

**JIFI2018**  
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN  
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

## Generación de Modelos Digitales de Elevación a partir de Datos Geodésicos y su validación precisa.

(Caso de Estudio Estados, Carabobo Falcón, Lara y Yaracuy)

Prof. Douglas R. Bravo A., Prof. Rosa M. Benítez N., Prof. Miguel R. Ríos R., Br. Ruy J. Pereira L. y Br. Nataly M. Viloria P.

Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura – Centro de Investigación Aplicada en Sistema de Información Georreferenciada de la Universidad Central de Venezuela

[bravod@gmail.com](mailto:bravod@gmail.com) ; [rbnougues@gmail.com](mailto:rbnougues@gmail.com), [miguerriosr@gmail.com](mailto:miguerriosr@gmail.com),  
[rjp265@gmail.com](mailto:rjp265@gmail.com), [natalyvp1991@gmail.com](mailto:natalyvp1991@gmail.com)

### RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se plantea la elaboración del Modelo Digital de Elevación para un sector del territorio venezolano a partir de la integración de datos geodésicos heterogéneos. La propuesta en la elaboración de este modelo surge con el propósito de dar respuestas a las diferentes necesidades que convergen en la relación estrecha entre la geomorfología y la dinámica del ecosistema. Diversas disciplinas se podrán beneficiar con los alcances que se generan al poseer un modelo propio del relieve del territorio nacional integrado.

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son el soporte de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pues proveen del relieve en formato digital para proyectos transdisciplinario de las Geociencias, información vital para conocer el comportamiento humano ante, tanto el cambio climático como en la producción de alimentos para la resolución de los problemas sociales que agobian a las nuevas generaciones.

Por ello, abocarse al estudio de los MDE en forma seria y utilizando datos diversos, permitirá contar con el conocimiento adecuado y herramientas confiables para soportar los estudios de las ciencias naturales para valorar el comportamiento humano y verificar su desarrollo futuro.

Los resultados obtenidos, permiten validar la veracidad de los modelos digitales en correlación con los modelos analógicos y datos obtenidos directamente en campo, para cumplir con las normas establecidas para tal fin.

El desarrollo de tecnologías de adquisición masiva de datos geoespaciales ha tenido un auge importante en los últimos años, revolucionando la geociencias en cuanto a la generación de productos cartográficos y modelados tridimensionales, dentro de los cuales destacan: modelos digitales de elevaciones, ortofotos, entre otros productos. La versatilidad de estas tecnologías acorta los tiempos de adquisición de datos en campo si se compara con métodos convencionales de topografía.

Si estos métodos de adquisición de alta tecnología se validan con métodos clásicos, se potencia su uso ya que no solo es la oportunidad sino por la veracidad, que tienen generando confianza al momento de determinar los modelos matemáticos precisos que mejor representen el relieve.

Con el fin de determinar cuáles son los procedimientos que se deben realizar para ejecutar de manera efectiva la correcta evaluación del MDE generado por el SRTM, se decidió trabajar en la región del país comprendida por los estados Falcón, Lara, Yaracuy y Carabobo. Debido a la presencia de datos gravimétricos y altimétricos colectados para investigaciones desarrolladas por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura, se decidió tomar esta área del país como zona de estudio preliminar, ya que contaba con suficiente información geodésica tomada in situ y compensada en forma rigurosa. Además, presenta información gravimétrica y altimétrica que fue recopilada gracias a la medición de un conjunto de circuitos de nivelaciones geométricas y mediciones gravimétricas en la zona de estudio, proporcionados por La Dirección de Cartografía Nacional hoy IGVS, que permitió hacer una correcta evaluación del MDE generado por el SRTM de 1 arcsec. publicado en septiembre de 2016 y obtenido de del sitio web [earthexplorer.com.usgs.gov](http://earthexplorer.com.usgs.gov) del U.S Geological Survey (USGS)

Se recopiló la cartografía base realizada por la Dirección de Cartografía Nacional, actual IGVS, en el año 1967, esta data estuvo compuesta por las cartas a escala 1:100.000 enumeradas 6446, 6447, 6448, 6449, 6450, 6546, 6547, 6548 y 6549 referidas al datum La Canoa (PSAD56).

