

FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ERROR PLANIMÉTRICO

DATOS GPS			DATOS QGIS		DATOS SAGA GIS	
PUNTO	X_PROJ	Y_PROJ	X_PROJ	Y_PROJ	X_PROJ	Y_PROJ
1	519613	8952380	519626	8952366	519589	8952378
2	519677	8952462	519683	8952468	519709	8952408
3	519741	8952535	519741	8952535	519769	8952535
4	519799	8952617	519792	8952622	519799	8952588
5	519873	8952690	519882	8952682	519873	8952648
6	519943	8952755	519969	8952739	519979	8952738
7	520040	8952827	520040	8952837	520069	8952827
8	520170	8952869	520190	8952859	520170	8952828
9	520258	8952926	520252	8952932	520279	8952918
10	520349	8952974	520338	8952987	520369	8952975
11	520482	8953066	520479	8953068	520482	8953068
12	520594	8953152	520586	8953145	520594	8953158
13	520689	8953202	520706	8953190	520689	8953188
14	520807	8953251	520827	8953251	520819	8953218
15	520889	8953232	520908	8953244	520879	8953248
16	520985	8953171	520985	8953138	520999	8953171
17	521101	8953117	521113	8953117	521100	8953128
18	521143	8953048	521173	8953048	521149	8953038
19	521121	8952949	521143	8952948	521149	8952949
20	521090	8952848	521082	8952848	521089	8952848
21	521029	8952752	521026	8952750	521059	8952751
22	520907	8952671	520917	8952671	520909	8952671
23	520788	8952648	520788	8952626	520819	8952618
24	520694	8952596	520697	8952594	520729	8952588
25	520616	8952541	520616	8952535	520639	8952528
26	520543	8952511	520543	8952505	520579	8952498
27	520448	8952438	520448	8952445	520448	8952438
28	520135	8952254	520104	8952287	520129	8952258
29	519989	8952266	520007	8952249	519990	8952228
30	519900	8952208	519879	8952212	519919	8952228

CÁLCULO DEL ERROR DE GRASS

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	519613.000	519626.000	-13.000	169.000	8952380.000	8952366.000	14.000	196.000	365.000	19.105
2	519677.000	519683.000	-6.000	36.000	8952462.000	8952468.000	-6.000	36.000	72.000	8.485
3	519741.000	519741.000	0.000	0.000	8952535.000	8952535.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	519799.000	519792.000	7.000	49.000	8952617.000	8952622.000	-5.000	25.000	74.000	8.602
5	519873.000	519882.000	-9.000	81.000	8952690.000	8952682.000	8.000	64.000	145.000	12.042
6	519943.000	519969.000	-26.000	676.000	8952755.000	8952739.000	16.000	256.000	932.000	30.529
7	520040.000	520040.000	0.000	0.000	8952827.000	8952837.000	-10.000	100.000	100.000	10.000
8	520170.000	520180.000	-10.000	100.000	8952869.000	8952859.000	10.000	100.000	200.000	14.142
9	520258.000	520252.000	6.000	36.000	8952926.000	8952932.000	-6.000	36.000	72.000	8.485
10	520349.000	520338.000	11.000	121.000	8952974.000	8952987.000	-13.000	169.000	290.000	17.029
11	520482.000	520479.000	3.000	9.000	8953066.000	8953068.000	-2.000	4.000	13.000	3.606
12	520594.000	520586.000	8.000	64.000	8953152.000	8953145.000	7.000	49.000	113.000	10.630
13	520689.000	520706.000	-17.000	289.000	8953202.000	8953190.000	12.000	144.000	433.000	20.809
14	520807.000	520827.000	-20.000	400.000	8953251.000	8953251.000	0.000	0.000	400.000	20.000
15	520889.000	520908.000	-19.000	361.000	8953232.000	8953244.000	-12.000	144.000	505.000	22.472
16	520985.000	520985.000	0.000	0.000	8953171.000	8953138.000	33.000	1089.000	1089.000	33.000
17	521101.000	521113.000	-12.000	144.000	8953117.000	8953117.000	0.000	0.000	144.000	12.000
18	521143.000	521173.000	-30.000	900.000	8953048.000	8953048.000	0.000	0.000	900.000	30.000
19	521121.000	521143.000	-22.000	484.000	8952949.000	8952948.000	1.000	1.000	485.000	22.023
20	521090.000	521082.000	8.000	64.000	8952848.000	8952848.000	0.000	0.000	64.000	8.000
21	521029.000	521026.000	3.000	9.000	8952752.000	8952750.000	2.000	4.000	13.000	3.606
22	520907.000	520917.000	-10.000	100.000	8952671.000	8952671.000	0.000	0.000	100.000	10.000

