

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



DISEÑO DE UN CAMINO FORESTAL CON IMPACTO REDUCIDO EN EL CICFOR – MACUYA TRAMO BATAN 2 – PACAL, DE APROXIMADAMENTE 5 KM EN EL DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO, PROVINCIA DE PUERTO INCA, DISTRITO DE TOURNAVISTA.

TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

JOSÉ CARLOS CAMBERO RAMOS

PUCALLPA – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 371

A las 11:00 am del 28 de mayo del 2018, se reunieron los miembros del jurado calificador en la sala cómputo de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, conformada por los siguientes docentes:

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

Para proceder a la evaluación de la tesis: **“DISEÑO DE UN CAMINO FORESTAL CON IMPACTO REDUCIDO EN EL CICFOR – MACUYA TRAMO BATAN 2 – PACAL, DE APROXIMADAMENTE 5 KM EN EL DEPARTAMENTO DE HUANUCO, PROVINCIA DE PUERTO INCA DISTRITO DE TOURNAVISTA”**.

Finalizado la sustentación de la tesis, se procedió a la formulación de las preguntas, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**, con el calificativo de muy bueno, quedando expedito para el otorgamiento del título de **INGENIERO FORESTAL**. El asesor de la tesis fue el Dr. Fernando Velásquez de la Cruz. A las 12.00 pm se dio por concluido el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad:

Dr. Fredy Helar Velásquez Ramírez
Miembro

Ing. M.Sc. César Mori Montero
Miembro

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Presidente

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, integrado por los siguientes Catedráticos:

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

Ing. Geicelito Amasifuen Lozano

Co-Asesor

Bach. José Carlos Cambero Ramos

Tesisista

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de concluir mis estudios, a mis padres Miguel y Luz por su gran esfuerzo e infinito apoyo en mi formación profesional. A mis queridos hermanos Ileana, Ivonne, Anita, Miguel y Maria por el apoyo incondicional que me dan en todo momento.

AGRADECIMIENTO

- A mi asesor: M.Sc. Ing. Fernando Velásquez De la Cruz, por el apoyo brindado durante todo el trabajo de investigación.
- A mi co-asesor Ing. Geicelito Amasifuen Lozano, por el apoyo incondicional brindado durante el proceso de redacción de la tesis.
- Universidad Nacional de Ucayali (UNU), por apoyarme en el financiamiento de esta investigación.

INDICE GENERAL

	Pág
ACTA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODCUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
2.3. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA.....	6
2.3.1. Sistema de Información Geográfica.....	6
2.3.2. Modelo de Elevación Digital.....	7
2.3.3. Sistemas de coordenadas.....	8
2.3.4. Tipos de sistemas de coordenadas.....	8
2.3.5. Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	9
2.3.6. Los Datos del SRTM.....	9
2.3.7. Caminos forestales.....	11
2.3.8. Diseño de un camino forestal.....	11
2.4. DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS.....	13
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	15
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.1.1. Método.....	15
3.1.2. Población y muestra	15
3.1.2. Ubicación geográfica.....	16
3.2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	16

3.2.1. Fase de campo.....	16
3.2.2. Fase de Gabinete.....	16
3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE DATOS.....	17
3.4. TRATAMIENTO DE DATOS.....	17
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. Trazo digital del camino forestal con el software ArcGIS 10.1 en base a los mapas derivados del SRTM.....	19
4.2. Replanteo de trazo digital del camino forestal en el campo, con ayuda de un GPS Garmin 60CSX.....	21
4.3. Comparación de los parámetros X, Y, Z y pendiente del trazo digital, con los datos registrados en el campo, con estándares internacionales para datos geoespaciales.....	23
4.3.1. Error Posicional (Coordenadas X, Y).....	24
4.3.2. Error Atributo (Coordenada Z).....	25
4.3.3. Pendiente.....	26
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	28
RECOMENDACIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA.....	30
ANEXO	33

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 . Coordenadas de los centroides obtenidas del DEM SRTM.....	23
Tabla 2 . Coordenadas obtenidas con GPS de los puntos con mayor altura.....	23
Tabla 3 . Cuadrado medio del error (RSME) para coordenadas de Geoubicación.....	24
Tabla 4 . Cuadrado medio del error (RSME) de la Altura.....	25
Tabla 5 . Comparación de pendiente expresado en porcentaje.....	26
Tabla 6 . Datos recolectados según el SRTM.....	33
Tabla 7 . Datos recolectados con el GPS.....	34

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 . Mapa del área CIFOR-MACUYA utilizando el DEM SRTM.....	19
Figura 2 . Mapa de la red hidrográfica del CICFOR – MACUYA.....	20
Figura 3 . Mapa de circuitos SRTM y GPS de CICFOR – MACUYA.....	21
Figura 4 . Mapa de ubicación de los centroides del camino forestal.....	22
Figura 5 . Perfil de los puntos con mayor altura en el diseño del camino forestal obtenidos por el SRTM y GPS tramo Batan 2 – Pacal	26
Figura 6 . Perfil del camino forestal obtenidos del SRTM y GPS con respecto a la distancia.....	27
Figura 7 . Toma de puntos con GPS en el CICFOR – Macuya para el trazo del camino forestal.....	37
Figura 8 . Recorrido y toma de puntos para el trazo del camino forestal en el CICFOR – Macuya.....	37
Figura 9 . Con Elías uno de los Materos conocedor del bosque Macuya, durante el trabajo de campo.....	38
Figura 10 . En el bosque Macuya realizando el trabajo de campo con el asesor de la tesis.....	38
Figura 11 . Punto de referencia de inicio del camino Batan 2.....	39
Figura 12 . Batan 2.....	39
Figura 13 . En la divisoria de la quebrada San Pedro.....	40
Figura 14 . Libreta de campo.....	40
Figura 15 . Toma de puntos con GPS.....	41

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general: Diseñar un camino Forestal con impacto reducido en el CICFOR – Macuya tramo Batan 2 - Pacal de aproximadamente 5 km. Para esto se utilizó el 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 16.0 y procesados con el software ArcGIS 10.1, con los datos obtenidos en el campo por medio de un GPS Garmin 60 CSx. La población estuvo constituida por todos los puntos de coordenadas X, Y, Z correspondientes al área del CICFOR – Macuya con un pixel de 30 metros aproximadamente y la muestra estuvo constituida por todos los puntos tomados para el diseño del camino forestal en el CICFOR – Macuya, cada punto está constituido por las coordenadas X, Y, Z. Los instrumentos de recolección de datos en la fase de campo fueron: GPS, brújula, libreta de campo, lapicero y cámara fotográfica, en la fase de gabinete fueron: Formato de evaluación, Libreta de apuntes, ordenador portátil, Software ArcGIS 10.1, Software Global Mapper 16.0.

Los resultados ponen en evidencias que para minimizar el impacto del diseño de un camino forestal se tienen que usar mapas derivados del DEM del SRTM, y software sofisticado como el Global Mapper 16.0 y el ArcGIS 10.1, para poder así evitar el cruce de los drenajes naturales, pendientes pronunciadas y suelos inestables, permitiendo que la red de drenaje sea fluida. Para el replanteo del trazo digital del camino forestal en el campo se tiene que utilizar un GPS Garmin 60CSX para tomar los puntos más altos y comparar con los centroides generados por las curvas de nivel obtenidos del SRTM. El cuadrado medio del error radial (RSME) de las coordenadas del camino forestal en estudio es de 36.49 metros con un intervalo de confianza de 7.51, del atributo Z (altura) es de 16.74 metros con un intervalo de confianza de 1.73, ambos a un nivel de confianza de 95%; con pendiente promedio del 3.85% obtenidos con el SRTM y 6.47% obtenido con el GPS.

Palabras claves: coordenadas, camino forestal, centroides

ABSTRACT

The main objective of this research was to: Design a forest road with reduced impact on CICFOR - Macuya Batan 2 - Pacal stretch of approximately 5 km. For this, the comparative method was used, by means of which the path of a forest road was compared, using the digital elevation model of the SRTM, downloaded from the internet with the Global Mapper 16.0 software and processed with the ArcGIS 10.1 software, with the data obtained in the field by means of a GPS Garmin 60 CSx. The population was constituted by all the points of X, Y, Z coordinates corresponding to the area of the CICFOR - Macuya with a pixel of 30 meters approximately and the sample was constituted by all the points taken for the design of the forest road in the CICFOR - Macuya , each point is constituted by the coordinates X, Y, Z. The data collection instruments in the field phase were: GPS, compass, field notebook, pen and camera, in the cabinet phase were: Evaluation format, Notebook, Laptop, Software ArcGis 10.1, Software Global Mapper 16.0.

The results show that in order to minimize the impact of the design of a forest road, it is necessary to use maps derived from the SRTM DEM, and sophisticated software such as the Global Mapper 16.0 and ArcGIS 10.1, in order to avoid crossing the natural drainages, steep slopes and unstable soils, allowing the drainage network to be fluid. For the setting out of the digital trace of the forest road in the field, a Garmin 60CSX GPS must be used to take the highest points and compare with the centroids generated by the contour lines obtained from the SRTM. The mean square of the radial error (RSME) of the coordinates of the forest road under study is 36.49 meters with a confidence interval of 7.51, the attribute Z (height) is 16.74 meters with a confidence interval of 1.73, both at a 95% confidence level; with average slope of 3.85% obtained with the SRTM and 6.47% obtained with the GPS.