Una vez integrados y procesados estos datos heterogéneos, se comparó el MDE regional con puntos de control vertical para determinar la precisión relativa MDE, alcanzándose desviaciones del orden

$$\text{Varianza (m}^2\text{)} = 333.178$$

$$\text{Desv. Estándar (m)} = \pm 18.253$$

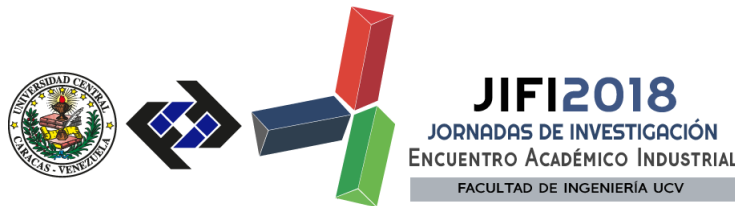
$$\text{Error límite (m)} = \pm 45.633$$

#### SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



Una vez conocidos las desviaciones del MDE del SRTM a partir de Mediciones directas en campo se procedió a generar el MDE ajustado localmente, que mejor representa el relieve de esta zona de estudio, producto que se presenta como resultado de este proyecto; con las consideraciones de exactitud exigidas para este tipo de trabajo para cumplir con las especificaciones de trabajos para el modelaje tridimensional de las agencias cartográficas internacionales.

*Palabras Clave: SIG, DEM, MDT, Cartografía Digital, Teledetección, Satélites artificiales.*

## ABSTRACT

In the present work of investigation the elaboration of the Digital Model of Elevation for a sector of the Venezuelan territory from the integration of heterogeneous geodetic data is considered. The proposal in the elaboration of this model arises with the purpose of giving answers to the different needs that converge in the close relationship between geomorphology and the dynamics of the ecosystem. Various disciplines may benefit from the scope generated by having their own model of the relief of the integrated national territory.

The Digital Elevation Models (MDE) are the support of the Geographic Information Systems (GIS), because they provide the relief in digital format for transdisciplinary projects of the Geosciences, vital information to know the human behavior before, both climate change and the production of food for the resolution of the social problems that overwhelm the new generations. Therefore, focus on the study of SDMs in a serious way and using diverse data, will allow to have the adequate knowledge and reliable tools to support the studies of natural sciences to assess human behavior and verify its future development.

The obtained results allow to validate the veracity of the digital models in correlation with the analog models and data obtained directly in the field, in order to comply with the norms established for that purpose.

The development of technologies of massive acquisition of geospatial data has had an important boom in recent years, revolutionizing geosciences in terms of the generation of cartographic products and three-dimensional modeling, among which stand out: digital models of elevations, orthophotos, among others products. The versatility of these technologies shortens data acquisition times in the field compared to conventional surveying methods.

If these methods of acquisition of high technology are validated with classical methods, its use is enhanced since it is not only the opportunity but for the veracity, which have generated confidence when determining the precise mathematical models that best represent the relief.

*Keywords: GIS, DEM, Digital Cartography, Teledetention, Satellites*

## INTRODUCCIÓN

En el presenta trabajo de investigación se plantea la elaboración del Modelo Digital de Elevación para un sector del territorio venezolano a partir de la integración de datos geodésicos heterogéneos. La propuesta en la elaboración de este modelo surge con el propósito de dar respuestas a las diferentes necesidades que convergen en la relación estrecha entre la geomorfología y la dinámica del ecosistema. Diversas disciplinas se podrán beneficiar con los alcances que se generan al poseer un modelo propio del relieve del territorio nacional integrado.

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son el soporte de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pues proveen del relieve en formato digital para proyectos transdisciplinario de las Geociencias, información vital para conocer el comportamiento humano ante, tanto el cambio climático como en la producción de alimentos para la resolución de los problemas sociales que agobian a las nuevas generaciones.

### SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Por ello, abocarse al estudio de los MDE en forma seria y utilizando datos diversos, permitirá contar con el conocimiento adecuado y herramientas confiables para soportar los estudios de las ciencias naturales para valorar el comportamiento humano y verificar su desarrollo futuro.

Los resultados obtenidos, permiten validar la veracidad de los modelos digitales en correlación con los modelos analógicos y datos obtenidos directamente en campo, para cumplir con las normas establecidas para tal fin.

El desarrollo de tecnologías de adquisición masiva de datos geoespaciales ha tenido un auge importante en los últimos años, revolucionando la geociencias en cuanto a la generación de productos cartográficos y modelados tridimensionales, dentro de los cuales destacan: modelos digitales de elevaciones, ortofotos, entre otros productos. La versatilidad de estas tecnologías acorta los tiempos de adquisición de datos en campo si se compara con métodos convencionales de topografía.