23	520788.000	520788.000	0.000	0.000	8952648.000	8952626.000	22.000	484.000	484.000	22.000
24	520694.000	520697.000	-3.000	9.000	8952596.000	8952594.000	2.000	4.000	13.000	3.606
25	520616.000	520616.000	0.000	0.000	8952541.000	8952535.000	6.000	36.000	36.000	6.000
26	520543.000	520543.000	0.000	0.000	8952511.000	8952505.000	6.000	36.000	36.000	6.000
27	520448.000	520448.000	0.000	0.000	8952438.000	8952445.000	-7.000	49.000	49.000	7.000
28	520135.000	520104.000	31.000	961.000	8952254.000	8952287.000	-33.000	1089.000	2050.000	45.277
29	519989.000	520007.000	-18.000	324.000	8952266.000	8952249.000	17.000	289.000	613.000	24.759
30	519900.000	519879.000	21.000	441.000	8952208.000	8952212.000	-4.000	16.000	457.000	21.378

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	5827.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	194.233
RMSE X	13.937

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	4420.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	147.333
RMSE Y	12.138

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	10247.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	341.567
RMSEr	18.482
NSSDA (95%)	31.9878

CÁLCULO DEL ERROR DE SAGA

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	519613.000	519589.000	24.000	576.000	8952380	8952378.000	2.000	4.000	580.000	24.083
2	519677.000	519709.000	-32.000	1024.000	8952462	8952408.000	54.000	2916.000	3940.000	62.769
3	519741.000	519769.000	-28.000	784.000	8952535	8952535.000	0.000	0.000	784.000	28.000
4	519799.000	519799.000	0.000	0.000	8952617	8952588.000	29.000	841.000	841.000	29.000
5	519873.000	519873.000	0.000	0.000	8952690	8952648.000	42.000	1764.000	1764.000	42.000
6	519943.000	519979.000	-36.000	1296.000	8952755	8952738.000	17.000	289.000	1585.000	39.812
7	520040.000	520069.000	-29.000	841.000	8952827	8952827.000	0.000	0.000	841.000	29.000
8	520170.000	520170.000	0.000	0.000	8952869	8952828.000	41.000	1681.000	1681.000	41.000
9	520258.000	520279.000	-21.000	441.000	8952926	8952918.000	8.000	64.000	505.000	22.472
10	520349.000	520369.000	-20.000	400.000	8952974	8952975.000	-1.000	1.000	401.000	20.025
11	520482.000	520482.000	0.000	0.000	8953066	8953068.000	-2.000	4.000	4.000	2.000
12	520594.000	520594.000	0.000	0.000	8953152	8953158.000	-6.000	36.000	36.000	6.000
13	520689.000	520689.000	0.000	0.000	8953202	8953188.000	14.000	196.000	196.000	14.000
14	520807.000	520819.000	-12.000	144.000	8953251	8953218.000	33.000	1089.000	1233.000	35.114
15	520889.000	520879.000	10.000	100.000	8953232	8953248.000	-16.000	256.000	356.000	18.868
16	520985.000	520999.000	-14.000	196.000	8953171	8953171.000	0.000	0.000	196.000	14.000
17	521101.000	521100.000	1.000	1.000	8953117	8953128.000	-11.000	121.000	122.000	11.045
18	521143.000	521149.000	-6.000	36.000	8953048	8953038.000	10.000	100.000	136.000	11.662
19	521121.000	521149.000	-28.000	784.000	8952949	8952949.000	0.000	0.000	784.000	28.000
20	521090.000	521089.000	1.000	1.000	8952848	8952848.000	0.000	0.000	1.000	1.000
21	521029.000	521059.000	-30.000	900.000	8952752	8952751.000	1.000	1.000	901.000	30.017
22	520907.000	520909.000	-2.000	4.000	8952671	8952671.000	0.000	0.000	4.000	2.000

23	520788.000	520819.000	-31.000	961.000	8952648	8952618.000	30.000	900.000	1861.000	43.139
24	520694.000	520729.000	-35.000	1225.000	8952596	8952588.000	8.000	64.000	1289.000	35.903
25	520616.000	520639.000	-23.000	529.000	8952541	8952528.000	13.000	169.000	698.000	26.420
26	520543.000	520579.000	-36.000	1296.000	8952511	8952498.000	13.000	169.000	1465.000	38.275
27	520448.000	520448.000	0.000	0.000	8952438	8952438.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	520135.000	520129.000	6.000	36.000	8952254	8952258.000	-4.000	16.000	52.000	7.211
29	519989.000	519990.000	-1.000	1.000	8952266	8952228.000	38.000	1444.000	1445.000	38.013
30	519900.000	519919.000	-19.000	361.000	8952208	8952228.000	-20.000	400.000	761.000	27.586

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	11937.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	397.900
RMSE X	19.947

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	12525.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	417.500
RMSE Y	20.433

N=	30.000
SUMA DE DIFERENCIAS	24462.000
MEDIA DE LA SUMA AL CUADRADO	815.400
RMSEr	28.555
NSSDA (95%)	49.4234

ANEXO 2

PANEL FOTOGRÁFICO DEL TRABAJO DE CAMPO



Figura 15. Tesista y equipo técnico de campo del SERNANP para el levantamiento de la microcuenca



Figura 16. Vigilante Comunal “trochero”



Figura 17. Recorrido levantando el perímetro de la microcuenca



Figura 18. Desembocadura de la quebrada El Barbón en el río Yuyapichis



Figura 19. Levantamiento de datos con GPS Garmin Monterra