

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



**ARTICULO CIENTIFICO**

**“COMPARACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED)  
GENERADOS A PARTIR DE DATOS GPS Y SRTM, CON DATOS DE NIVEL  
DE INGENIERO EN UNA PARCELA REFORESTADA EN EL CICFOR –  
MACUYA”**

AUTOR : Bach. Gino Mc Ochoa Gómez <sup>(1)</sup>

ASESOR : Ing. M. Sc. Fernando Velásquez de la Cruz <sup>(2)</sup>

(1) Bachiller Facultad de Ciencias forestales y Ambientales  
Universidad nacional de Ucayali. [gino\\_694@hotmail.com](mailto:gino_694@hotmail.com)

(2) Docente principal Facultad de Ciencias forestales y Ambientales  
Universidad nacional de Ucayali. [fervel16@hotmail.com](mailto:fervel16@hotmail.com)

**PUCALLPA - UCAYALI**

**2017**

**“COMPARACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED)  
GENERADOS A PARTIR DE DATOS GPS Y SRTM, CON DATOS DE NIVEL  
DE INGENIERO EN UNA PARCELA REFORESTADA EN EL CICFOR –  
MACUYA”**

**"COMPARISON OF DIGITAL ELEVATION MODELS (MED) GENERATED  
FROM GPS AND SRTM DATA, WITH ENGINEER LEVEL DATA IN A  
REFORESTED PLOT IN CICFOR - MACUYA"**

Gino Mc Ochoa Gómez <sup>1</sup>, Fernando Velásquez de la Cruz <sup>2</sup>

**RESUMEN**

En el presente trabajo se efectúa un análisis comparativo de tres modelos de elevación digital (MED) generados a partir de datos GPS, SRTM y nivelación de una parcela de reforestación en el CICFOR – Macuya, con el fin de que sirva como parámetros cuando se utilicen estos MEDs para distintos tipos de proyectos. Cada modelo de elevación digital fue creado a partir de distintos datos, cada uno de ellos con diferente metodología, el primero obtenido a partir de puntos registrados recorriendo las fajas de reforestación con un GPS Garmin Map 60CSx, el segundo con los datos del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) bajados de internet y el último mediante una nivelación con un nivel de ingeniero, el cual fue tomado como testigo. Los resultados indican que no se logró comparar visualmente los Modelos de Elevación Digital en formato vectorial (Curvas de Nivel), por ello se optó por el formato raster. El Modelo de elevación digital creado con los datos del SRTM es el que menos diferencia en

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

altura tiene en relación con el creado con los datos del Nivel de ingeniero que es de 32.10 m, no obstante, el creado con los datos del GPS es el que más similitud tiene respecto a su forma de relieve con una desviación típica de 3,9 m.

Palabras clave: MED, SRTM, GPS, curva de nivel, raster.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

## ABSTRACT

In the present work, a comparative analysis of three digital elevation models (MED) generated from GPS data, SRTM and leveling of a reforestation plot in the CICFOR - Macuya, in order to serve as parameters when used These MEDs for different types of projects. Each digital elevation model was created from different data, each of them with different methodology, the first one obtained from registered points crossing the reforestation strips with a GPS Garmin Map 60CSx, the second with the data of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) downloaded from the internet and the last by leveling with an engineer level, which was taken as a witness. The results indicate that it was not possible to visually compare the Digital Elevation Models in vector format (Level Curves), so we chose the raster format. The Model of digital elevation created with the data of the SRTM is the one that less difference in height is in relation with the one created with the data of the Engineer Level that is of 32.10 m, nevertheless the created one with the data of the GPS is the one that more Similarity has to its form of relief with a standard deviation of 3.9 m.

Keywords: MED, SRTM, GPS, level curve, raster.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

## INTRODUCCION

Los modelos digitales permiten estudiar la realidad como un conjunto de superficies definidas por variables cuantitativas (altitud, humedad del suelo, precipitación, densidad de vegetación) que adquieren diferentes valores en diferentes puntos del espacio, siendo estos valores más parecidos cuanto más cerca se encuentren los puntos, a esta propiedad se denomina autocorrelación espacial.

Las superficies son objetos tridimensionales con dos dimensiones que representan los ejes espaciales y una tercera que representa una tercera variable cuantitativa, representada en cada punto del espacio. Los gráficos y los análisis 3D son de especial utilidad para aplicaciones prácticas como en Geología, Oceanografía, Meteorología, Ecología, Hidrología, Agricultura, Climatología, Edafología, Geomorfología, y muchos otros.

Mientras que el resto de los objetos son más o menos perceptibles sobre el terreno o utilizando la cartografía apropiada, las superficies suelen ser mucho más difíciles de determinar, ya que en cada punto del territorio los valores son diferentes, al no disponer de un valor para cada punto, es necesario realizar una estimación. Es necesario recurrir a técnicas de interpolación.

El ejemplo más típico de superficie es la elevación sobre el nivel del mar, representada mediante los Modelos de Elevaciones Digitales (MED). Se trata de una superficie que representa la topografía del terreno, es decir, las alturas en cada punto de un territorio.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

El presente estudio es una iniciativa para fomentar el uso de datos geoespaciales, además que sirva como parámetro cuando se utilicen los modelos digitales de terrenos, para distintos tipos de proyectos y ayudar en la toma de decisiones, en el momento de la planificación.