Si estos métodos de adquisición de alta tecnología se validan con métodos clásicos, se potencia su uso ya que no solo es la oportunidad sino por la veracidad, que tienen generando confianza al momento de determinar los modelos matemáticos precisos que mejor representen el relieve.

## METODOLOGÍA

### 1.- Recopilación de información geodésica de la zona de estudio

Con el fin de determinar cuáles son los procedimientos que se deben realizar para ejecutar de manera efectiva la correcta evaluación del MDE generado por el SRTM se decidió trabajar en la región del país comprendida por los estados Falcón, Lara, Yaracuy y Carabobo. Debido a la presencia de datos gravimétricos y altimétricos colectados por el Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional (SAGECAN) Hoy Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar; incluidos en los diferentes Trabajos especiales de Grado desarrollados por Centro de Investigación Aplicada en Sistemas de Información Georreferenciada de la UCV, se decidió tomar esta área del país como zona de estudio preliminar, ya que contaba con suficiente información geodésica tomada in situ que permitiera hacer una correcta evaluación del MDE generado por el SRTM.

Se recopiló la cartografía base realizada por la Dirección de Cartografía Nacional, actual IGVSB, en el año 1967, esta data estuvo compuesta por las cartas a escala 1:100000 6446, 6447, 6448, 6449, 6450, 6546, 6547, 6548 y 6549 referidas al datum La Canoa.

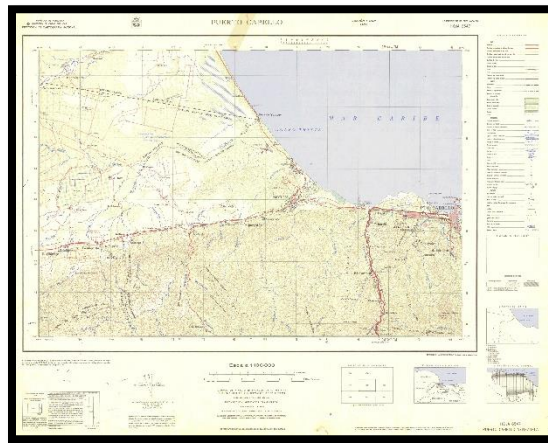


Figura 1. Carta 6547 a escala 1:100000 elaborada por la Dirección de Cartografía Nacional. Fuente: IGVSB Haciendo uso del sitio web [earthexplorer.com.usgs.gov](http://earthexplorer.com.usgs.gov) del U.S Geological Survey (USGS), se obtuvo el MDE correspondiente a los estados antes mencionados con una resolución de treinta (30) metros.

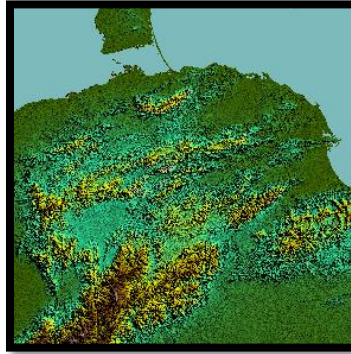


Figura 2. MDE del SRTM de los estados Falcón, Lara, Yaracuy y Carabobo. Fuente: earthexplorer.com.usgs.gov  
 Además, Se obtuvo un listado de puntos extraídos de la cartografía base que indica la latitud, longitud y cota de cada uno. Para tal fin se georreferenciaron las cartas empleando el software Global Mapper v18, luego se ubicó en la cartografía los puntos de interés y finalmente estos fueron exportados en formato .csv.  
 Adicionalmente, se manejó un conjunto de monografías de BM de los estados en estudio, también se recibió un listado en formato .xls que contenía la latitud, longitud y cota de cada BM.

**2. Verificación de coordenadas de puntos recopilados en los estados Falcón, Lara, Yaracuy y Carabobo.**

Empleando la lista de vértices BM del IGVSb se validó la cota de cada punto correspondiente al circuito de nivelación. Para ello, se emplearon los croquis y descripciones de puntos de las monografías de dichos vértices para validar la ubicación de las estaciones del circuito de nivelación. Esta verificación permitió depurar y validar la data recopilada de manera tal que resultara de utilidad para los objetivos de esta investigación.