Keywords: coordinates, forest road, centroids.

INTRODUCCIÓN

Para diseñar caminos forestales con impacto reducido en la amazonia peruana demanda de mucha capacidad en el uso de los sistemas de información geográfica, ya que con esta herramienta se puede integrar y relacionar diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos); que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

El Modelo de Elevación Digital (MED) obtenido del SRTM es una representación de Ráster de una superficie continua, que en general hace referencia a la superficie de la tierra mediante datos de elevación. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución. Este modelo es importante por ser la base para el desarrollo de múltiples aplicaciones en el estudio y análisis cartográfico. Entre ellos cabe destacar: mapas de pendientes, curvas de nivel, redes hídricas, cuencas hidrográficas, etc. Con esta información es posible diseñar un camino forestal con impacto reducido, que permita el acceso al bosque, mediante una adecuada planificación, evitando fuertes pendientes, suelos inestables propensos a deslizamientos, cruces de drenajes naturales y evitando zonas frágiles de protección o conservación.

Los modelos digitales de elevaciones (MDE) desempeñan un papel similar al mapa topográfico convencional: son herramientas básicas para la mayoría de los trabajos territoriales en ámbitos muy diversos. Por tanto, el MED garantiza que los análisis realizados a partir de ellos generan resultados realistas. La simulación de procesos es uno de los tipos de análisis que puede realizarse a partir de los MDE, generalmente mediante herramientas incluidas en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El Centro de Investigación y Capacitación Forestal – Macuya (CICFOR – Macuya) tiene un área de bosque natural de 2,470 hectáreas donde se desarrollan labores de enseñanza, prácticas de campo e investigación. Para poder realizar estas actividades es fundamental un camino forestal, que permita facilitar el acceso al bosque para contribuir a atender las necesidades de investigación, reforestación, protección y control.

El presente estudio tiene como objetivo general: Diseñar un camino Forestal con impacto reducido en el CICFOR – Macuya tramo Batan 2 - Pacal de aproximadamente 5 km, aplicando datos del Modelo de Elevación Digital del SRTM y comparando con datos tomados en campo con un GPS Garmin 60 CSx para una exactitud y confiabilidad de los datos base, es un aporte en la investigación que ayudará a planificar, organizar y tomar decisiones responsables en futuras construcciones de caminos forestales de diferentes zonas de la Amazonía peruana, de manera rápida a bajo costo.

Los objetivos específicos fueron: Realizar en base a los mapas derivados del MED del SRTM el trazo digital del camino forestal con el software ArcGIS 10.1. Replantear el trazo digital del camino forestal en el campo, con ayuda de un GPS Garmin 60CSx. Comparar los parámetros X, Y, Z y pendiente del trazo digital, con los datos registrados en el campo, con estándares internacionales para datos geoespaciales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo actual la tecnología satelital ha facilitado la obtención de información de una manera más amplia y con continuidad en el tiempo, donde los datos e imágenes provenientes de sistemas satelitales, posibilitan la generación de Modelos de Elevación Digital (MED) a menor costo y mayor accesibilidad. (Gutiérrez, H. 2014)

En el Perú los caminos forestales se planifican directamente en el campo por personal no calificado, porque se consideran transitorios. En terrenos montañosos la dificultad de la topografía ha llevado a una mejor planificación de los caminos. Pero comúnmente el trazado no es posible, sin recorrer en detalle la zona, además del análisis de la cartografía. (Estela, E. 2011)

El Centro de Investigación y Capacitación Forestal - Macuya (CICFOR - Macuya) tiene un área de bosque natural de 2,470 hectáreas donde se desarrollan labores de enseñanza, prácticas de campo e investigación. Para poder realizar estas actividades es fundamental un camino forestal, que permita facilitar el acceso al bosque para contribuir a atender las necesidades de investigación, reforestación, protección y control, además de ser un potencial ecoturístico ya que dispone de la diversidad biológica, cultural, y paisajística.

El descubrimiento de petróleo a la altura del Km 12 de la carretera marginal y el incremento de las inversiones privadas y del estado, está influyendo el aprovechamiento de los recursos naturales cercanos, que favorece el asentamiento espontaneo de nuevos agricultores en los alrededores, se proyecta que, en un plazo de 5 años, todos los bosques que rodean al CICFOR – Macuya, habrán sido convertidos a otros usos, contribuyendo a la degradación del medio ambiente (Reategui G., 2015).

Ante este problema, el presente trabajo resolvió la siguiente interrogante:
¿Se podrá diseñar un camino forestal con impacto reducido en el CICFOR – Macuya, tramo Batan 2 – Pacal de aproximadamente 5 km?

1.2. HIPÓTESIS:

1.2.1. General

H: Será factible diseñar un camino Forestal con impacto reducido, utilizando mapas derivados del DEM del SRTM procesado con el software ArcGIS 10.1 en el CICFOR – Macuya tramo Batan 2 - Pacal de aproximadamente 5 km.

1.2.2. Específicos:

H1: Se podrá realizar el trazo digital del camino forestal en base a los mapas derivados del DEM SRTM con la ayuda del software ArcGIS 10.1

H2: Con ayuda de un GPS Garmin 60CSx se podrá replantear el trazo digital del camino forestal en el campo.

H3: Los parámetros X, Y, Z y pendiente obtenidos a partir del DEM del SRTM y el GPS Garmin 60CSx registrados en el campo tendrán errores que están dentro de los rangos establecidos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

Cascante (2010) citado por Gutiérrez, H. (2014) la evaluación de tres Modelos de Elevación Digital (MED) en el área de la línea de Transmisión Arenal-Barranca-Costa Rica. En este trabajo se evalúan las diferencias que existen entre los datos de elevación tomados en campo con GPS y los obtenidos de tres distintos modelos de elevación digital disponibles en internet como MED-Nasa, Google Earth y ASTER GOEM; concluyendo que los modelos con menor error y variabilidad fueron respectivamente GoogleEarth y el Aster Gdem, ambos con RMSE de 19.66 y 27.43 m.

Kumar, (2005) citado por Burgos (2012) y Gutiérrez, H. (2014); donde se utilizan dos MED (SRTMC y ASTER GOEM) para evaluar las incertidumbres del mapeo de inundación según la fuente de elevación. Concluye que con un RMSE (Root Mean Square Error, Raíz del Error Cuadrático Medio) de 14.70 m y un rango de elevaciones de 93 m, ASTER GOEM se comporta satisfactoriamente para modelación hidrodinámica con el software MIKE11 (aplicación informática comercial desarrollada por el Danish Hydraulic Institute para modelación unidimensional).

Mathews, C. (2011) citado por Gutiérrez, H. (2014) realizó la evaluación de levantamiento de una red hidrográfica con datos de satélite mediante el sensor remoto Aster en el Bosque del CICFOR-Macuya, utilizando los OEMs S09W75 y S09W76 como información básica para la generación de la red hidrográfica y comparó los datos (x,y & z) con datos obtenidos in situ con GPS Garmin 60 Csx. Evaluando la quebrada "El Zancuda!" el promedio de la diferencia de datos obtenidos del OEM y del track de GPS en las variables "X", "Y" y "Z" fue de 21.795 m, -8.320 m y 22.807 m, respectivamente a partir del análisis estadístico comparativo se determinó que no existe diferencia significativa entre los dos métodos de levantamiento.

Estela, E. (2011) citado por Gutiérrez, H. (2014) realizó el trazo de un camino forestal con datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Realizo un análisis cuantitativo de calidad de los MED del SRTM para el trazo de un camino forestal con ayuda del Software ARC GIS 9.3 en el área del CICFOR – Macuya, con cobertura vegetal. El análisis comparativo se basó en la definición de un trazo de camino digital y su posterior realización en el campo con ayuda de un GPS. Los resultados indicaron que existe un cuadrado medio del error de (CME) de geo ubicación de 28.33 m horizontal y 8.14 m vertical.

Hidalgo, V. (2012) citado por Gutiérrez, H. (2014) realizó la Comparación de Dos Métodos de Levantamiento de la Divisoria de Cuenca de la Quebrada El Zancuda! en el Centro de Investigación y Capacitación Forestal CICFOR - Macuya, donde el análisis comparativo consistió en la determinación de la calidad del MED de SRTM para delimitación de cuenca de la quebrada Zancudal. Concluyendo que la geoubicación de la cuenca presento un CMEr de 34.86 metros a un 95% de nivel de confianza.

2.3. PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA

2.3.1. Sistema de Información Geográfica

La información geográfica con la cual se trabaja en los SIG, puede encontrarse en dos tipos de presentaciones o formatos: Celular o ráster y Vectorial (Carmona & Monsalve, 2008).

Los Sistemas de Información Geográfica son la herramienta clave para la gestión de cualquier recurso ya sea natural o antrópico. Permiten desarrollar cartografía básica para, posteriormente, analizar, representar y plantear estrategias de gestión de manera coherente, optimizada y viable. Encontraremos infinidad de aplicaciones SIG en el medio ambiente. Todas ellas destinadas a la gestión de algún aspecto natural o social que

permita contribuir a la correcta gestión de las necesidades del ser humano y su entorno (Matellanes, 2016).

2.3.2. Modelo de Elevación Digital

Un Modelo digital de elevación (DEM) es un elemento básico, en donde se representa de manera digital la superficie terrestre. Los modelos digitales del terreno, representan distintas características importantes de la superficie que se generan derivadas de un conjunto de capas, generalmente de origen ráster (Maldonado, 2017).