## **MATERIALES Y METODOS**

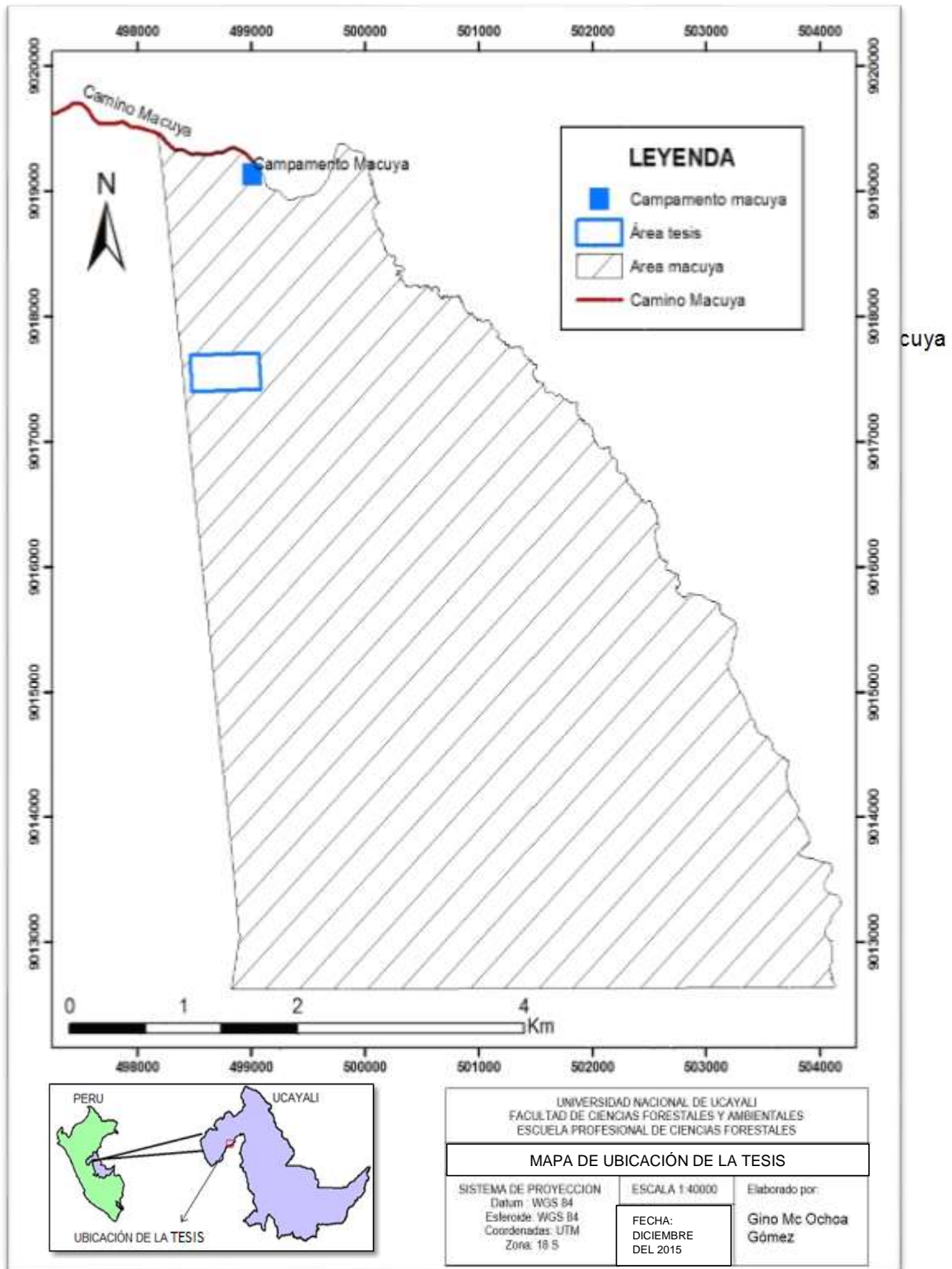
### **ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio se realizó en el 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 205 m. sobre el nivel del mar, en el distrito de Tournavista, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco.

El CICFOR - Macuya abarca una superficie de 2 469.70 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 mm.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la



**Figura 1.** Mapa del área de la tesis

- 1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali
- 2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

## **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El método para la realización de este proyecto fue comparativo, que consistió en tomar en cuenta los parámetros de elevación de cada MED, tomando como testigo al generado con datos del nivel de ingeniero, que fue comparado con los otros MEDs, uno generado con GPS y el otro con SRTM.

## **POBLACION Y MUESTRA**

La población en estudio, para la elaboración de los MEDs que representan al terreno, son todos los puntos de coordenadas X, Y, Z correspondientes al área respectiva de la reforestación en el CICFOR – Macuya.

La muestra del presente estudio son los puntos tomados para la elaboración de los MEDs con los distintos medios (GPS, SRTM, nivel de ingeniero) en el área de reforestación del CICFOR – Macuya, que comprenden puntos X, Y, Z tomados de la población total de puntos.

## **INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

### **FASE DE CAMPO:**

- GPS
- Libreta de campo
- Brújula
- Nivel de ingeniero SOUTH NL-32

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la



- Mira topográfica.

#### **FASE DE GABINETE:**

- Formato de evaluación
- GPS
- Libreta de apuntes
- Laptop.
- Programa ArcGIS 10.1
- Programa Global Mapper 13.0.

### **PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS**

#### **UBICACIÓN DEL ÁREA ESTUDIO**

El área de trabajo de 650 m x 300 m, es una reforestación de Ishpingo, Cedro y Quillobordon, en una zona de relieves pronunciados, entre las coordenadas geográficas 8° 53' 10,15" y 8° 53' 21,6" de Latitud Sur, 75° 00' 29,12" y 75° 00' 51,36" de longitud oeste.

#### **OBTENCIÓN DE LA BASE DE DATOS (PUNTOS)**

Se procedió a limpiar las fajas con la ayuda de los trabajadores dentro del área de estudio (reforestación) para facilitar la obtención de datos con el GPS y el nivel de ingeniero.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

Universidad Nacional de Ucayali.