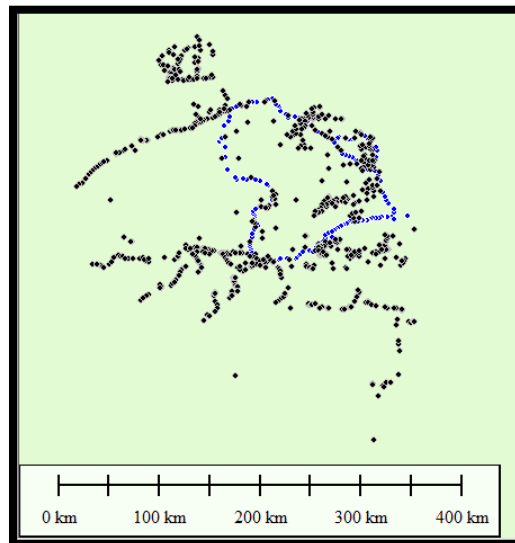
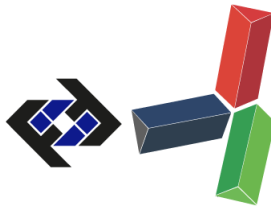


Figura 3. Distribución final de puntos recopilados. Fuente: captura de pantalla Global Mapper, elaboración propia  
 3. Elaboración de MDE empleando puntos recopilados.

Empleando el programa Global Mapper se generó el MDE a partir de todos los puntos colectados en etapas previas empleando como método de interpolación el TIN siendo este el que trae predeterminado el software.  
 En vista de las limitaciones de Global Mapper en cuanto a la selección de métodos de interpolación, se decidió emplear el programa Surfer v13 para realizar los MDE empleando el método Kriging. Para esto se generó un “grid data”.  
 Resulta importante destacar que una vez abierto en Global Mapper el archivo.grid que fue generado en Surfer v13 y que contiene la información para generar el DEM, se debe modificar las opciones de remuestreo a fin de que el programa no realice nuevamente otra interpolación, sino que por el contrario utilice el método del vecino más cercano.

**4. Comparación del SRTM con el MDE generado por interpolación TIN y Kriging.**



Empleando el software Global Mapper se realizó la comparación entre el SRTM y el MDE generado por interpolación TIN, para realizar este procedimiento se empleó la herramienta “Combine terrain options” que permite hacer análisis comparativos entre dos capas cargadas en el software que contengan arreglos matriciales con el atributo de elevación. El resultado de este proceso resulta en un MDE que contiene el valor de la sustracción del atributo de elevación de ambas capas comparadas, este MDE es posteriormente empleado para obtener curvas de nivel que permitan apreciar esta información de otra manera.

Para la comparación empleando el método Kriging, se siguieron los mismos procedimientos realizados en la comparación por TIN, con la diferencia que una de las superficies comparadas fue la generada en el software Surfer con interpolación Kriging.

#### 4.1 Generación de grilla regular para validar SRTM corregido

En vista de los inconvenientes que resultan de evaluar la exactitud del SRTM corregido empleando puntos medidos en campo distribuidos de forma no uniforme, se decidió elaborar una grilla de puntos cuyas coordenadas fueron extraídas empleando la carta 1:100000. Para este particular se decidió tomar una región de 16km por 12km aproximadamente, adyacente a la población de Nirgua. Esta área fue seleccionada en primer lugar porque las discrepancias entre el MDE del SRTM corregido y los puntos topográficos para su validación eran las menores en la totalidad del área de estudio, y en segundo lugar porque esta extensión de aproximadamente 195 km<sup>2</sup> permitió la obtención de una grilla manual espaciada cada 10, 20, 30 segundos y posteriormente cada 1 y 3 minutos de arco.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5. Evaluaciones de datos geospaciales

#### 5.1 Validación del SRTM en los estados Falcón, Lara, Yaracuy y Carabobo

En esta etapa se calcularon los valores de varianza, desviación estándar y error límite para los datos de discrepancias presentes, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1. Valores de varianza, desviación estándar y error límite para los resultados de discrepancias obtenidos. Fuente: elaboración propia

Varianza (m <sup>2</sup> )	3673.37689
Desv. Estándar (m)	60.6083896
Error límite (m)	151.520974

Una vez obtenidos estos indicadores se procedió a eliminar los puntos que excedieran el error límite, establecido como 2,5 veces la desviación estándar y se eliminaron 8 puntos.