Los Modelos de Elevación Digital responden a archivos cartográficos que identifican la superficie territorial mediante datos de elevación. Así, por ejemplo, un análisis de valores de altitud nos puede ayudar a construir un nuevo modelo basado en valores de pendientes. O un análisis de las variaciones de altitud puede identificar los drenajes naturales. Cualquier aspecto de la morfología terrestre puede ser analizado a través de un sencillo DEM y sus valores altitudinales (Matellanes, R. 2016).

Según Alonso (2006) los elementos más habituales que permiten simplificar la codificación de la elevación son:

- Curvas de nivel, se trata de líneas definidas por tanto como una sucesión de pares de coordenadas, que tienen como identificador el valor de la elevación en cada uno de los puntos de la línea. Generalmente el intervalo entre valores de las curvas de nivel es constante.
- Red Irregular de Triángulos (TIN), a partir de un conjunto de puntos, en los que se conoce la elevación, se traza un conjunto de triángulos, formados por tripletas de puntos cercanos no colineales, formando un mosaico. En ocasiones se parte de las curvas de nivel que, tras descomponerse en un conjunto de puntos, genera una red irregular de triángulos. En este caso hay que tener en cuenta que pueden formarse triángulos a partir de puntos extraídos de la misma curva de

nivel, por tanto, con el mismo valor, que darán lugar a triángulos planos. Tienen entre sus ventajas el adaptarse mejor a las irregularidades del terreno.

- Formato ráster, es el más adecuado para la integración de las elevaciones en un SIG ya que va a permitir la utilización de diversas herramientas para la obtención de nuevos mapas a partir del DEM.

Soriano, C. (2016) menciona que el campo de uso del modelo de elevación digital es muy variado como: extracción de los parámetros del terreno, trazados de perfiles topográficos, creación de mapas de relieve, análisis del terreno en geomorfología y geografía física, modelos hidrológicos, Análisis visual.

2.3.3. Sistema de Coordenadas

Un sistema de coordenadas es un sistema de referencia que se utiliza para representar la ubicación de entidades geográficas, imágenes y observaciones (como las localizaciones GPS) dentro de un marco geográfico común (Bravo & Nino, 2013).

La palabra coordenada se utiliza para hacer referencia a un punto en el cual se unen dos líneas que puede marcarnos la ubicación exacta de ese punto. La coordenada es un elemento muy importante de las ciencias matemáticas como también de otras ciencias que pueden recurrir a ella como auxiliar, por ejemplo, el caso más claro es el de la geografía que utiliza la idea de coordenada para ubicar lugares y territorios específicos en el mapa (Bembibre, 2012).

2.3.4. Tipos de sistemas de coordenadas

Según (Bravo & Nino, 2013), existen dos tipos comunes de sistemas de coordenadas que se utilizan en SIG:

- El sistema de coordenadas geográficas: Se utiliza una superficie esférica tridimensional para definir ubicaciones en la Tierra. Un sistema de coordenadas geográficas incluye una unidad angular de

medida, un meridiano base y un datum (basado en un esferoide). Los valores de latitud y longitud hacen referencia a un punto en un sistema de coordenadas geográficas. La longitud y la latitud son ángulos medidos desde el centro de la Tierra hasta un punto de la superficie de la Tierra. Los ángulos se suelen medir en grados (o en grados centesimales).

- Un sistema de coordenadas proyectadas: Se define sobre una superficie plana de dos dimensiones. A diferencia de un sistema de coordenadas geográficas, un sistema de coordenadas proyectadas posee longitudes, ángulos y áreas constantes en las dos dimensiones. Un sistema de coordenadas proyectadas siempre está basado en un sistema de coordenadas geográficas basado en una esfera o un esferoide. En un sistema de coordenadas proyectadas, las ubicaciones se identifican mediante las coordenadas x, y en una cuadrícula, con el origen en el centro de la cuadrícula. Cada posición tiene dos valores de referencia respecto a esa ubicación central. Uno especifica su posición horizontal y el otro su posición vertical.

2.3.5. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS (Global Positioning System) es un sistema de posicionamiento global creado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos que suministra información sobre la posición, con cobertura en todo el mundo. El GPS, o Sistema de Posicionamiento Global, se encuadra dentro de los sistemas de posicionamiento mediante estaciones móviles, siendo las estaciones de transmisión diferentes satélites que orbitan alrededor de la Tierra (Cazorla, 2012).

2.3.6. Los Datos del SRTM

La Misión Shuttle Radar Topography (SRTM) es un proyecto internacional liderado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial y la NASA

cuyo objetivo es obtener la base de datos topográficos digitales de alta resolución más completa de la Tierra (Ramírez, E. 2016).

Durante la misión Shuttle Radar Topography, un sistema de radar especialmente modificado voló a bordo del transbordador espacial Endeavour durante 11 días en febrero de 2000. Este sistema de radar reunió datos que darán como resultado el mapa topográfico más preciso y completo de la superficie de la Tierra (Ramirez, 2016).

La Misión Shuttle Radar Topography (SRTM) obtuvo datos de resolución de 90 metros (3 segundos de arco) en una escala casi global (entre 56 grados Sur y 60 grados de latitud Norte) y 30 metros (1 segundo de arco) de resolución en los Estados Unidos, proporcionando un valioso conjunto de datos topográficos globales (Open Topography, 2014).

El SRTM usó una técnica llamada interferometría de radar. En la interferometría de radar, se toman dos imágenes de radar desde ubicaciones ligeramente diferentes. Las diferencias entre estas imágenes permiten calcular la elevación o el cambio de la superficie. Para obtener dos imágenes de radar tomadas de diferentes ubicaciones, el hardware SRTM consistía en una antena de radar (C-band) en el compartimento de carga y una segunda antena de radar (X-band) unida al extremo de un mástil que se extendía 60 metros desde el transbordador (Ramirez, 2016).

A fines del 2014, el gobierno de los Estados Unidos emitió el DEM de SRTM de mayor resolución al público. Este modelo de elevación digital global de 1 arco tiene una resolución espacial de aproximadamente 30 metros. Además, cubre la mayor parte del mundo con una precisión de altura vertical absoluta de menos de 16 m (GISGeography, 2018).

Una característica altamente discutida del MED del 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 boscosas se reflejan de vuelta en el follaje, bastante por encima de la superficie de la tierra desnuda (Kellindorfer & Walker, 2004). La Pendiente es un producto valioso derivado 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 & Rubiano, 2004).

La exactitud absoluta horizontal y vertical del modelo SRTM es de ≤ 20 m (error circular con una precisión del 90 %) y de ≤ 16 m (precisión de altura vertical al 90 %) respectivamente, dependiendo de la pendiente del terreno, el tipo de vegetación y de la corrección del desplazamiento planimétrico. (NASA, 2016)

2.3.7. Caminos Forestales

Los caminos forestales son complejas estructuras de ingeniería de las que dependen el transporte eficiente y el acceso seguro al bosque. Sin duda, son el aspecto más problemático de las operaciones de explotación maderera porque una parte importante de la erosión del suelo cabe atribuirle directamente a las carreteras, en muchos casos por deficiencias de diseño, construcción o mantenimiento. Los caminos forestales son indispensables tanto para la extracción de madera industrial como para facilitar el acceso al bosque, para su ordenación y control (Dykstra & Heinrich, 1996).

2.3.8. Diseño de un camino Forestal

El trazado se define como el proceso de identificación de una potencial franja lineal de terreno que conectara dos lugares geográficos. Dicha identificación, con el fin de ser materializada y de tener herramientas de trabajo plasmada en un plano topográfico. La principal herramienta para este proceso es la elaboración de la línea de ceros, que es una línea que

conserva una pendiente uniforme al pasar por puntos obligados del proyecto y que de coincidir el eje de la vía con esta, el movimiento de tierra sería virtualmente cero (Cardenas G., 2000).

Dykstra & Heinrich (1996) menciona que los caminos forestales bien diseñados, construidos con técnicas de ingeniería respetuosas del medio ambiente y que son objeto de un mantenimiento correcto deben:

- Permitir, con un bajo costo, el acceso al bosque para el transporte de los productos forestales y para contribuir a atender las necesidades de ordenación y protección de los bosques, beneficiando al mismo tiempo a las comunidades locales.
- Reducir al mínimo la erosión del suelo que ocasionan las carreteras y, por tanto, limitar la sedimentación de los arroyos.
- Utilizar sistemas naturales de drenaje.
- Evitar las zonas de importancia cultural, religiosa o paisajística y aquellas en las que el tráfico pueda perturbar la vida silvestre y la existencia de las poblaciones indígenas.
- Velar por la seguridad de los trabajadores y de los usuarios en general que puedan utilizar el camino.

Dykstra & Heinrich (1996) recomiendan para reducir el impacto en la construcción de caminos las siguientes prácticas:

- Limitar al mínimo indispensable la longitud de los caminos forestales. De esta forma, no sólo se reduce al mínimo su erosión sino también la tala del bosque.
- Reducir al mínimo la zona alterada al construir el camino, el ancho máximo del desmonte debe ser inferior a 7,5 m para los caminos principales y de menos de 5 m para los secundarios.
- Evitar, cuando sea posible, las zonas de suelos húmedos y propensos a la erosión.
- Revestir lo antes posible de vegetación los taludes laterales del camino una vez terminada su construcción. Es mejor una vegetación

baja y arbustiva o de gramíneas que los árboles de crecimiento rápido que sombrean la superficie del camino e impiden que se sequen tras los periodos de lluvia.