Con un equipo GPS diferencial TRIMBLE 6 XH series con post procesamiento se ha establecido un punto de nivelación en el campamento central, de coordenadas 499 058.672 m E (X), 9 019 149.774 m N (Y) y 206.118 metros de altura (Z). A partir de este punto se realizó una nivelación, por el camino de acceso a la parcela de reforestación y de allí a cada faja.

La ubicación de las coordenadas X Y se registraron con un GPS Garmin Map 60 CSx, en cada punto donde se ubicó la mira topográfica. Con el fin de reducir la variación en las lecturas de los equipos GPS durante la nivelación, se colocó clavos de calamina en cada punto, para registrar los datos X, Y, Z en un solo día al final de la nivelación.

Los puntos fueron obtenidos según las características del relieve del terreno, para esto se tomó como referencia los cambios en el grado de pendiente, tomando un punto en cada cambio, en los casos en donde el terreno fue llano los puntos se tomaron a distancias medias de la longitud del llano; en zonas de drenaje se tomaron los puntos en las orillas, y si estos están secos, del medio. Las 16 fajas de reforestación tienen una longitud de 650 m con una separación de 20 m uno del otro, en una dirección este-oeste (Navarro, 2008a y 2008b; Santamaría, 2005).

## **TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

Los datos que se obtuvo del nivel de ingeniero en la libreta topográfica fueron procesados hasta obtener las coordenadas X, Y, Z de los puntos, los cuales

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

fueron cargados a la computadora para su posterior análisis con el software ArcGIS 10.1.

Los puntos del GPS se bajaron a la computadora con el software DNR Garmin, que son los datos de las fajas que se grabaron en el campo con el GPS Garmin 60 CSx; luego se cargó estos datos al software ArcGIS 10.1.

Se descargó las curvas de nivel (SRTM) de la zona trabajada con el software Global Mapper 13.0, luego se cargó para su procesamiento en el software ArcGIS 10.1 (Hengl y Reuter, 2008; Jarvis et al, 2004).

Para conocer aquellas discrepancias que no son fáciles de ver por el ojo humano, se propuso un método, consistente en generar un mapa de diferencias, para ello se crearon mapas raster, luego restar ambos raster, es decir GPS – Nivel de ingeniero y SRTM – Nivel de Ingeniero.

Este mapa de diferencias muestra a modo de ejemplo, zonas donde el MDE del GPS está por encima del MDE del nivel de ingeniero, y viceversa. Lo que se debe determinar es dónde se producen esas diferencias y cuáles son las causas que la generan. En el software ArcMap, las herramientas de geoprocésamiento del ArcToolbox que se emplearon según los fines específicos luego de haber cargado los puntos de GPS, SRTM y ET son:

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

- Crear TIN (Triangulated irregular network) a partir de los puntos.
  - ArcToolbox
    - ↳ - Herramientas de 3D Analyst
      - ↳ - Administración de TIN
        - ↳ - crear TIN
  
- Convertir el TIN a raster.
  - ArcToolbox
    - ↳ - Herramientas de 3D Analyst
      - ↳ - Conversión
        - ↳ - Desde TIN
          - ↳ - De TIN a raster
  
- Obtención de curvas de nivel.
  - ArcToolbox
    - ↳ - Herramientas de 3D Analyst
      - ↳ - Superficie de raster
        - ↳ - Curva de nivel

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

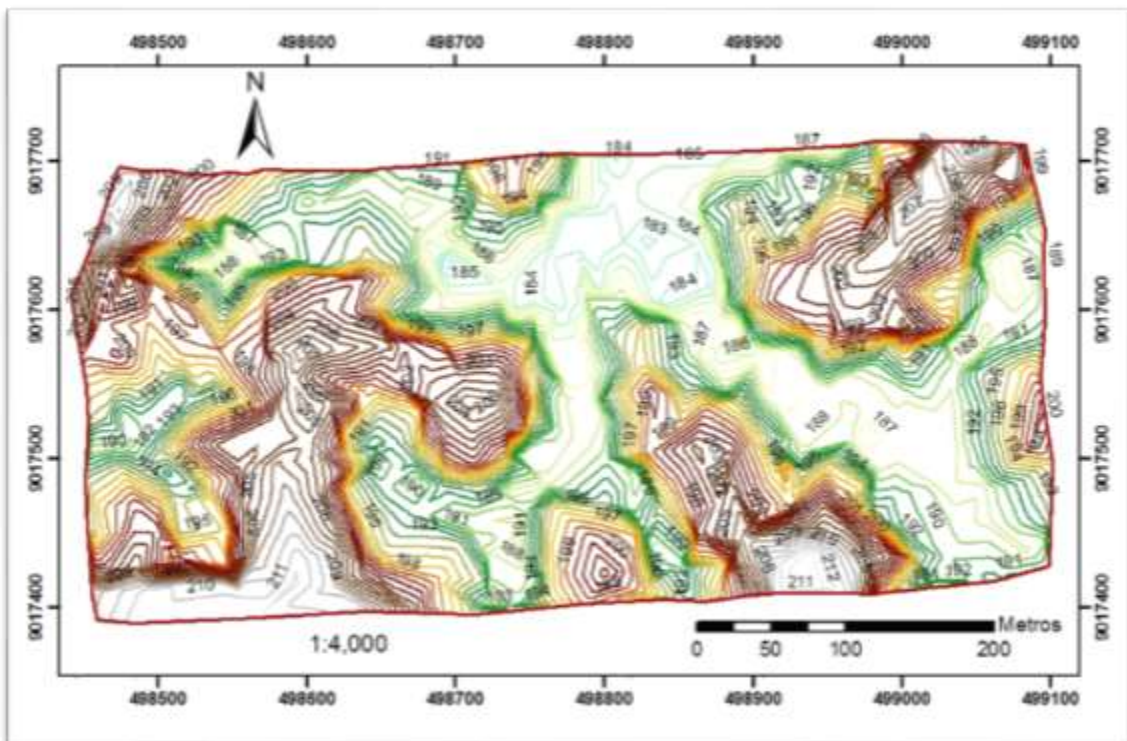
2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