Se calculó nuevamente la varianza, desviación estándar y error límite para la nueva tabla de puntos, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 2. Valores de varianza, desviación estándar y error límite para los valores de la tabla 4. Elaboración propia

Varianza (m <sup>2</sup> )	333.178249
Desv. Estándar (m)	±18.2531709
Error límite (m)	±45.6329273

Se logró una disminución significativa en los parámetros estadísticos, cuantificada en una reducción de 42.35 m en el valor de la desviación estándar, lo que representa un 70.58% con respecto a la desviación estándar de los valores del apéndice 1.

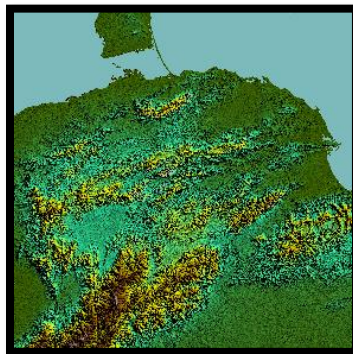
Los datos de los puntos topográficos empleados para generar los modelos digitales de elevación en este trabajo se pueden diferenciar en tres tipos: datos recopilados mediante observaciones gravimétricas, mediante nivelaciones, y obtenidos de las cartas empleadas en esta parte de la investigación. En este sentido se evaluó la desviación estándar de las discrepancias entre la cota del SRTM y la cota del punto para cada tipo arrojando los siguientes resultados.

Tabla 3. Medidas de dispersión para las discrepancias entre los puntos recopilados y el SRTM. Elaboración Propia

Indicador	Datos colectados de mediciones gravimétricas (Margott, Ana)	Datos colectados del IGVS	Datos obtenidos de las cartas
Varianza (m <sup>2</sup> )	917.49483	203.2661441	115.8193522
Desv. Estándar (m)	±30.2901771	±14.25714362	±10.76193998
Error límite (m)	±75.7254428	±35.64285904	±26.90484996

Finalmente se evaluó para cada uno de los tres tipos de puntos el impacto que tendría la reducción del número de vértices que se tomarían en cuenta para la determinación de los indicadores estadísticos. Para este estudio se tomó en cuenta en primer lugar la totalidad de puntos que componen cada conjunto de datos y se fueron eliminando vértices de cinco en cinco para evaluar el comportamiento del valor de la desviación estándar.

### 5.1 Generación del MDE de la zona en estudio



El modelo Digital obtenido a partir de datos geodésicos heterogéneos, SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) de 3 arco segundo corregido a partir de Mediciones geodésicas terrestres; resulta un modelo que mejor se aproxima a la superficie real de La Tierra, de acuerdo a los resultados presentados.

Todo modelo obtenido a partir de aeronaves en vuelo, debe ajustarse con mediciones terrestres directas para darle la validez que requiere como la mejor aproximación matemática de la superficie terrestre.

La propuesta de la elaboración de este modelo surge con el propósito de dar respuestas a las diferentes necesidades que convergen en la relación estrecha entre la geomorfología y la dinámica del ecosistema. Diversas disciplinas se podrán beneficiar con los alcances que se generan al poseer un modelo propio del relieve del territorio nacional integrado.

La propuesta de la elaboración de este modelo surge con el propósito de dar respuestas a las diferentes necesidades que convergen en la relación estrecha entre la geomorfología y la dinámica del ecosistema. Diversas disciplinas se podrán beneficiar con los alcances que se generan al poseer un modelo propio del relieve del territorio nacional integrado.

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son el soporte de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pues proveen del relieve en formato digital para proyectos transdisciplinario de las Geociencias, información vital para conocer el comportamiento humano ante, tanto el cambio climático como en la producción de alimentos para la resolución de los problemas sociales que agobian a las nuevas generaciones.

Si estos métodos de adquisición de alta tecnología se validan con métodos clásicos, se potencia su uso ya que no solo es la oportunidad sino por la veracidad, que tienen generando confianza al momento de determinar los modelos matemáticos precisos que mejor representen el relieve.

## REFERENCIAS

- [1] ASPRS (2014). *ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data*. Estados Unidos. Extraído el 6 de marzo de 2016 de [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/ASPRS\\_Positional\\_Accuracy\\_Standards\\_Edition1\\_Version100\\_November2014.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November2014.pdf).
- [2] Daruiz A. (2014). Evaluación de los modelos gravimétricos del satélite Grace a partir de datos de mediciones terrestres de gravedad y generación de modelos ajustados para Venezuela. (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela,
- [3] Ramírez, A., (1985). Nivelación y gravedad. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [4] González S. (2015). Metodología para validar datos geoespaciales adquiridos con vehículos aéreos no tripulados. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.