- Trazar el camino con la pendiente que oscile entre el 10 y el 20% (6-11°). En los caminos que se consideran indispensables para la ordenación o protección del bosque se ha de efectuar un trabajo adecuado de mantenimiento que permita utilizarlas en todo momento.
- Trazar el camino por zonas elevadas estables.

2.4. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

2.4.1. ArcGIS: 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 de ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

2.4.2. Curvas de nivel: Se trata de líneas, definidas por tanto como una sucesión de pares de coordenadas, que tienen como identificador el valor de la elevación en cada uno de los puntos de la línea. Generalmente el intervalo entre valores de las curvas de nivel es constante.

2.4.3. Topografía convencional: Estaciones topográficas realizadas en el campo mediante dispositivos que permiten la grabación de datos puntuales que se interpolan posteriormente.

2.4.4. Sistemas de Posicionamiento GPS: Sistema global de localización mediante satélites, que permite estimaciones suficientemente precisas de latitud, longitud y altitud de un punto, posteriormente deben interpolarse los datos.

2.4.5. Azimut: Es el ángulo de una dirección contado en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico. El acimut de un punto hacia el este es de 90 grados y hacia el oeste de 270 grados sexagesimales. El término acimut sólo se usa cuando se trata del norte geográfico. Cuando se empieza a contar a partir del norte magnético se suele denominar rumbo o acimut magnético. En geodesia o topografía geodésica el acimut sirve para determinar la orientación de un sistema de triangulación.

2.4.6. Resolución: El pixel es el elemento más pequeño al que un dispositivo de visualización puede asignarle de forma independiente un atributo como es el color. Así se define la resolución como la dimensión lineal mínima de la unidad más pequeña del espacio geográfico para la que se recogen los datos. La resolución dependerá del nivel de detalle con el que se quiera representar el mundo real, teniendo en cuenta las posibilidades de análisis y hardware/software.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Método.

En el presente estudio se utilizó el 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 16.0 y procesados con el software ArcGIS 10.1, con los datos obtenidos en el campo por medio de un GPS Garmin 60 CSx.

3.1.2. Población y muestra.

- La población estuvo constituida por todos los puntos de coordenadas X, Y, Z correspondientes al área del CICFOR – Macuya, tomados de los datos del SRTM con un pixel de 30 metros aproximadamente.
- La muestra estuvo constituida por todos puntos tomados para el diseño del camino forestal en el CICFOR – Macuya. Cada punto está constituido por las coordenadas X, Y, y las alturas Z.

3.1.3. Ubicación geográfica.

El área de estudio estuvo ubicado en el terreno del Centro de Investigación y Capacitación Forestal - Macuya (CICFOR – Macuya), de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en el Kilómetro 5 de la Carretera Fernando Belaúnde Terry, entre las coordenadas Geográficas 8° 52' 15" y 8° 56' 09" de Latitud Sur, 75° 01' 17" y 74° 57' 46" de Longitud Oeste, a 215 msnm, en el distrito de Tournavista, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco.

El CICFOR – Macuya abarca una superficie de 2,470 ha y se encuentra en la zona de vida Bosque muy húmedo – Pre montano tropical (bmh-PT), una temperatura media anual de 23.5 °C, con muy poca variación entre máximos y mínimos a lo largo del año. La humedad relativa promedio anual es de 85 %, la precipitación anual varía entre 2 000 y 2 500 mm, que incluye un periodo seco y otro lluvioso que corresponde a los meses de noviembre a marzo, la evapotranspiración potencial es de aproximadamente 1 300 msnm.

3.2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.2.1. Fase de campo

- GPS
- Brújula
- Libreta de campo
- Lapicero
- Cámara fotográfica

3.2.2. Fase de gabinete

- Formato de evaluación
- Libreta de apuntes
- Ordenador portátil
- Software ArcGIS 10.1

- Software Global Mapper 16.0

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

- El polígono del CICFOR – Macuya se cargó en el programa Google Earth Pro, y se obtuvieron las coordenadas geográficas decimales de los 4 vértices de un polígono mayor al área del CICFOR – Macuya.
- Estas coordenadas se cargaron en el programa Global Mapper 16.0, para bajar los datos digitales del SRTM de Internet y generar las curvas de nivel cada metro.
- Posteriormente los datos del SRTM se procesaron con la herramienta Hydrology del ArcGIS 10.1 y se generan los mapas de la red de drenaje y de microcuencas.
- Con el software ArcGIS 10.1 se diseñó el trazo digital del camino que sigue la divisoria de cuenca de la quebrada San Pedro, partiendo del Batán 2 (Coordenadas Este 502378, Norte 9015428), hacia el punto final denominado el Pacal (Coordenadas Este 501887, Norte 9012687) localizado en el lindero sur del bosque Macuya.
- Una vez obtenido el trazo digital, se cargó dicha información al GPS Garmin 60 CSx, por medio del software DNR Garmin.
- Con el apoyo del GPS y una brújula, se procedió a plantear el camino forestal abriendo una trocha con machete, siguiendo la línea divisoria de cuencas de la quebrada San Pedro. En las cimas de las colinas se registró el punto más alto con la función Waypoint del GPS, este par de coordenadas se comparó con las coordenadas del centroide de las curvas de nivel de mayor altura.

3.4. TRATAMIENTOS DE DATOS

Los datos fueron procesados estadísticamente por medio de los siguientes parámetros:

Error cuadrático medio (RMSE ó RCEMC): Permite comparar el ajuste entre los datos observados en campo y los extraídos del DEM. Las unidades son las mismas de los datos observados. Valores de RMSE iguales a 0 son óptimos ya que los errores no existirían y la relación sería perfecta, pueden darse cualquier valor positivo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_c(i) - H_D(i))^2}{N}}$$

Donde:

RMSE = Raíz del cuadrado medio del error.

HC = Datos observados en campo.

HD = Datos extraídos del DEM.

N = Numero de muestra.

Estándar según la NSSDA (Nacional Standard for Spatial Data Accuracy)

La exactitud se reportó utilizando la raíz cuadrada del error medio Cuadrático (RCEMC) para un nivel de confianza del 95% en las unidades del mapa.

La RCEMC debe calcularse utilizando un mínimo de 20 puntos de muestreo.

- Exactitud horizontal = 1.7308 * RCEMC r.
- Exactitud vertical = 1.960 * RCEMC z.

Estándar Nacional para la Exactitud de Datos Geospaciales (NSSDA, por sus siglas en Inglés) (FGDCSTD- 007.3-1998).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Trazo digital del camino forestal con el software ArcGIS 10.1 en base a los mapas derivados del SRTM.

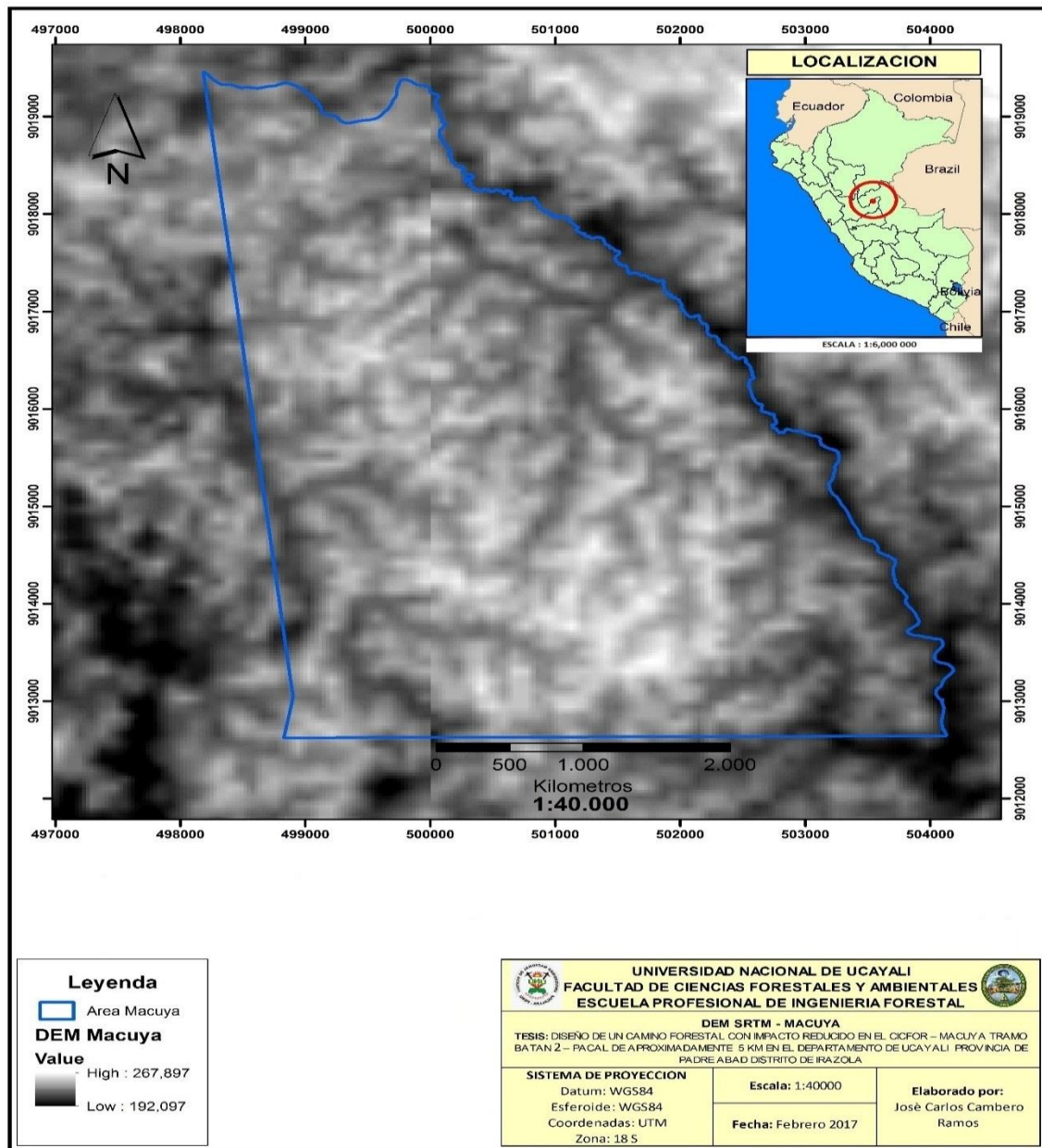


Figura 1. Mapa del área CIFOR-MACUYA utilizando el DEM SRTM.

