

Evaluación de Modelos Digitales de Elevación obtenidos por diferentes sensores remotos

H.G. Mancero, D.S. Toctaguano, C.A. Tacuri

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. Gral Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador. P.Box 171-5-231B
hgmanero@espe.edu.ec, dstoctaguano@espe.edu.ec, catacure@espe.edu.ec

E.P. Kirby, A.R. Tierra

Grupo de Investigación Geoespacial. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. Gral Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador. P.Box 171-5-231B
epkirby@espe.edu.ec, artierra@espe.edu.ec

Resumen— Son múltiples los estudios enfocados a la evaluación de los Modelos Digitales de Elevación (MDE), pero ninguno de ellos es específico para el país. Por esta razón se determinó la metodología para la evaluación de los MDE obtenidos por diferentes sensores. Para la realización del estudio se comparó las alturas obtenidas de los modelos determinados por SRTM, GMRT, SIGTIERRAS y LIDAR con las alturas niveladas pertenecientes a la Red Vertical del Ecuador cuyo origen es el Datum Vertical La Libertad. Cada uno de estos, se los evaluó individualmente determinando así las diferencias de altura que existen y se calculó los estadísticos media, desviación estándar y error medio cuadrático. Se realizó un análisis de los estadísticos dando como resultado que el MDE del SIGTIERRAS es en el que existe menor diferencia de altura con referencia a los vértices de nivelación. A partir del MDE del SIGTIERRAS se realizó una comparación con los demás modelos, obteniéndose como resultado que el MDE generado a partir de datos LIDAR tiene una menor diferencia con respecto a este modelo.

Palabras clave: Modelos Digitales de Elevación, altura nivelada, LIDAR, SRTM, GMRT, SIGTIERRAS.

I. INTRODUCCIÓN

Los modelos digitales de elevación al representar valores de altura son de gran importancia dentro de estudios ambientales y geográficos ya que modelan el relieve [1]. Actualmente los MDE son generados por técnicas de sensores remotos, entre estos métodos se encuentra la fotogrametría a partir de fotografías aéreas, interferometría radar y también a partir de datos LIDAR [1]. Generar estos modelos mediante estas técnicas poseen alto costo, por esta razón existen MDE mundiales. Los cuales han sido liberados por agencias espaciales entre estos tenemos el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y GMRT (Global Multiresolution Topography). También existen instituciones gubernamentales que generan MDE en el caso del Ecuador una de estas instituciones es el SIGTIERRAS. Hay que tomar en cuenta que cada uno de estos modelos posee características distintas lo que hace necesario saber cuál es el que se necesita para cierta aplicación. La evaluación de la calidad de un modelo es de mucha importancia, ya que el error de este afecta directamente a la calidad de los modelos derivados [1]. Los factores que influyen en la calidad de un modelo son: (1) el espaciamiento horizontal y vertical de la información, (2) el tamaño de la celda (resolución), (3) el método de interpolación y (4) la complejidad del terreno [2] [3] [4] [5] [6] [1]. Estos factores

son los que producen los errores groseros y sistemáticos [1]. En la evaluación, es importante analizar la semejanza del MDE con la forma del terreno, ya que esta semejanza es referida como precisión relativa del mismo [3]. “Mientras que la precisión absoluta se refiere a la calidad altimétrica del MDE respecto al mundo real” [1]. Este trabajo se enfoca en una evaluación de 4 MDE que son: (1) GMRT, (2) SRTM, (3) SIGTIERRAS (Modelo Generado por una institución gubernamental) y (4) LIDAR (Modelo generado a partir de datos LIDAR proporcionados por el SIGTIERRAS). Se evalúan a partir de datos de altura provenientes de la red vertical del Ecuador, las cuales son 28 vértices. Realizando una diferencia de altura entre cada modelo y el vértice, se determina el modelo que menor diferencia tiene respecto a los vértices. El estudio se realizó en la zona norte del país exactamente en la provincia de Imbabura.