- Resta de raster
  - ArcToolbox
    - ↳ - Herramientas de 3D Analyst
      - ↳ - Matemática raster
        - ↳ - Resta

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CURVAS DE NIVEL GENERADAS A PARTIR DE LOS PUNTOS

### OBTENIDOS CON EL NIVEL DE INGENIERO



**Figura 2.** Modelo de elevación digital en formato vectorial – curvas de nivel

En la figura 2 se aprecia las curvas de niveles cada metro de altura, generados gráficamente por el software ArcGIS 10.1 a partir de los puntos obtenidos con

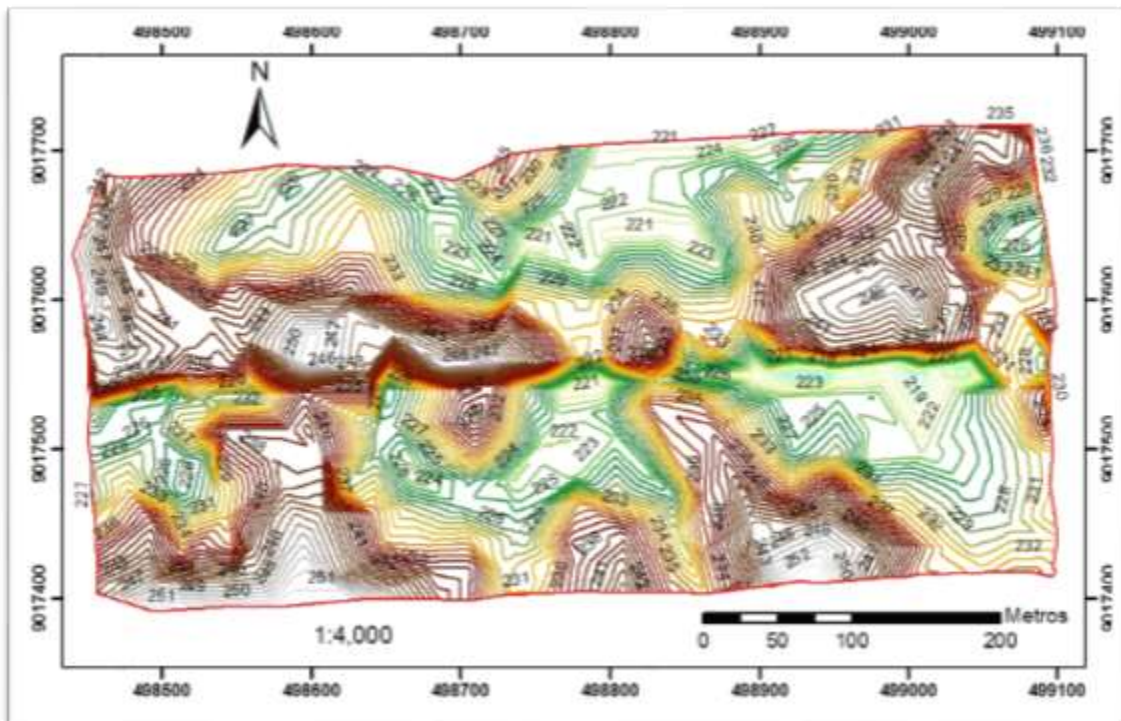
1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

Universidad Nacional de Ucayali.

el nivel de ingeniero en el área de la tesis; aquellas líneas en el mapa unen todos los puntos que tienen igualdad de altura; las líneas de colores en tonos verdes a claros pertenecen a zonas de baja altura, mientras que las líneas de colores en tonos marrones a grises a las zonas altas del terreno; en áreas donde las líneas están más juntas o aglomeradas, es porque tienen una pendiente muy pronunciada, por el contrario en las áreas donde las líneas están más distanciadas, es porque el terreno presenta una pendiente baja. El terreno presenta una altura Máxima de 213,79 m.s.n.m., Mínima de 182,62 m.s.n.m. y una altura media de 195.26 m.s.n.m. (Mathew, 2008; Pike, 2000)