En la figura 1 se muestra el área de CIFOR-MACUYA utilizando las imágenes del DEM del SRTM descargado de la web del CGIAR por medio del software Global Mapper, con resolución de pixel de 30 x 30 metros aproximadamente, y con esto obtener los mapas derivados como curvas de nivel a 1 metro y la red de drenajes naturales.

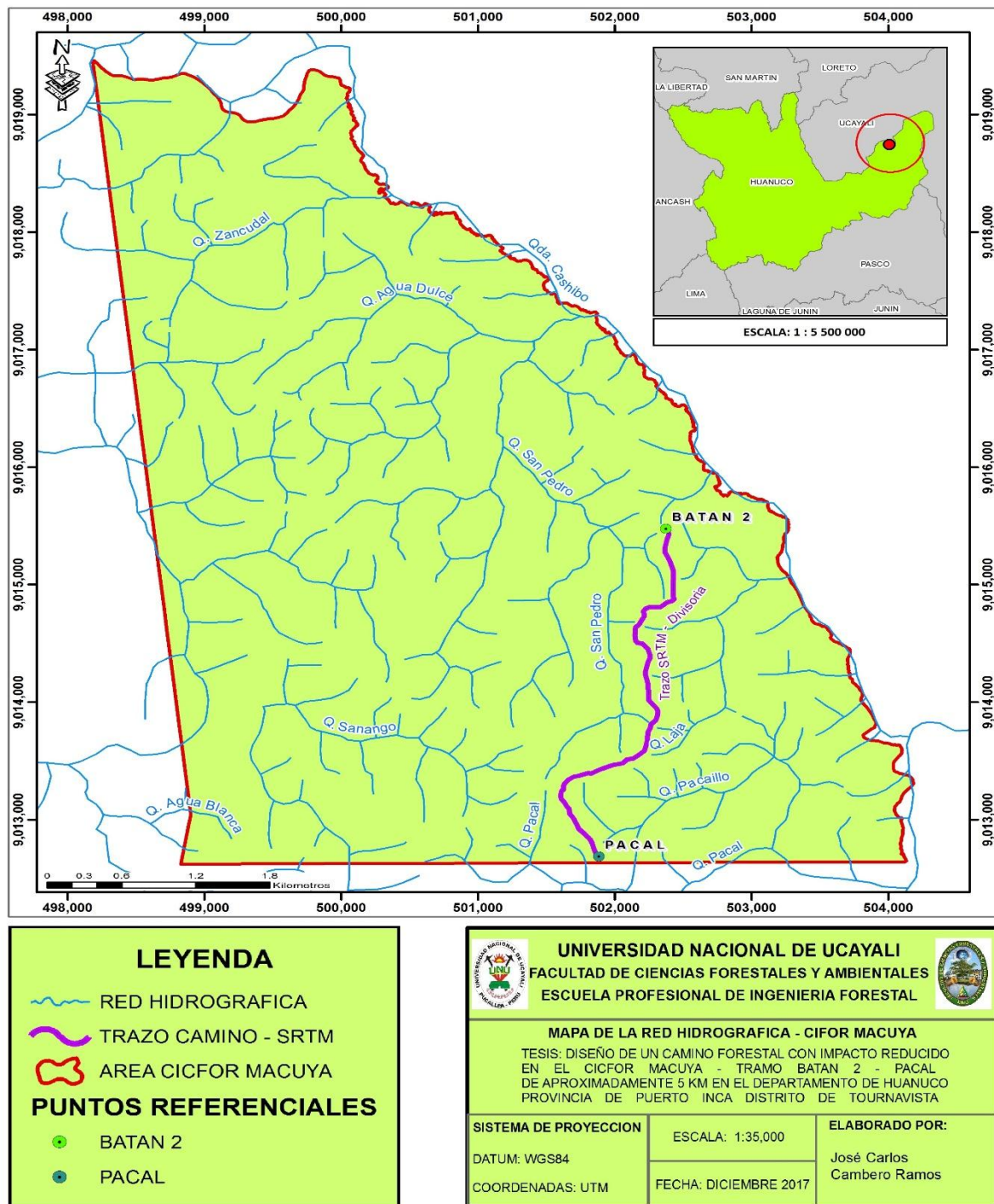


Figura 2. Mapa de la red hidrográfica del CICFOR – MACUYA.

La figura 2 muestra la red hidrográfica del CICFOR – MACUYA, que a partir de ello se elaboró el trazo digital del camino forestal en estudio, procesado a través del software ArcGIS 10.1, lo que permite evitar que el trazo digital cruce por los drenajes naturales y de esta manera minimizar el impacto a través del libre fluido del agua.

4.2. Replanteo de trazo digital del camino forestal en el campo, con ayuda de un GPS Garmin 60CSX.

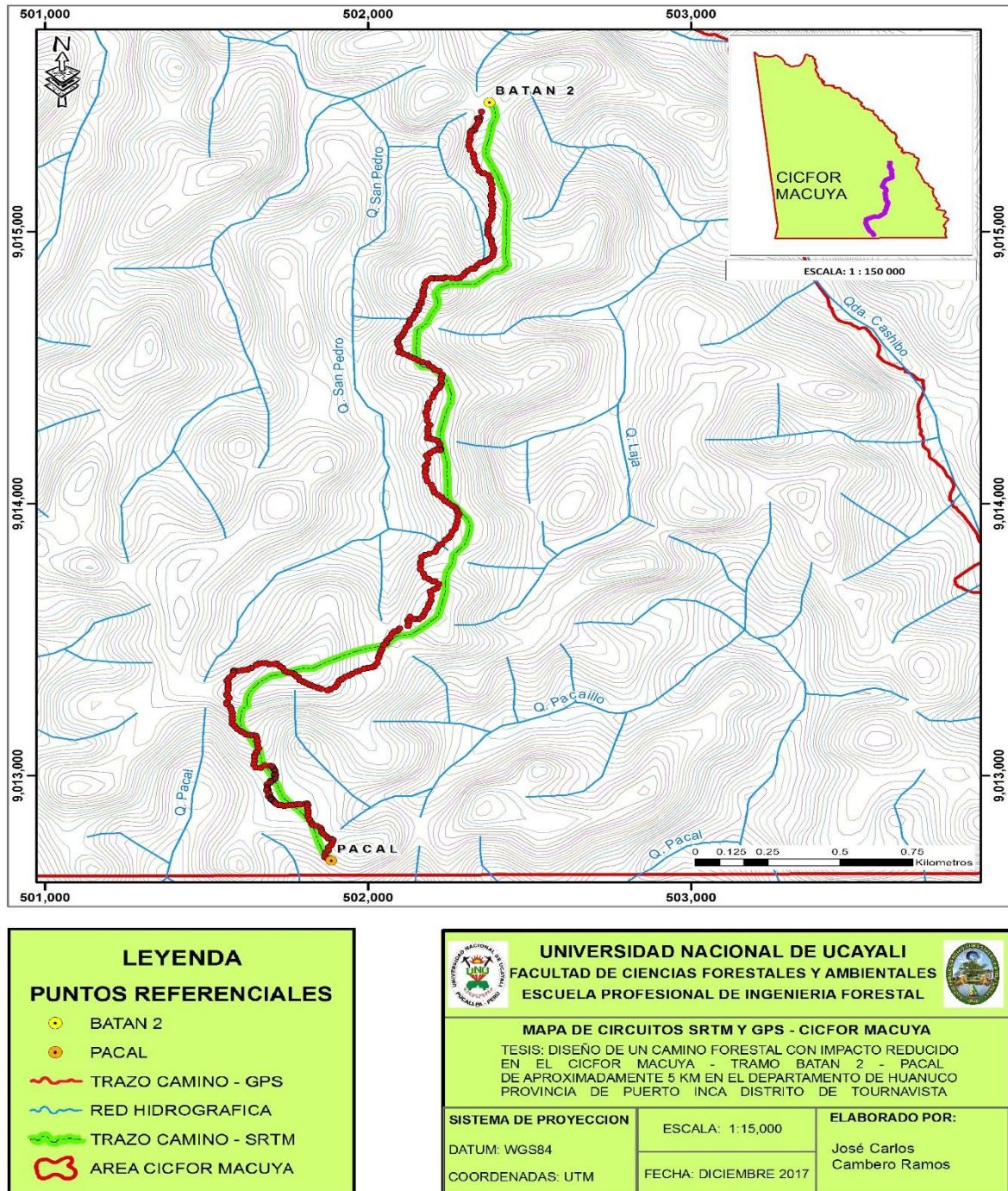


Figura 3. Mapa de circuitos SRTM y GPS de CICFOR – MACUYA.