II. MARCO TEÓRICO

A. Datum Vertical y Altura

Existen sistemas de altura físicas (dependientes del campo de gravedad), como mareógrafos de referencia. En el Ecuador el mareógrafo es la Libertad, se conoce como datum vertical. A partir de esta superficie de referencia se calculan los valores de altura. Las alturas referidas al geode se las conoce como alturas ortométricas (H) y las referidas al elipsoide se conoce como altura elipsoidal (h) o geométrica (ver figura 1.). La altura de un punto que se encuentra en la superficie terrestre es la distancia entre este y una superficie de referencia (datum vertical), medida en dirección perpendicular a dicha superficie.

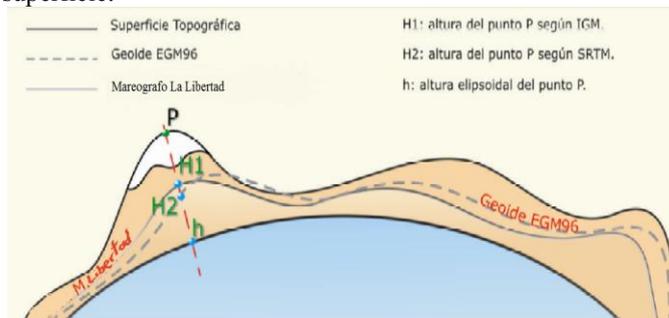


Figura 1. Diferentes alturas respecto a la superficie de referencia.

Fuente: [7]

B. EGM 96

Es un modelo geopotencial creado por la NASA consta de coeficientes armónicos esféricos, todos sus cálculos se hicieron respecto al elipsoide WGS84. Estas constantes se utilizan para poder encontrar una altura que se asemeje a la ortométrica [8].

C. MDE (Modelos Digitales de Elevación)

Un MDE es la representación matemática de los valores de altura referidos a una superficie de referencia o datum vertical obtenidos mediante diferentes técnicas o métodos [9]. Entre estos tenemos:

SRTM: Es un MDE mundial generado por la NASA a partir de la técnica de interferometría radar, la resolución espacial es de 1 arco de segundo únicamente para Estados Unidos y 3 arcos de segundo para el resto del mundo, la precisión del modelo es de ± 16 m con un nivel de confianza del 90% cuyo datum vertical es el EGM96 y datum horizontal es el WGS84 [10].

GMRT: Es un MDE mundial generado por la Marine Geoscience Data System (MGDS), este modelo recolecta datos de diferentes instituciones y a diferencia del SRTM genera también información de la superficie marina, al recolectar información de diferentes instituciones este modelo tiene resoluciones para el mar de 100m y para la superficie terrestre de 30m, datum vertical es el EGM96 y datum horizontal es el WGS84 [11].

SIGTIERRAS: Es un modelo generado por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, tiene una resolución de 3m y un RMS de ± 1.5 m, este modelo fue realizado mediante técnicas fotogramétricas y LIDAR, el datum vertical es el EGM96 y datum horizontal es SIRGAS 95 [12].

D. LIDAR (Light Detection and Ranging)

Es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz láser para obtener una muestra densa de puntos (x, y, z) del terreno.

LIDAR SIGTIERRAS (ver tabla 1.)

Tabla 1. Especificaciones vuelo LIDAR

Especificación	Valor
Campo de visión transversal máximo (FOV)	50°
Frecuencia de escaneo	40 Hz
Frecuencia de pulso	98.4 kHz
Resolución especial	0.2 pto/m ²
Espaciamiento medio entre puntos	3 m
Rango dinámico de intensidades	8 bits
Recubrimiento Transversal	25%
Dirección de las pasadas	N – S

Fuente: [12]

III. METODOLOGÍA

A. Planificación y obtención de la información

Para este proyecto se recopiló la información de diferentes entidades SIGTIERRAS e IGM, y mediante la página web del United States Geological Survey (USGS) y de la Marine Geoscience Data System (MGDS).

La zona de estudio se encuentra ubicada entre las provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha debido a la disponibilidad de datos LIDAR por parte del SIGTIERRAS como se observa en la figura 2, y además por los vértices de nivelación existentes. Una vez adquirida la información se procedió a la estandarización, esta se la clasificó según el tipo de dato, raster y vector. Una vez clasificados los datos, se les asignó un mismo sistema de referencia en este caso SIRGAS 95 Zona 17 Sur.