### **CURVAS DE NIVEL GENERADAS A PARTIR DE LOS PUNTOS OBTENIDOS CON EL GPS**



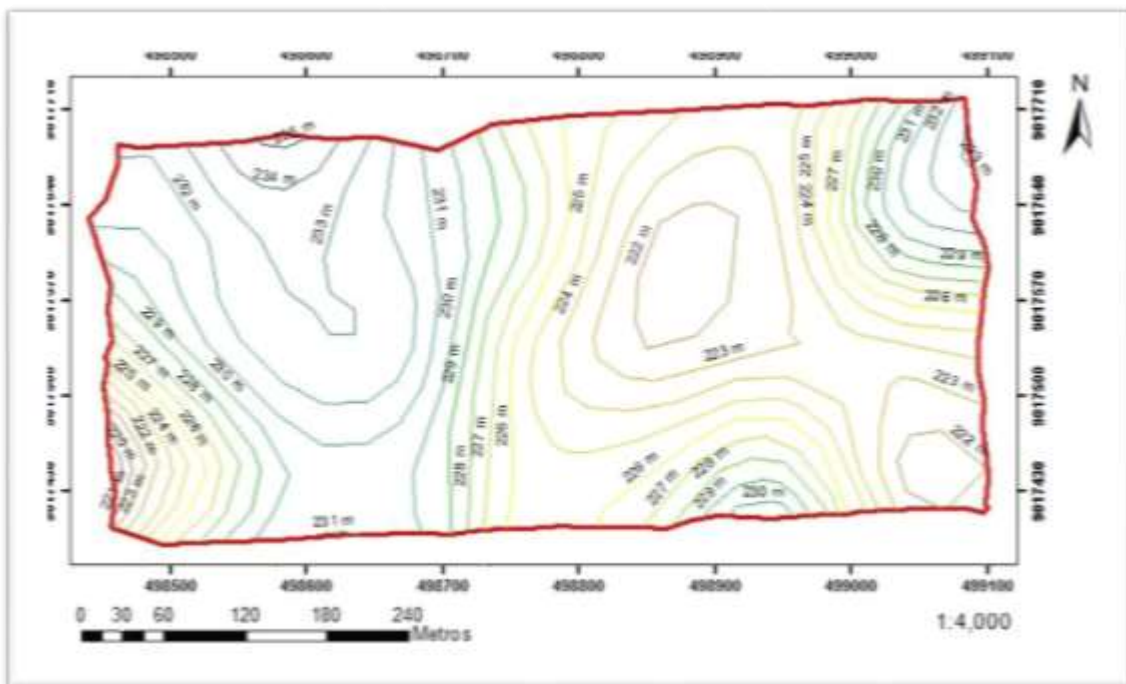
**Figura 3.** Modelo de elevación digital en formato vectorial – curvas de nivel

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

En la figura 3 se aprecia las curvas de nivel cada metro de altura, generados gráficamente por el software ArcGIS 10.1 a partir de los puntos obtenidos con el GPS en el área de la tesis; aquellas líneas en el mapa unen todos los puntos que tienen igualdad de altura; las líneas de colores en tonos verdosos a claros pertenecen a zonas de baja altura, mientras que las líneas de colores en tonos marrones a grises a las zonas altas del terreno; en áreas donde las líneas están más juntas o aglomeradas, es porque tienen una pendiente muy pronunciada, por el contrario en las áreas donde las líneas están más distanciadas, es porque el terreno presenta una pendiente baja. El terreno presenta una altura Máxima de 253,27 m.s.n.m., Mínima de 214.03 m.s.n.m. y una altura media de 232,95 m.s.n.m.

### **CURVAS DE NIVEL GENERADAS A PARTIR DE LOS PUNTOS OBTENIDOS CON EL SRTM**



**Figura 4.** Modelo de elevación digital en formato vectorial – curvas de nivel

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

Al igual que en las dos figuras anteriores, en esta también se aprecian las curvas de nivel cada metro de altura, generadas gráficamente por el software ArcGIS 10.1 a partir de los datos obtenidos del SRTM del área trabajada de la tesis, los cuales fueron descargados del internet por medio del Software Global Mapper 13.0. Las líneas de colores en tonos verdes a claras pertenecen a zonas de baja altura, mientras que las líneas de colores en tonos marrones a grises a las zonas altas del terreno; en áreas donde las líneas estas más juntas o aglomeradas es porque tienen una pendiente muy pronunciada, por el contrario, en las áreas donde las líneas están distanciadas es porque el terreno presenta una pendiente baja. El terreno presenta una altura Máxima de 235 m.s.n.m., Mínima de 219 m.s.n.m. y una altura media de 227,44 m.s.n.m.; a diferencia de las dos figuras anteriores, en esta se puede ver claramente un número menor de líneas, lo cual denota una representación más llana del terreno, mientras que las dos anteriores muestra un terreno con pendientes más pronunciadas.

### **COMPARACION DE CURVAS DE NIVEL (GPS – NIVEL DE INGENIERO)**

Se trató de hacer una comparación visual de las mismas buscando las zonas de semejanza y las zonas de discrepancia, pero las curvas de nivel de ambos MED no tienen punto de comparación aparente, ya que no se puede apreciar con claridad, porque del GPS y del Nivel de ingeniero están muy aglomeradas, sin embargo para poder hacer un análisis más cuantitativo que cualitativo y

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la



saber que tan diferentes eran ambos MDE se tuvo que hacer una comparación por imágenes raster para poder facilitar el estudio coincidiendo con Olaya, 2001.

### **COMPARACION DE CURVAS DE NIVEL (SRTM – NIVEL DE INGENIERO)**

Se trató de hacer una comparación visual de las mismas buscando las zonas de semejanza y las zonas de discrepancia, pero las curvas de nivel de ambos MED no tienen punto de comparación aparente, ya que se aprecian muy diferentes uno del otro, las curvas obtenidas con la nivelación están muy aglomeradas en comparación con las del SRTM que se muestran más distantes, además el sentido de las curvas es diferente uno del otro (Olaya, 2001)

### **MAPA DE DIFERENCIAS DE ALTURAS (GPS – NIVEL DE INGENIERO)**

Las magnitudes que arroja el mapa de diferencias de alturas van desde un máximo de 50,90 m, un mínimo de 25,67 m y una de 37,69 m con una desviación típica de  $\pm 3,9$ ; donde los valores positivos indican que las proyecciones de altura del GPS está por encima de las proyecciones del Nivel de Ingeniero; y los negativos muestran que las proyecciones del Nivel de Ingeniero está por encima de las proyecciones del GPS; para este caso todos los valores son positivos, lo que indica que todas las proyecciones del terreno del GPS están por encima de las proyecciones del Nivel de ingeniero.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

Como lo indica Olaya, 2001 el GPS ofrece una precisión de entre 2,5 y 5 metros, el cual es similar a la desviación típica obtenida por el mapa de diferencias que es de 3,9 metros, por lo tanto nos proporciona un intervalo de confianza de 10 m, es por esto que el mapa de diferencias se clasifica en 3 rangos, de los cuales uno de ellos están dentro de la tolerancia antes mencionada, usando la media como punto “cero”, estos son: de 25,67 m a 32,7 m, de mayor de 32,7 m a 42,7 m, siendo este el intervalo de tolerancia y de mayor de 42,7 m a 50,9 m.