La figura 3 muestra el trazo del camino forestal con el SRTM (línea color verde) y el Track obtenido del GPS en el campo (línea color rojo); que a partir de estos se han obtenido los puntos con mayor altura, tal como se muestra en la figura 4.

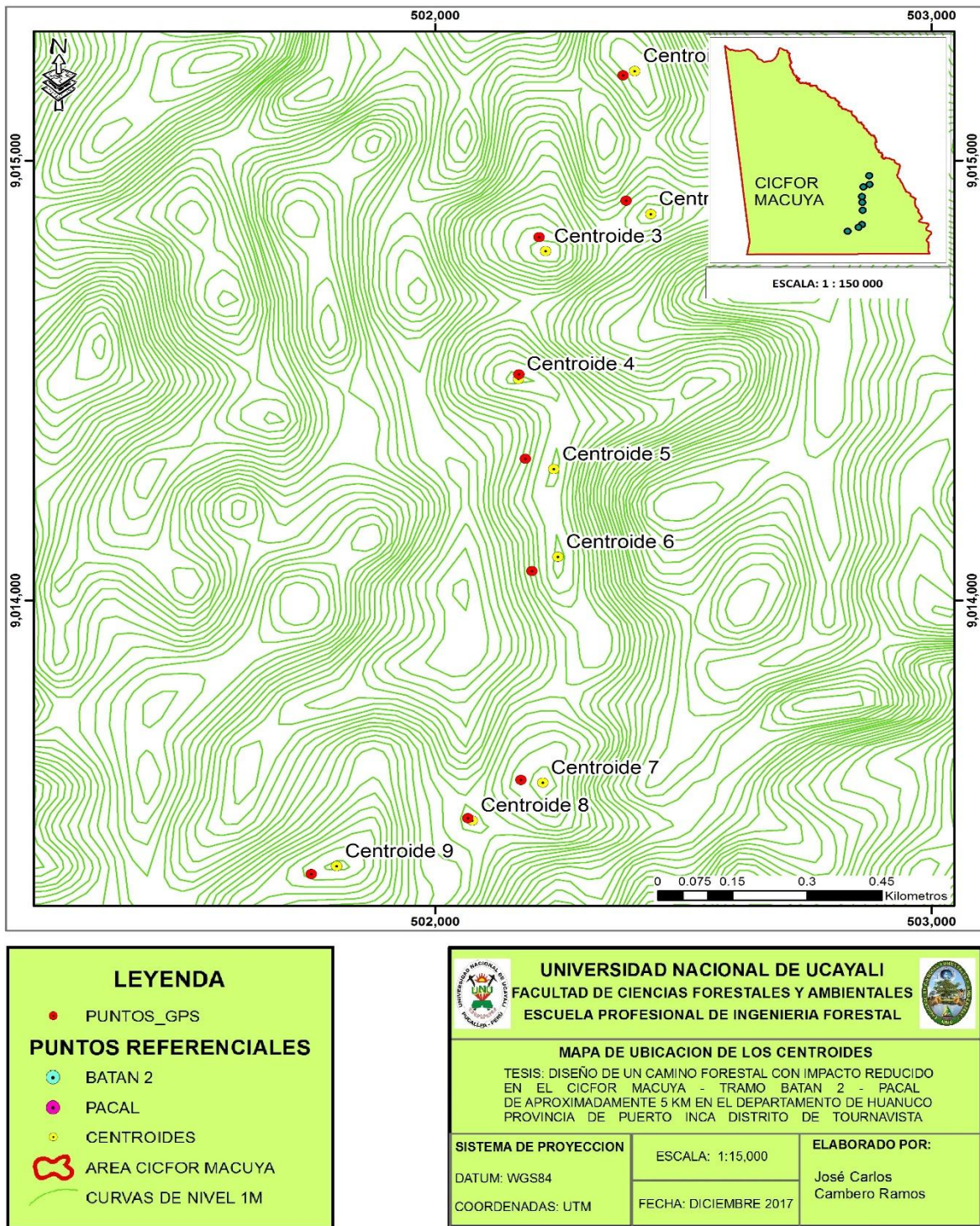


Figura 4. Mapa de ubicación de los centroides del camino forestal.

En la figura 4 se muestra la ubicación de los puntos de mayor altura obtenidos del GPS (círculo rojo) y de los centroides (círculo amarillo) obtenidos a partir del DEM del SRTM procesados por el software ArcGIS 10.1, siendo un total de 9 puntos en todo el tramo (4122.35 metros) del camino en mención.

4.3. Comparación de los parámetros X, Y, Z y pendiente del trazo digital, con los datos registrados en el campo, con estándares internacionales para datos geoespaciales.

Tabla 1. Coordenadas de los centroides obtenidas del DEM SRTM.

CENTROIDE	COORDENADAS SRTM		
	X	Y	Z
1	502402	9015203	238
2	502430	9014878	239
3	502213	9014801	246
4	502167	9014503	246
5	502222	9014313	244
6	502247	9014099	245
7	502216	9013585	246
8	502075	9013499	241
9	501762	9013387	251

La tabla 1 muestra las coordenadas de los centroides obtenidas del DEM del SRTM a partir de las curvas de nivel de mayor altura.

Tabla 2.

GPS de mayor	WAYPOINT	COORDENADAS GPS		
		X	Y	Z
	1	502379	9015194	225
	2	502385	9014909	226
	3	502210	9014826	229
	4	502169	9014514	226
	5	502182	9014322	226
	6	502195	9014067	230
	7	502173	9013592	227
	8	502066	9013505	222
	9	501751	9013378	236

Coordenadas obtenidas con los puntos con altura.

La tabla 2 muestra las coordenadas de los puntos más altos obtenidas en el campo por medio del GPS, y con dichos valores se calcularon los errores como se muestran.

4.3.1. Error Posicional (Coordenadas X, Y):

Tabla 3. Cuadrado medio del error (RSME) para coordenadas de Geoubicación.

Parámetros	Coordenadas	
	X (m)	Y (m)
Max	52	32
Min	2	6
RSME	31.49	18.44
RSME_r	36.49	
IC (95%)	7.51	

La tabla 3 muestra que el cuadrado medio del error radial (RSME_r) de las coordenadas es de 36.49 metros con 7.51 de intervalo de confianza al 95%, cuyo valor (RSME_r) es mayor a lo encontrado por Hidalgo, V. (2012) quien obtuvo como error radial de 34.86 metros y Estela, E. (2011) con un error radial de 28.33 metros, ambos realizados en el área del Centro de Investigación y Capacitación Forestal – Macuya, pero muy alejado al valor establecido por el SRTM (2009) quien afirma que la exactitud absoluta horizontal es de 20 metros (error circular), lo cual depende de la pendiente del terreno, el tipo de vegetación y de la corrección del desplazamiento planimétrico.

Los diferentes valores obtenidos del error de geoubicación se le atribuye al área boscosa, que según KelIndorfer (2004) la mayoría de las ondas del radar, recibidas sobre áreas densamente vegetadas se refleja de vuelta en el follaje, no siendo un reflejo exacto del suelo, sino más bien de la cobertura boscosa.

Un error también atribuible, es que en el estudio In situ, se buscó un trazo del camino con las mejores condiciones topográficas, variando así el trazo del diseño digital.

4.3.2. Error Atributo (Coordenada Z):

Tabla 4. Cuadrado medio del error (RSME) de la Altura.

Parámetros	SRTM-GPS (m)
Max	20
Min	13
RSME_z	16.74
IC 95%	1.73

En el atributo Z (altura) del camino forestal en estudio se obtuvo una RSME_z de 16.74 metros (Tabla 4), estando por encima del valor encontrado por Estela, E. (2011) quien obtuvo un error de altura de 8.14 metros en el Centro Investigación y Capacitación Forestal – Macuya, el SRTM (2009) menciona un error de 8 a 15 metros para el atributo Z (altura), dependiendo de la pendiente y el tipo de vegetación.

Las diferencias entre estos errores se atribuyen al sesgo del follaje al igual que en el error Posicional, según KelIndorfer (2004) quien menciona que la mayoría de las ondas del radar recibidas sobre estas áreas se refleja de vuelta en el follaje, bastante por encima de la superficie de la tierra desnuda; por lo cual se podría atribuir que el error correspondería a la densidad boscosa del área de estudio.