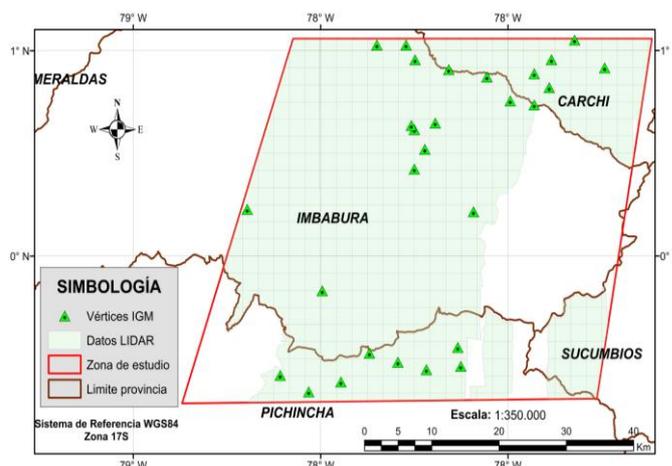


Figura 2. Descripción de la zona de estudio

B. Generación del MDE con datos LIDAR

Con los datos LIDAR proporcionados por el SIGTIERRAS se generó el MDE, utilizando el software ArcGIS 10.1, con la herramienta LAS Dataset. Con la cual se cargaron los datos, una vez cargados los archivos .las se procedió a generar el modelo con la herramienta LAS Dataset to Raster aquí se define el tipo de interpolación que se quiere utilizar en nuestro caso se utilizó el método lineal.

C. Diferencias de Altura

Una vez estandarizada la información se extraen los valores de altura de cada uno de los MDE en cada vértice utilizando la herramienta del Software ArcGIS 10.1 (Extract Values to Point). Los vértices que se utilizaron se encuentran distribuidos en la zona de estudio, estos fueron 28 en total como se observa en la figura 3, con color verde representando los vértices y de color rojo el número correspondiente.

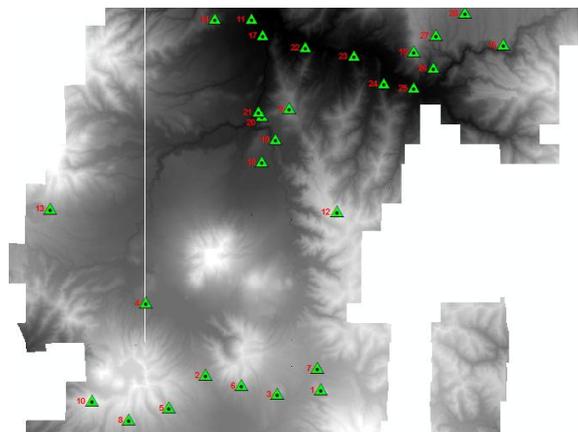


Figura 3. Distribución de los Vértices de nivelación

Esto se lo realiza para cada MDE: SIGTIERRAS, GMRT, SRTM, y LIDAR. Posteriormente se realizó una diferencia de alturas entre cada modelo respecto a los vértices de nivelación, estos valores serán motivo de estudio y nos permitirán la generación de estadísticos como son la media aritmética, la desviación estándar, y los valores máximos y mínimos.

Una vez realizado las diferencias de alturas se encontró el modelo con menor diferencia y se lo procedió a evaluar con los demás MDE, para ello se realizó un algebra de mapas, con el fin de visualizar de mejor manera las diferencias entre estos.

D. Perfiles longitudinales

Se realizó un perfil longitudinal comparando las alturas de los MDE, observando la variación que cada una presenta a lo largo de un tramo y visualizando principalmente en las zonas altas y bajas.