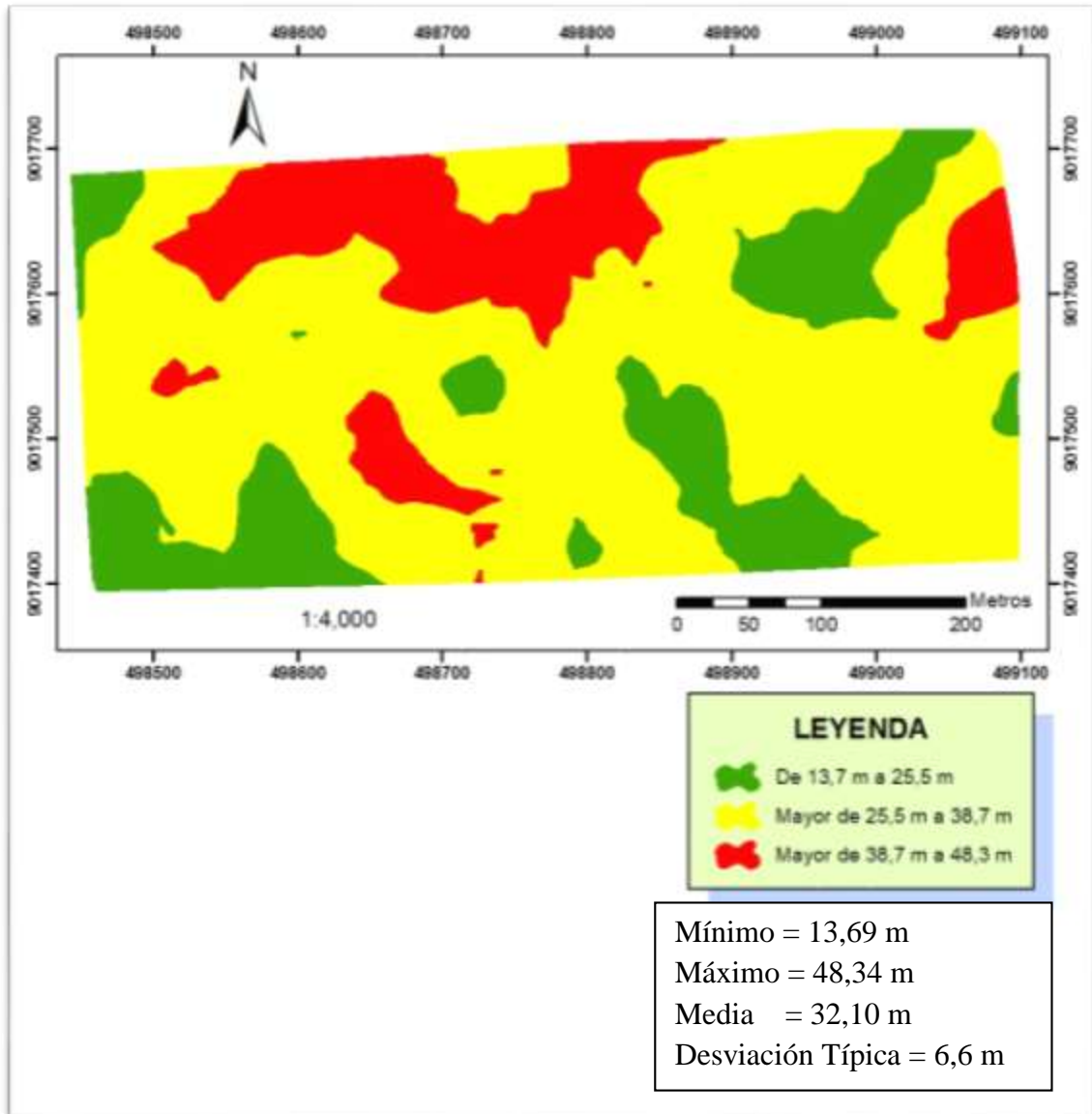
El que los resultados estén dentro de la tolerancia de mayor de 32,7 m a 42,7 m, indica que los datos son precisos, pero no exactos por lo tanto se podría considerar que los datos son concordantes.

Toda el área del mapa de diferencias que está dentro de la tolerancia (Amarillo), ocupa 78 % del total, lo cual indica un área mayoritaria de concordancia, mientras que en el trabajo de Austin y Beacon, 2004, obtuvieron una zona de concordancia de 60%, que es 18% menos que el de este trabajo, esta discrepancia se debe porque ellos compararon curvas de nivel de una carta nacional contra los del SRTM; y la precisión es mayor en los datos del GPS según Toloza, 2013.

Los valores que están fuera de la tolerancia, indica que existe diferencia altitudinal entre ellos en exactitud y precisión significativos estadísticamente, por lo tanto, se considera que los datos discrepan. Este rango va desde 25,67 m a 32,7 m y de mayor de 42,7 m a 50,9 m, en el mapa las zonas se muestran

de color verde 8% y rojo 14% respectivamente, haciendo un total de 22%, a diferencia del trabajo de Austin y Beacon, 2004 que obtuvieron una zona de discrepancia de 40 %, que es 18% mayor, las razones son las mismas antes mencionadas que para las zonas de igualdad de altura.

### MAPA DE DIFERENCIAS DE ALTURA (SRTM – NIVEL DE INGENIERO)



**Figura 5.** Mapa de diferencias de altura (SRTM – Nivel de ingeniero)

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

Universidad Nacional de Ucayali.