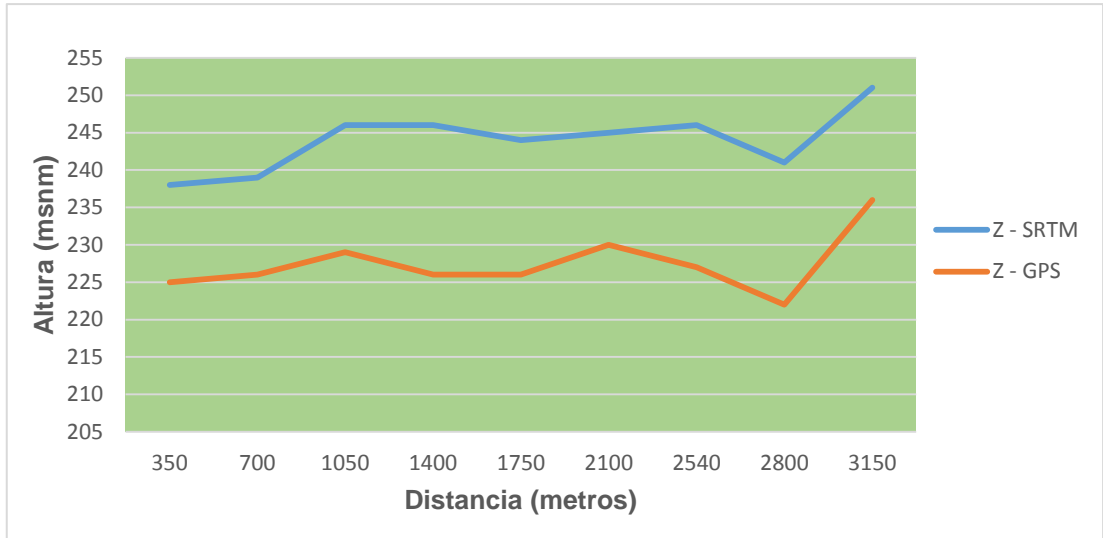


Figura 5. Perfil de los puntos con mayor altura en el diseño del camino forestal obtenidos por el SRTM y GPS tramo Batan 2 – Pacal.

La figura 5 muestra el perfil de los puntos con mayor altura del diseño del camino forestal, a través del comportamiento de la altura con respecto a la distancia, existiendo una marcada tendencia creciente en los datos registrados por el SRTM a diferencia del obtenido mediante el GPS que mantiene un perfil más constante entre los 222 a 236 msnm.

4.3.3. Pendiente.

Tabla 5. Comparación de pendiente expresado en porcentaje.

Parámetros	PENDIENTE %	
	SRTM	GPS
MAX	13.70	23.53
MIN	0.00	0.00
PROM	3.85	6.47
DESV	2.83	5.96

En la tabla 5 se muestra el valor promedio de la pendiente que es 3.85% con el SRTM y 6.47% con el GPS, siendo menor a lo encontrado por Estela

E. (2011) cuyo valor con respecto al SRTM es de 3.17%, pero mayor con respecto al GPS con 11.92%



Figura 6. Perfil del camino forestal obtenidos del SRTM y GPS con respecto a la distancia.

Según la figura 6, la comparación de pendientes entre los dos métodos usados (Tabla 5) nos indica que en nuestro trazo con el SRTM encontramos un promedio de 3.85%, en tanto las lecturas hechas con el GPS nos indica que evidentemente hay pendientes levemente pronunciadas con un promedio de 6.47%, los cuales son menores al rango 10%-20% establecido por Dykstra & Heinrich (1996) quienes recomiendan en la construcción de caminos con impacto reducido; por lo tanto, se puede considerar como un porcentaje de pendiente bajo, indicado para el trazo de caminos forestales con impacto reducido.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- 5.1. Se diseñó un camino forestal con impacto reducido denominado Batan 2 – Pacal, que sigue la divisoria de cuenca de la quebrada San Pedro, en base a los mapas derivados del SRTM.
- 5.2. Se replanteo el trazo digital del camino forestal en el campo con ayuda de un GPS Garmin 60 CSX, abriendo una trocha de 2 metros por la línea divisoria de cuencas de la quebrada San Pedro.
- 5.3. Se determinó el cuadrado medio del error radial (RSME) de las coordenadas del camino forestal en estudio, obteniendo un error posicional de 36.49 metros con un intervalo de confianza de 7.51, y del atributo Z (altura) 16.74 metros con un intervalo de confianza de 1.73, ambos a 95% de nivel de confianza.
- 5.4. Se determinó el promedio de pendiente obtenidos con el SRTM y GPS, siendo de 3.85 % y 6.47% respectivamente, estando en el porcentaje indicado para el trazo de caminos forestales con impacto reducido.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar el MED del SRTM para futuras investigaciones en ámbitos geográficos distintos, para conocer el comportamiento de esta herramienta bajo otras condiciones, como por ejemplo bajo una densa cobertura vegetal, áreas deforestadas, etc.
2. Se recomienda utilizar el equipo Trimble 7x para obtener mayor precisión en la toma de datos, ya que es un equipo muy sofisticado que cumple muchas funciones en uno.
3. Se debe tener en cuenta los criterios topográficos y el nivel de detalle para realizar los mapas derivados del SRTM, tales como las curvas de nivel y drenajes naturales, de acuerdo con la geografía de la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, 2006. El Modelo Digital de Elevacion. Obtenido de Sistema de Informacion Geografica:
http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node49_mn.html
- BEMBIBRE, C. 2012. Coordenda. Obtenido de Definicion ABC:
<https://www.definicionabc.com/ciencia/coordenada.php>
- BRAVO, M., & NINO, F. 2013. Sistema de Referencia y de Coordenadas ArcGis 10 ó ArcGis 10.1. Obtenido de Curso de SIG y Teledetección :
http://www.academia.edu/8414100/Curso_de_SIG_y_Teledetección_2013_Guía_
- BURGOS, V. 2012. Evaluación de ASTER GDEM y SRTM C/X para Modelación Hidráulica de la Rotura de Presa EL CARRIZAL. Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino. Mendoza (INA GRA). Consultado el 3 de Octubre del 2013. Disponible en: http://lina.gob.ar/pdf/ifrrhh/03_003_Burgos.pdf
- CÁRDENAS G., JAMES, 2000. Diseño Geométrico de Vías. 2 Edición. Santa Fe de Bogota, D.C.: Universidad del Valle – Ecoe ediciones.319 p. ISBN: 958-648-052-6
- CARMONA, A., & MONSALVE, J. 2008. Sistema de Informacion Geografica. Obtenido de Monografias:
<http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml>
- CASCANTE, R. 2010. Evaluación de tres Modelos de Elevación Digital (MEO) en el área de la Línea de Transmisión de Arenal-Barranca. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Costa Rica. 38 p. Consultado el 3 de Octubre del 2013. Disponible en: <http://bibliodigital.itcr.ac.cr:8080/xmlui/handle/2238n48>
- CAZORLA. 2012. Como Funciona un GPS. Obtenido de XATAKA CIENCIA:
<https://www.xatakaciencia.com/sabias-que/como-funciona-el-gps-i>

- DYKSTRA, D., & HEINRICH, R. 1996. La Ingeniería de las Carreteras Forestales. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/v6530s/v6530s06.htm>
- ESTELA, E. 2011. "Trazo de un camino forestal con datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) en el bosque Macuya". Tesis para optar título de Ingeniero Forestal. Pucallpa. 55 p.
- GISGEOGRAPHY. 2018. Space Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Obtenido de <https://translate.google.com.pe/translate?hl=es&sl=en&u=https://gisgeography.com/srtm-shuttle-radar-topography-mission/&prev=search>
- 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 título de Ingeniero Forestal. Pucallpa. 66 p.
- HIDALGO. V. 2000. Comparación de dos 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.
- JARVIS, A., RUBIANO, J., NELSON, A., FARROW, A., & MULLIGAN, M. 2004. Practical use of SRTM data in the tropics - Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. CIAT, Cali, Colombia. Working Document no. 198, 32 pp online: <http://srtm.csi.cgiar.org/PDF/Jarvis4.pdf>
- KELLNDORFER, J., WALKER, W., PIERCE, L., DOBSON, C., FITES, J. A., HUNSAKER, C., VONA, J., AND CLUTER, M. 2004, Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets: Remote Sensing of Environment, v. 93, p. 339 - 358
- MALDONADO, Y. 2017. Modelo digital de elevación. Obtenido de Sistema de Informacion Geografica : <https://profesionalsig.com/fuentes-datos-dem-globales-gratuitos>.

- MATELLANES, R. 2016. Modelos Digitales de Elevacion. Obtenido de Geoinnova:
<https://geoinnova.org/blog-territorio/modelos-digitales-de-elevacion-l>
- MATHEWS, C. 2011. Levantamiento de una Red con datos del Satélite ASTER en el CICFOR - Macuya. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNU. Pucallpa.
- NASA. 2016. Misión Shuttle Radar Topography. Obtenido de ESTADÍSTICAS DE LA MISIÓN SRTM:
<https://translate.google.com.pe/translate?hl=es&sl=en&u=https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/statistics.html&prev=search>
- OPEN TOPOGRAPHY. 2014. Misión Shuttle Radar Topography. Obtenido de <https://translate.google.com.pe/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.opentopo.org/news/srtm-version-30-global-90m-and-united-states-30m-elevation-data-now-available&prev=search>
- RAMIREZ, E. 2016. Shuttle Radar Topography Misión. Obtenido de NASA:
https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com.pe&sl=en&sp=nmt4&u=https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/missionoverview.html&xid=17259,15700022,15700124,15700149,15700168,15700173,15700186,15700201&usg=AL
- REATEGUI G., N. (2015). Ubicacion De atractivos Culturales y Naturales para el diseño de un circuito ecoturistico utilizando sistemas de informacion geografica en el Centro de Investigacion y Capacitacion Forestal - Macuya. Pucallpa - Peru
- SORIANO, C. P. 2016. Modelo Digital de Terreno. Obtenido de Tecnologia de Informacion Geografica: <http://www.sigdeletras.com/2016/que-es-un-modelo-digital-de-terreno>.