IV. RESULTADOS

A. Estandarización y recopilación de la información

Tabla 2. Características de los MDE

MDE	Resolución Espacial (m)	Sistema de Referencia	Fuente	Superficie de Referencia	Error (m)
SRTM	90	SIRGAS95	USGS	EGM96	16
GMRT	60	SIRGAS95	MGDS	EGM96	20
LIDAR	3	SIRGAS95	Propia	EGM96	2
SIGTIERRAS	3	SIRGAS95	SIGTIERRAS	EGM96	1.5

En la Tabla 2 se muestra el resultado final de la estandarización de la información, en la que se encuentra similitud en el sistema de referencia y en la superficie de referencia, factores que son indispensables para poder realizar la evaluación.

B. Generación del MDE a partir de los datos LIDAR

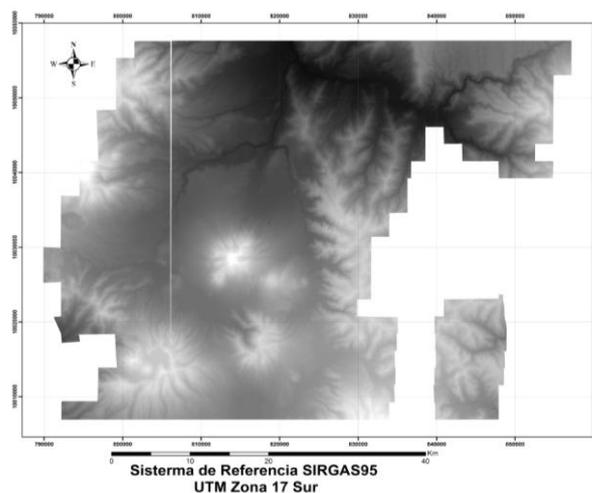


Figura 4. MDE generado con datos LIDAR

En la figura 4 se visualiza el MDE que se generó a partir de los datos LIDAR, en donde las tonalidades claras representan una mayor altura y las tonalidades más oscuras menor altura.

C. Evaluación de las diferencias de altura

Tabla 3. Parámetros Estadísticos de las diferencias entre los vértices y los MDE

	D_SRTM (m)	D_GMRT (m)	D_SIGTIERRAS (m)	D_LIDAR (m)
Media Aritmética	2.803	20.792	-1.019	-1.233
Desviación Estándar	21.556	22.967	1.657	1.699
Error Cuadrático Medio (RMSE)	21.353	30.675	1.920	2.074
Valor Mínimo	-74.481	0.569	-3.260	-4.270
Valor Máximo	53.220	86.540	2.887	3.887

En la tabla 3 se observan los estadísticos calculados como son la media, desviación estándar, error cuadrático medio, valor mínimo y máximo de cada uno de los modelos.

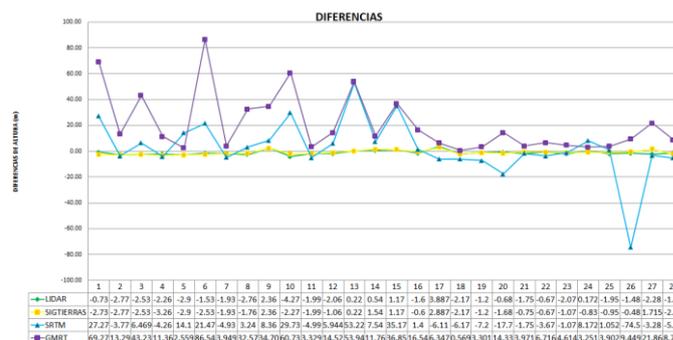


Figura 5. Diferencias de alturas entre los MDE y los vértices

En la figura 5 se visualiza las diferencias de altura resultantes en cada uno de los MDE, representado con líneas, de color amarillo SIGTIERRAS, de color verde LIDAR, de color cyan SRTM y de color morado GMRT, notándose que en el SRTM y el GMRT existen mayores diferencias con respecto a los vértices de nivelación, con variaciones de -74.481 y 86.54 m respectivamente.