Las magnitudes que arroja el mapa de diferencias de altura van desde un máximo de 48,34 m, un mínimo de 13,69 m y un promedio de 32,10 m, con una desviación típica de  $\pm 6,6$  m; donde los valores positivos indican que las proyecciones de altura del SRTM está por encima de las proyecciones del Nivel de Ingeniero; y los negativos muestran que las proyecciones del Nivel de Ingeniero está por encima de las proyecciones del SRTM; para este caso todos los valores son positivos, lo que indica que todas las proyecciones del terreno del SRTM están por encima de las proyecciones del Nivel de ingeniero.

Como lo indica Van Zyl, 2001 el error vertical de los datos altimétricos del SRTM es de  $\pm 16$  m, mientras que la desviación típica de las diferencias es de  $\pm 6,6$  m, los cuales distan mucho, por lo tanto, para el intervalo de confianza se usó el menor, dando un intervalo de tolerancia de 13,2 m, el mismo que se utilizara para la construcción del mapa de diferencias; es por esto que el mapa de diferencias se clasifica en 3 rangos usando la media como “cero”, estos son: de 13,7 m a 25,5 m, de mayor de 25,5 m a 38,7 siendo este el intervalo de confianza y de mayor a 38,7 m a 48,3 m.

El que los resultados estén dentro de la tolerancia de mayor de 25,5 m a 38,7 m, indica que los datos son precisos, pero no exactos, por lo tanto, se podría considerar que los datos son concordantes.

Toda el área del mapa de diferencias que está dentro de la tolerancia (amarillo), ocupa 65% del total, lo cual indica un área mayoritaria de concordancia, mientras que en el trabajo de Austin y Beacon, 2004 obtuvieron

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

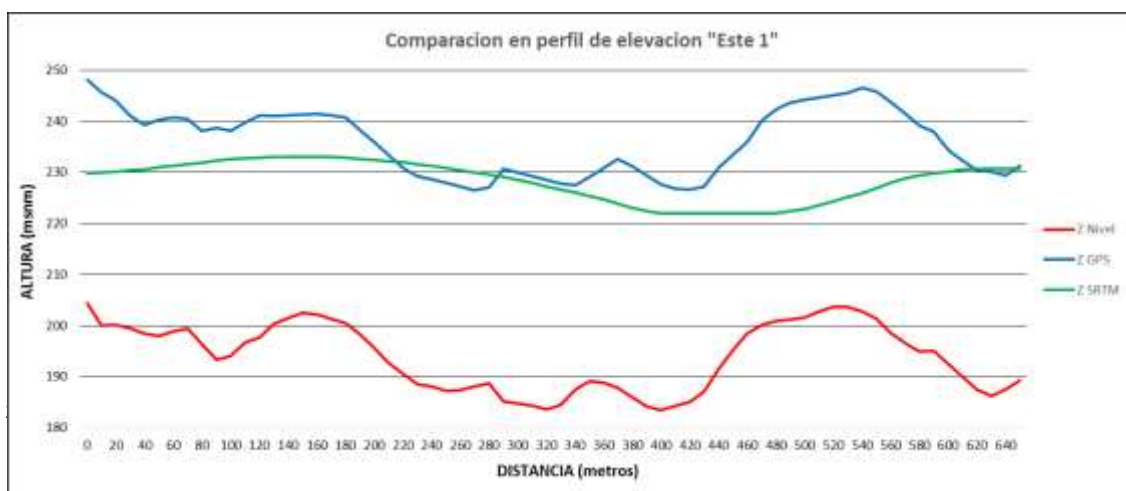
2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la

una zona de concordancia de 60%, que es 5% menos que el de este trabajo, esta leve discrepancia se debe porque ellos compararon curvas de nivel de una carta nacional contra los del SRTM; y la precisión es similar en los datos del SRTM utilizados en este trabajo según Van Zyl, 2001.

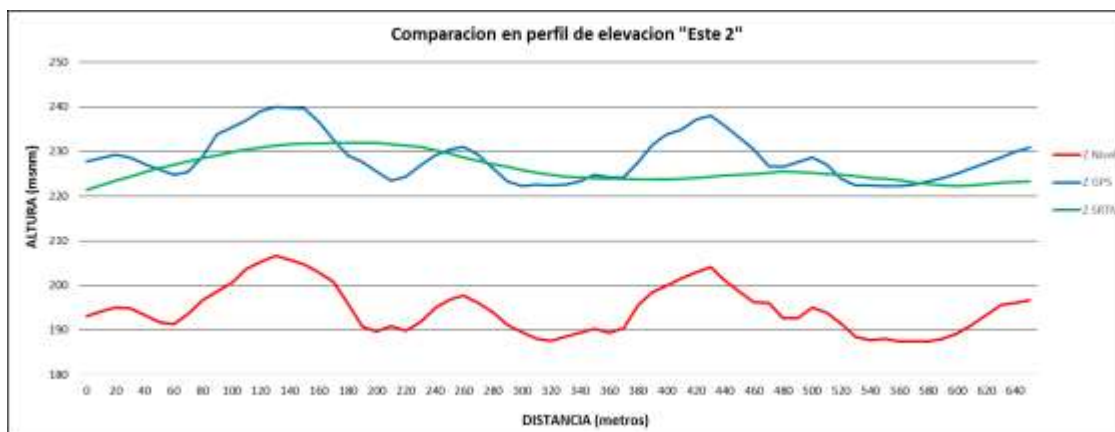
Los valores que están fuera de la tolerancia, indica que existe diferencia altitudinal entre ellos en exactitud y precisión significativos estadísticamente, por lo tanto, se considera que los datos discrepan. Este rango va desde 13,7 m a 25,5 m y de mayor de 38,7 m a 48,3 m, en el mapa las zonas se muestran de color verde 18% y rojo 17% respectivamente, haciendo un total de 35%, a diferencia del trabajo de Austin y Beacon, 2004 que obtuvieron una zona de discrepancia de 40 %, que es 5% mayor, las razones son las mismas antes mencionadas que para las zonas de igualdad de altura.