ANEXO

Tabla 6. Datos recolectados según el SRTM.

ID	X	Y	Z	DISTANCIA	PENDIENTE
1	502378	9015428	232	37	2.7
2	502384	9015391	231	103	3.88
3	502365	9015289	235	48	2.08
4	502368	9015241	236	50	4
5	502402	9015203	238	86	1.16
6	502439	9015125	237	42	2.38
7	502427	9015084	236	31	3.23
8	502427	9015053	235	83	3.61
9	502427	9014970	238	48	2.08
10	502433	9014922	239	44	0
11	502430	9014878	239	46	0
12	502396	9014846	239	68	2.94
13	502337	9014812	241	58	3.45
14	502280	9014798	243	67	4.48
15	502213	9014801	246	78	7.69
16	502207	9014723	240	69	1.45
17	502179	9014659	239	74	4.05
18	502146	9014592	242	70	1.43
19	502143	9014522	243	30	10
20	502167	9014503	246	89	5.62
21	502243	9014455	241	85	1.18
22	502256	9014371	240	67	5.97
23	502222	9014313	244	121	0.83
24	502235	9014192	243	93	2.15
25	502247	9014099	245	95	4.21
26	502267	9014005	241	126	2.38
27	502312	9013887	238	133	0.75
28	502274	9013759	239	109	0.92
29	502235	9013657	240	73	8.22
30	502216	9013585	246	106	6.6
31	502134	9013519	239	62	3.23
32	502075	9013499	241	88	3.41
33	502013	9013437	238	142	3.52
34	501872	9013417	243	73	13.7
35	501802	9013395	253	40	5
36	501762	9013387	251	76	9.21
37	501693	9013354	244	119	5.04
38	501626	9013255	238	106	4.71
39	501630	9013149	233	208	2.4
40	501721	9012961	228	174	2.87

41	501831	9012825	223	148	5.41
42	501887	9012687	215		

Tabla 7. Datos recolectados con el GPS.

ID	X	Y	Z	DISTANCIA	PENDIENTE
1	502351	9015440	218	47	2.13
2	502338	9015394	219	37	5.41
3	502317	9015364	221	50	6
4	502312	9015314	224	33	0
5	502327	9015284	224	31	6.45
6	502332	9015253	222	32	6.25
7	502344	9015223	224	45	2.22
8	502379	9015194	225	40	2.5
9	502384	9015154	226	39	0
10	502382	9015115	226	39	5.13
11	502384	9015076	224	36	11.11
12	502377	9015040	220	26	3.85
13	502372	9015014	221	32	9.38
14	502375	9014982	218	54	14.81
15	502389	9014929	226	20	0
16	502385	9014909	226	13	15.38
17	502376	9014899	224	30	20
18	502349	9014885	218	28	3.57
19	502330	9014864	219	22	4.55
20	502309	9014856	220	20	15
21	502296	9014840	223	24	4.17
22	502276	9014827	224	43	2.33
23	502232	9014827	225	22	18.18
24	502210	9014826	229	15	0
25	502195	9014826	229	13	0
26	502184	9014818	229	24	8.33
27	502175	9014795	227	49	20.41
28	502166	9014746	217	35	5.71
29	502157	9014712	215	36	5.56
30	502139	9014680	217	38	10.53
31	502119	9014647	221	27	11.11
32	502109	9014622	224	32	9.38
33	502092	9014594	227	33	9.09
34	502100	9014562	230	28	10.71
35	502122	9014544	227	24	4.17
36	502143	9014532	226	31	0
37	502169	9014514	226	44	2.27
38	502207	9014490	225	29	3.45

39	502230	9014472	226	31	3.23
40	502228	9014441	225	17	5.88
41	502220	9014426	224	41	7.32
42	502200	9014390	221	45	6.67
43	502185	9014347	224	25	8
44	502182	9014322	226	25	8
45	502191	9014288	224	24	0
46	502184	9014265	224	25	4
47	502184	9014240	225	32	3.13
48	502215	9014230	226	34	0
49	502223	9014196	226	20	0
50	502203	9014192	226	27	0
51	502181	9014175	226	30	3.33
52	502182	9014145	227	22	0
53	502180	9014123	227	26	3.85
54	502179	9014097	228	34	5.88
55	502195	9014067	230	29	6.9
56	502206	9014040	228	29	3.45
57	502229	9014022	227	31	3.23
58	502251	9014000	228	24	12.5
59	502270	9013985	231	26	19.23
60	502282	9013961	226	26	19.23
61	502276	9013935	221	28	3.57
62	502269	9013907	220	25	4
63	502257	9013884	219	25	4
64	502240	9013865	218	40	5
65	502213	9013835	220	31	6.45
66	502189	9013814	222	25	4
67	502167	9013802	223	45	0
68	502163	9013757	223	31	0
69	502176	9013728	223	76	2.63
70	502199	9013714	221	21	0
71	502218	9013703	221	14	7.14
72	502214	9013689	222	25	0
73	502193	9013674	222	32	3.13
74	502194	9013642	223	26	0
75	502186	9013617	223	28	14.29
76	502173	9013592	227	23	8.7
77	502158	9013574	225	29	10.34
78	502130	9013582	222	14	7.14
79	502122	9013570	223	21	0
80	502124	9013549	223	37	0
81	502091	9013531	223	20	10
82	502074	9013519	221	16	6.25

83	502066	9013505	222	22	18.18
84	502056	9013485	218	26	3.85
85	502043	9013462	217	32	12.5
86	502032	9013431	221	33	6.06
87	502019	9013400	223	32	15.63
88	501988	9013392	218	78	1.28
89	501920	9013353	219	36	8.33
90	501898	9013324	222	25	20
91	501875	9013312	227	45	2.22
92	501832	9013327	228	37	2.7
93	501799	9013345	227	21	14.29
94	501784	9013361	230	17	23.53
95	501771	9013372	234	20	10
96	501751	9013378	236	22	0
97	501736	9013395	236	24	8.33
98	501718	9013411	238	44	2.27
99	501674	9013413	237	39	2.56
100	501639	9013394	238	21	0
101	501618	9013388	238	34	2.94
102	501584	9013385	237	43	4.65
103	501563	9013347	235	32	15.63
104	501567	9013315	230	31	22.58
105	501570	9013284	223	42	4.76
106	501576	9013242	221	39	2.56
107	501580	9013203	222	48	0
108	501606	9013162	222	49	4.08
109	501653	9013145	220	45	4.44
110	501662	9013100	218	35	0
111	501648	9013067	218	38	5.26
112	501653	9013029	216	44	6.82
113	501697	9013034	213	44	4.55
114	501713	9012992	215	36	0
115	501688	9012966	215	48	0
116	501698	9012919	215	38	7.89
117	501723	9012890	212	47	2.13
118	501770	9012891	213	44	4.55
119	501814	9012890	215	42	9.52
120	501814	9012848	211	43	4.65
121	501841	9012814	213	37	18.92
122	501863	9012784	206	36	16.67
123	501892	9012762	212	50	8
124	501869	9012717	208	24	20.83
125	501875	9012693	203		

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 7. Toma de puntos con GPS en el CICFOR – Macuya para el trazo del camino forestal.



Figura 8. Recorrido y toma de puntos para el trazo del camino forestal en el CICFOR – Macuya.



Figura 9. Con Elías uno de los Materos conocedor del bosque Macuya, durante el trabajo de campo.



Figura 10. En el bosque Macuya realizando el trabajo de campo con el asesor de la tesis.



Figura 11. Punto de referencia de inicio del camino Batan 2.



Figura 12. Batan 2.



Figura 13. En la divisoria de la quebrada San Pedro.

COORDENADAS UTM.

ID.	X	Y	Z	DISTANCIA
1	000000	000000	000000	86
2	000000	000000	000000	48
3	000000	000000	000000	50
4	000000	000000	000000	30
5	000000	000000	000000	85
6	000000	000000	000000	16
7	000000	000000	000000	5
8	000000	000000	000000	
9	000000	000000	000000	
10	000000	000000	000000	
11	000000	000000	000000	
12	000000	000000	000000	
13	000000	000000	000000	
14	000000	000000	000000	
15	000000	000000	000000	
16	000000	000000	000000	
17	000000	000000	000000	
18	000000	000000	000000	
19	000000	000000	000000	
20	000000	000000	000000	
21	000000	000000	000000	
22	000000	000000	000000	
23	000000	000000	000000	
24	000000	000000	000000	
25	000000	000000	000000	
26	000000	000000	000000	
27	000000	000000	000000	
28	000000	000000	000000	
29	000000	000000	000000	
30	000000	000000	000000	
31	000000	000000	000000	
32	000000	000000	000000	
33	000000	000000	000000	
34	000000	000000	000000	
35	000000	000000	000000	
36	000000	000000	000000	
37	000000	000000	000000	
38	000000	000000	000000	
39	000000	000000	000000	
40	000000	000000	000000	
41	000000	000000	000000	
42	000000	000000	000000	
43	000000	000000	000000	
44	000000	000000	000000	
45	000000	000000	000000	
46	000000	000000	000000	
47	000000	000000	000000	
48	000000	000000	000000	
49	000000	000000	000000	
50	000000	000000	000000	

Figura 14. Libreta de campo



Figura 16. Toma de puntos con GPS.