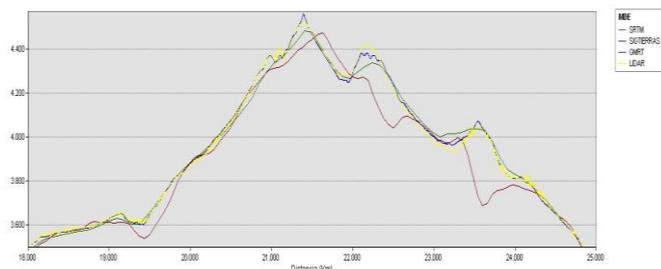


Figura 6. Comparación de Perfiles de los MDE en Zonas Altas

En la figura 6 se observan las diferencias de altura entre los MDE, representados con líneas de color verde SRTM, de color azul SIGTIERRAS, de color rojo GMRT y de color amarillo LIDAR, lo que permite visualizar la variación que existe en las zonas altas.

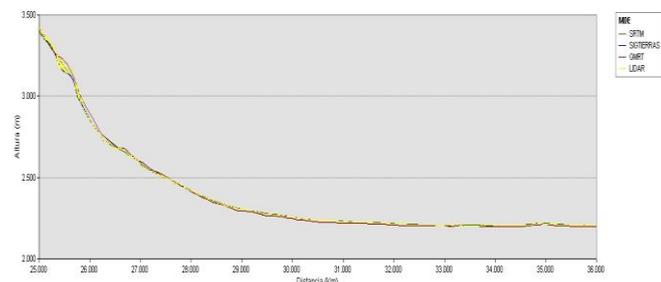


Figura 7. Comparación de Perfiles de los MDE en Zonas Bajas

En la figura 7 con la misma simbolización que en la figura 6, se visualizan las diferencias de altura existentes entre los MDE en zonas bajas en donde existen mínimas diferencias.

D. Mapas de diferencias entre el MDE del SIGTIERRAS y los MDE restantes

Para complementar el estudio se comparó el MDE del SIGTIERRAS con el SRTM, GMRT y LIDAR respectivamente. Representado en los distintos Mapas de Diferencias mostrados a continuación, en los que se visualiza en tonos rojos las zonas donde el valor de altura es menor respecto al MDE del SIGTIERRAS, en tonos grises las zonas en tolerancia; esta zona se dice que está en tolerancia respecto a los errores mostrados en la tabla 2 tomando como base el modelo del SIGTIERRAS, y en tonos azules las zonas donde el valor de altura es mayor con respecto al MDE del SIGTIERRAS.

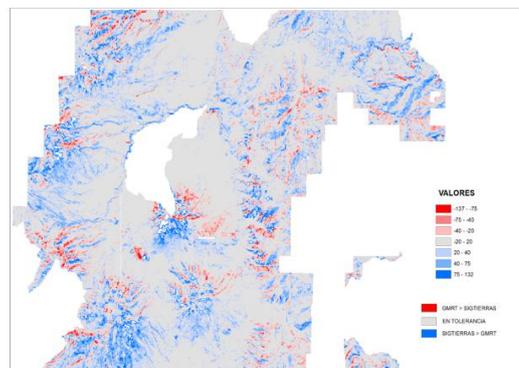


Figura 8. Mapa de diferencias entre MDE del SIGTIERRAS vs. GMRT

En la figura 8 se visualiza las diferencias de alturas existentes entre el MDE del SIGTIERRAS vs. GMRT con una media de 0.9597 y una desviación estándar de 27.4377 esto se debe a que sus diferencias de altura van desde -137 a 132 metros.

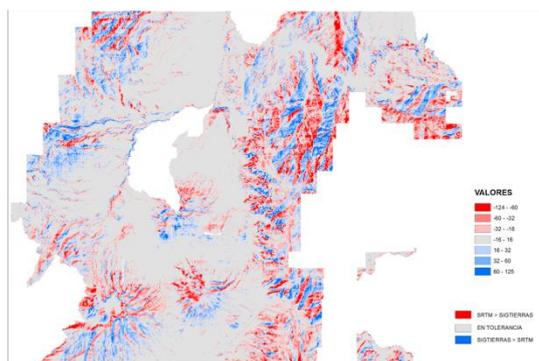


Figura 9. Mapa de diferencias entre MDE del SIGTIERRAS vs. SRTM

En la figura 9 se visualiza las diferencias de alturas existentes entre el MDE del SIGTIERRAS vs. SRTM con una media de -2.524 y una desviación estándar de 26.182, esto se debe a que sus diferencias de alturas van desde -124 a 125 metros.

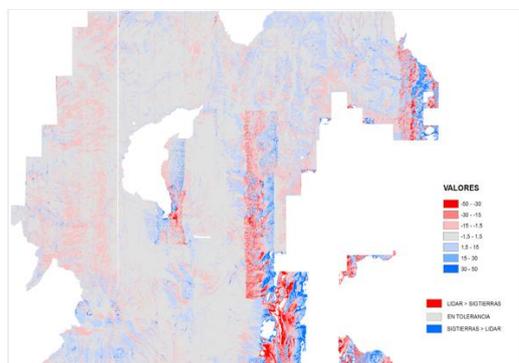


Figura 10. Mapa de diferencias entre MDE del SIGTIERRAS vs. LIDAR

En la figura 10 se visualiza las diferencias de alturas existentes entre el MDE del SIGTIERRAS vs. LIDAR con una media de 0.208 y una desviación estándar de 8.526, esto se debe a que sus diferencias de alturas van desde -50 a 50 metros.

V. CONCLUSIONES

En la comparación de los MDE con los vértices de nivelación se obtuvo que el MDE generado por el SIGTIERRAS es el que mejor se ajusta al terreno en la zona de estudio con un RMSE de 1.92 m.

Existen diferencias muy marcadas en las zonas altas, sobre todo en los MDE del SRTM y GMRT, esto se debe a la resolución de 90 m y de 60m respectivamente, debido a la generalización en la altura del terreno, a diferencia de las zonas bajas donde se observa que los MDE no tienen una variación significativa

En la generación del MDE a partir de datos LIDAR se debe realizar un estudio más específico ya que se constató la existencia de huecos de captura de información, lo que afectó la estructura del mismo provocando que existan valores de altura anómalos, como se observaron al momento de realizar el mapa de diferencias entre el MDE del SIGTIERRAS y el MDE generado por LIDAR.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan su agradecimiento al SIGTIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica) quienes supieron facilitar la información necesaria.

REFERENCIAS

- [1] Casado, A., Gentili, J., Campo, A., Peiry, J. (2010). Evaluación de la calidad de modelos digitales de elevación derivados de curvas de nivel para aplicaciones hidrológicas. Consultado el 29 de noviembre de 2014 desde <https://www.academia.edu/> Ingresado: enero2015
- [2] Felicísimo A. M. (1994). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales, 122 p. Disponible en <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- [3] Wise, S. M. (2000). Assessing the quality for hydrological applications of digital elevations models derived from contours, *Hydrological Processes*, 14, pp. 1909-1929
- [4] Hengl, T. (2007). A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. Luxemburg, JRC Scientific and Technical Reports, 165 p.
- [5] Fisher, P. F. y Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models", *Progress in Physical Geography*, 30, pp. 467-489.
- [6] Selvi, H. Z. y Bildirici, O. (2008). The accuracy and reliability of digital elevation models created from the contour lines of paper maps, 2nd International Conference on Cartography and GIS, Borovest, Bulgaria, pp. 7 p.
- [7] Austin, A. & Beacon, P., (2004). Comparación de Modelos Digitales del Terreno realizados con diferentes técnicas. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba
- [8] NGA, National Geospatial- Intelligence Agency, nd. Earth Gravitational Model 1996. Obtenido en Enero 2015. Desde www.nga.mil
- [9] Burgos, V. (2012). Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/X para modelación hidráulica de rotura de Presa El Carrizal, Mendoza. 1er Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos, Ezeiza, Junio 2012. ISBN: 978-987-20109-6-6
- [10] USGS, United States Geological Survey, 2005. Shuttle Radar Topography Mission. Obtenido en Enero 2015. Desde <http://srtm.usgs.gov>
- [11] MGDS, (nd). Global Multi-Resolution Topography – GMRT. Consultado el 20 de diciembre de 2014. Disponible en línea en <http://www.marine-geo.org/portals/gmrt/about.php>
- [12] TECSULT, (2010). Toma de fotografía aérea digital y elaboración de ortofotos a escala 1:5000 a nivel nacional.