### COMPARACIÓN EN FAJAS DE PERFILES DE ELEVACIÓN

Para una mejor visualización de las discrepancias de los diferentes valores de altura que se generaron a partir de los datos del GPS, SRTM y Nivel de Ingeniero, se optó por generar cuatro fajas, de las cuales dos son en sentido Norte y dos en sentido Este (Evans, 1972).



**Figura 6.** Comparación en perfil de elevación de sentido Este N° 1



**Figura 7.** Comparación en perfil de elevación de sentido Este N° 2

En las figuras 6 y 7 de perfiles de elevación en las fajas de sentido Este N° 1 y 2, se muestran las alturas obtenidas por los tres métodos empleados en el levantamiento topográfico para la elaboración de los Modelos de Elevación Digital. Se aprecia que los perfiles de elevación del GPS y el Nivel de Ingeniero (Azul y Rojo respectivamente) tienen una gran similitud en relieve, con una diferencia muy pareja en cada punto de aproximadamente 37,69 m, mientras que el perfil de elevación del SRTM muestra un trazo bien diferenciado.

## CONCLUSIONES

- El Modelo de Elevación Digital vectorial (curvas de nivel) generado a partir de datos obtenidos por el Nivel de Ingeniero presenta una altura Máxima de 213,79 m.s.n.m., Mínima de 182,62 m.s.n.m. y una altura media de 195.26 m.s.n.m.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

- El Modelo de Elevación Digital vectorial (curvas de nivel) generado a partir de datos obtenidos por el GPS presento una altura Máxima de 253,27 m.s.n.m., Mínima de 214.03 m.s.n.m. y una altura media de 232,95 m.s.n.m.
- El Modelo de Elevación Digital vectorial (curvas de nivel) generado a partir de datos obtenidos por el SRTM presento una altura Máxima de 235 m.s.n.m., Mínima de 219 m.s.n.m. y una altura media de 227,44 m.s.n.m.
- No se logró comparar visualmente los Modelos de Elevación Digital en formato vectorial (Curvas de Nivel), ya que en este formato resulta difícil hallar puntos de comparación aparente. Se optó por el formato raster porque facilita el estudio.
- Se generó el mapa de diferencias de alturas de los Modelos de Elevación Digital en formato raster, (GPS – Nivel de Ingeniero), con una diferencia máxima de 50,90 m, mínima de 25,67 m, una media de 37, 69 m con una desviación típica de 3,9 m. En los intervalos de diferencias de 25,67 m a 32,7 m ocupa 8 % del área, mayor de 32,7 m a 42,7 m ocupa 78 % del área, mayor de 42,7 m a 50,9 m ocupa 14 % del area.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

- Se generó el mapa de diferencias de alturas de los Modelos de Elevación Digital en formato raster, (SRTM – Nivel de Ingeniero), arrojando los siguientes resultados; diferencia máxima de 48,34 m, mínima de 13,69 m, una media de 32,10 m con una desviación típica de 6,6 m. En los intervalos de diferencias de 13,7 m a 25,5 m ocupa 18 % del área, Mayor de 25,5 m a 38,7 m ocupa 65 % del área, mayor de 38,7 m a 40,3 ocupa 17% del area.
- El Modelo de elevación digital creado con los datos del SRTM es el que menos diferencia en altura tiene en relación con el creado con los datos del Nivel de ingeniero, no obstante, el creado con los datos del GPS es el que más similitud tiene respecto a su forma de relieve, tal y como lo muestran los perfiles de elevación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Austin, A. A., & Beacon, P. (2004). Comparación de Modelos Digitales del Terreno realizados con diferentes técnicas. IGM vs SRTM. Córdoba.

Bosque, j. (2004). Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos. Madrid, España: Ediciones Rialp.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.



- Evans, I. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. En H. & Row, Spatial analysis in geomorphology (págs. 17-90). In R.J. Chorley, editor.
- Felicísimo , A. M. (1994). Modelos digitales del terreno: principios y aplicaciones en las ciencias ambientales . Oviedo: Pentalfa Ediciones.
- Hengl, T., & Reuter, H. (2008). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications (Vol. 33). Amsterdam: Elsevier.
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., & Mark, M. (2004). Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Working Document, 5.
- Mathew, C. (2008). Desarrollo de Mapas de Relieve. Hidrografía y Derivados para Suramérica. Programa GeoSUR, 20.
- Navarro, S. (2008). Altimetria. Manual de topografía - Altimetria, 1-2.
- Navarro, S. (5 de Agosto de 2008). topografía. Manual de topografía - Planimetría, 9-10. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf>
- Olaya, V. (2011). Sistemas de Información Geográfica. Girona.
- Pike, R. (2000). Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis. Progress in Physical Geography, 1-20.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.

Santamaría, J., & Sanz, T. (2005). Niveles, como aparatos topograficos. En J. Santamaría, & T. Sanz, Manual de prácticas de topografía y cartografía (pág. 120). La Rioja: Universidad de La Rioja.

Sindayihebura, A., Van Meirvenne, M., & Nsabimana, S. (2006). Comparison of methods for deriving a digital elevation model from contours and modelling of the associated uncertainty. Proceedings 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.

Tolozza, J. M. (2013). Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión posicional relativa usando receptores GPS estándar. La plata.

Van Zyl, J. J. (2001). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): A Breakthrough In Remote Sensing Of Topography. Acta Astronautica, 48(5), 559-564.

1) Bachiller Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali

2) Ingeniero Forestal, Magister. Profesor Principal de la Facultad de Ciencias Forestales y ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali.