

# Mejoramiento del modelo digital de elevación en zona de plantación de palma aceitera utilizando GNSS

Improving digital elevation model in an area of oil palm plantations using GNSS

Martha B. Medina Arias<sup>1\*</sup>, Melvin J. Hoyer Romero<sup>2</sup>, José León<sup>3</sup>, Hermes García<sup>3</sup> y Steven Márquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. <sup>2</sup>Laboratorio Geodesia Física y Satelital, Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. <sup>3</sup>Dirección Ejecutiva de Exploración y E.I.Y, DEXEIIY, PDVSA.

## Resumen

La agricultura de precisión utiliza frecuentemente Modelos Digitales de Elevación (MDE) para conocer con alta exactitud y resolución la variabilidad del terreno. Entre los MDE globales más conocidos está el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), con resolución horizontal de 30 m y exactitud vertical de  $\pm 20$  m. El objetivo de este trabajo fue aplicar mediciones GPS de calidad submétrica sobre puntos distribuidos uniformemente, para mejorar el MDE disponible (SRTM30) en una zona de plantación de palma aceitera, en el sur del estado Zulia, Venezuela. Se realizó una selección de los puntos y de las rutas de acceso en una imagen satelital SPOT-5, midiéndose un total de 81 puntos GPS, con una precisión submétrica y mediciones cinemáticas en una ruta de 45 km, obteniéndose alturas ortométricas en los trayectos recorridos, con precisión  $\pm$  de 0,60 m a  $\pm 1,5$  m., determinándose un MDE más preciso para el área de estudio.

**Palabras clave:** MDE, agricultura de precisión, palma aceitera.

## Abstract

Precision agriculture frequently uses Digital Elevation Models (DEM) to know with high accuracy and resolution the variability of the terrain. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) is one of the most well-known global DEM, its horizontal resolution is 30 m and vertical accuracy of  $\pm 20$  m. The objective of this work is to apply GPS measurements of sub-metric quality on uniformly

Recibido el 06-02-2017 • Aceptado el 12-11-2019

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: marthabma@gmail.com

distributed points to improve the available DEM (SRTM30) in an oil palm plantation area in southern Zulia state, Venezuela. A selection of the points and the access routes was made in a SPOT-5 satellite image, measuring a total of 81 GPS points, with a sub-metric precision and kinematic measurements in a route of 45 km, obtaining orthometric heights in the traveled routes with an accuracy of 0.60 m to 1.5 m, determining a more precise DEM for the study area.

**Keywords:** DEM, precision agriculture, oil palm, GPS.

## Introducción

La agricultura de precisión utiliza frecuentemente Modelos Digitales de Elevación (MDE) para conocer con alta exactitud y resolución la variabilidad del terreno mediante modelos de alturas lo suficientemente precisos y detallados. Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Li *et al.*, 2004). A través de algoritmos matemáticos, los datos altitudinales pueden ser modelados automáticamente en una computadora y así lograr analizar la superficie terrestre en un modelo en tres dimensiones (Maune, 2007). Se consideran productos geomáticos esenciales en el estudio y administración del territorio y son la forma más efectiva de representación de la superficie terrestre, ampliamente utilizados en las ciencias e ingeniería. Entre los MDE globales más conocidos está el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), con resolución horizontal de 30 m y exactitud vertical de  $\pm 20$  m (NASA, 2016). Por su carácter global, generalmente requiere ser mejorado o corregido. Una alternativa para su mejoramiento es utilizar puntos con

valores de altura medidos con GPS distribuidos de manera homogénea en la zona de interés.

El objetivo de este trabajo es aplicar mediciones GPS de calidad submétrica sobre puntos distribuidos uniformemente, para mejorar el MDE disponible (SRTM30) en una zona de plantación de palma aceitera, en el sur del Estado Zulia, Venezuela.

## Materiales y métodos

### Ubicación área de estudio

Se seleccionó para este estudio como área piloto una zona conformada por tres cooperativas de productores de palma, Palmichal, Palmeras del Tarre y Sopropal, la cual se encuentra en las cercanías de la ciudad de Casigua El Cubo, Municipio Jesús María Semprún del Edo. Zulia, ubicada entre las coordenadas geográficas 8°53'15,23" N; 72°42'12,91" W y 9°01'32,94" N; 72°79'29'43,76" W, correspondiente a un área de producción de Palma Aceitera pertenecientes a diferentes cooperativas de productores. (figura 1)

Planificación de la campaña de medición: Se planificó la campaña de medición de acuerdo a las características del área del proyecto (condiciones accidentadas de la vialidad y del exceso de vegetación),



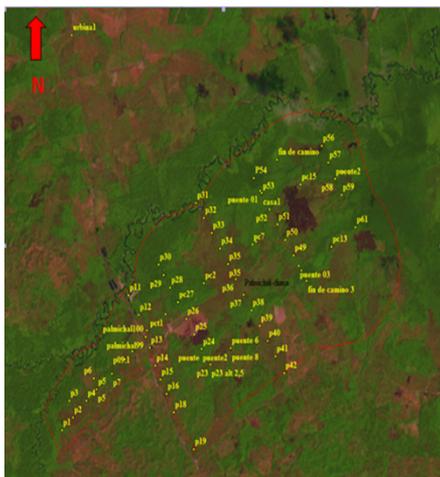
Figura 1. Área de estudio.

seleccionándose las rutas de acceso y posibles puntos de medición, sobre la imagen satelital SPOT-5 disponible para la zona de estudio (figura 2).

**Mediciones:** El instrumental utilizado para las mediciones fue un par de receptores GPS Trimble Pathfinder Pro XRT, de doble frecuencia con una antena OMNISTAR (figura 3), la cual permite bajo suscripción, obtener una precisión decimétrica a submétrica en el campo. Tal instrumental pertenece a la Gerencia de Geodesia de Petróleos de Venezuela (PDVSA)-Pto. La Cruz, estado Anzoátegui, Venezuela. Las mediciones GPS, comenzaron con la inicialización de la señal OMNISTAR para garantizar la fijación de la misma en el equipo y la precisión submétrica durante el levantamiento. Aproximadamente 40 min después, se realizaron mediciones con el modo de medición estático rápido, con ocupación de 1 a 2 min y una tasa de

captura de 1 segundo, en los puntos preestablecidos en la planificación del trabajo (principalmente cruces de vías). Se midieron 81 puntos GPS, con una precisión submétrica los cuales fueron el principal insumo en la densificación del Modelo Digital de Elevación, específicamente en el orden de  $\pm 60$  cm a  $\pm 80$  cm, según los valores estadísticos que arrojó el instrumento en el momento de la medición. Posteriormente se realizó la medición cinemática (con grabación continua a 1 s de captura) en una ruta de 45 km aproximadamente, para la obtención de alturas elipsoidales transformadas a ortométricas en los trayectos recorridos en un total de 27.206 puntos, con una precisión en el orden de 60 cm a 1,5 m (debido a las condiciones de movilización, ambientales y estado de la señal 102 OMNISTAR, figura 4).

**Manejo de los datos y procesamiento de las mediciones**



a.



b.

Figura 2. a. Puntos seleccionados. Imagen SPOT-5; b. Ruta de acceso.



Figura 3. Equipo utilizado.

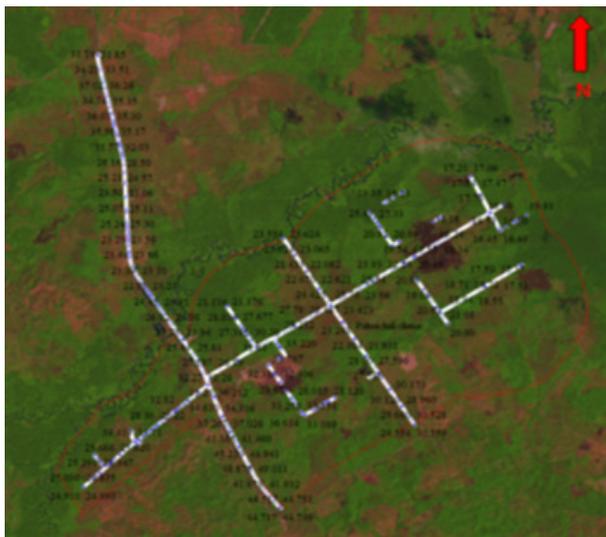


Figura 4. Rutas medicionales cinemáticas.

### Datos Utilizados

Se utilizaron 27.287 puntos (81 puntos estático-rápido + 27.206 puntos cinemáticos) con coordenadas tridimensionales con una calidad de  $\pm 1$  m distribuidos de forma homogénea en toda el área. Las alturas elipsoidales medidas se transformaron en alturas ortométricas, utilizando ondulaciones del geoide interpoladas con el Modelo Geoidal VGM12 (Acuña, 2012). Además, 128.700 puntos con coordenadas tridimensionales pertenecientes al SRTM30 con una calidad de  $\pm 20$  m aproximadamente.

### Depuración de los datos

Esta etapa consistió en identificar errores groseros presentes en las mediciones GPS, cambios abruptos de elevación entre puntos cercanos, altos indicadores de errores de la señal de corrección OmniStar, debido a la altura

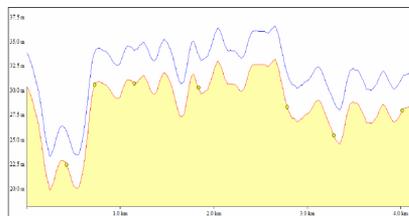
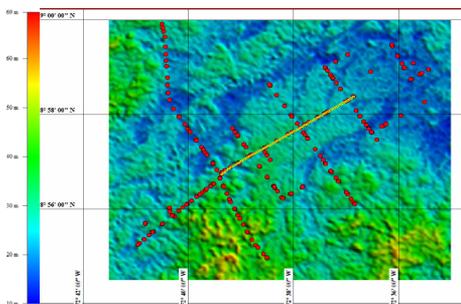
de las palmas, y tendencias irreales en las trayectorias cinemáticas, resultando un total de 8.937 puntos a ser usados en el procesamiento.

### Procesamiento propiamente dicho

Se realizó siguiendo las siguientes etapas: a. Ajuste del Modelo SRTM30 según el nivel de los puntos de control levantados en campo: Seguidamente se ajustó el SRTM30 aplicando un factor de corrección a cada nodo (puntos obtenidos en el modelo SRTM30) según el promedio de las diferencias entre las alturas interpoladas en el modelo y los valores obtenidos de la depuración de los datos (tabla 1). Se compararon estos resultados por medio de un perfil a lo largo de los puntos de control (figura 5) (Euillades y Vénere, 2003). Aunque este ajuste no corrige el MDE de forma completa, si permite

**Tabla 1. Estadística de Diferencias entre las Alturas de los Puntos de Control y las Interpoladas con el SRTM30.**

DEM	MEDIA	RMS	MIN	MAX	RANGO
SRTM30	-3.47m	2.42m	-8.20m	4.50m	12.7m

**Figura 5. Perfil en diagonal sobre los puntos de control y comparando el MDE SRTM30 (curva Azul) y el Ajustado (curva Roja).**

121 reducir los errores de nivel por ser un modelo global. b. Determinación de un mallado de elevaciones residuales a partir de las alturas de los puntos medidos y las interpoladas con el SRTM30 previamente ajustado: Se determinaron las diferencias para cada punto levantado y posteriormente se generó, a partir de una Triangulación Delaunay (Shewchuk, 2002), una malla con valores de alturas residuales utilizando interpolación lineal.

c. Descomposición del mallado de residuales en términos de una componente regional (zona externa alrededor del área piloto) y otra local (área piloto): Para la componente vertical se aplicó un filtro de paso bajo con una matriz kernel de 3 x 3 y para la componente local se aplicó una función de tipo gaussiana a fin de desplazar la cota del nodo, correspondiente al

punto de control, a su valor correcto. d. Determinación del SRTM30 mejorado para el área de estudio mediante la aplicación de 133 correcciones según las componentes regionales y locales (figura 6).

## Resultados y discusión

Para evaluar los resultados obtenidos en cada etapa del procesamiento así como en el producto final se realizaron comparaciones entre los valores de altura medidos en campo y los interpolados con las versiones del SRTM30: Original (1), la versión Ajustada (2) y la Mejorada (3). Esto se realizó mediante los puntos de control, los cuales no fueron usados como insumos para el mejoramiento del modelo sino para la verificación de su calidad externa (tabla 2). (Euillades

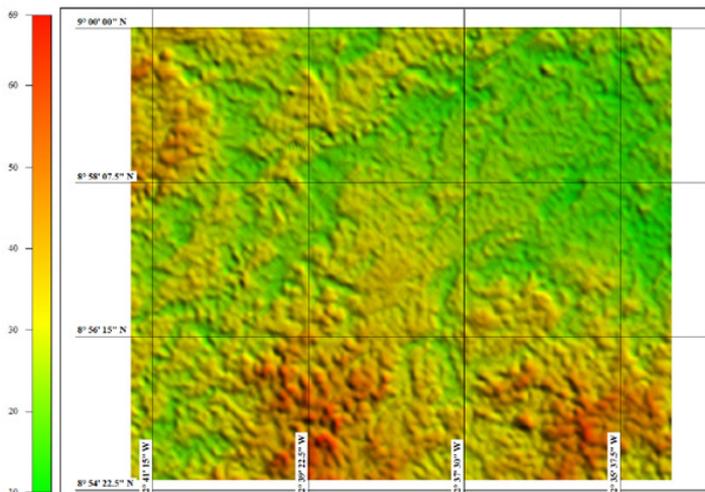


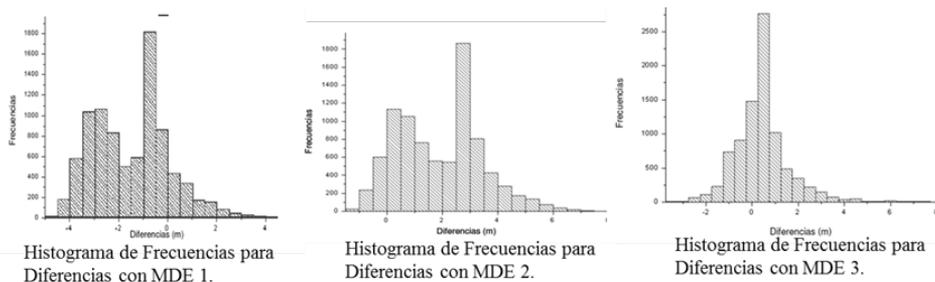
Figura 6. MDE mejorado para el área de estudio.

Tabla 2. Estadística de Diferencias entre Alturas de los Puntos de Chequeo y las Interpoladas con los MDE.

DEM	MEDIA	RMS
1	-1,5	1,5
2	0,9	1,5
2	0,4	1,2

y Vénere, 2003). Los histogramas de frecuencias con los valores de diferencias obtenidos con cada modelo y los puntos de chequeo, se presentan en la figura 7, en los que se evidencia que el MDE 3 es el mejor modelo del comportamiento de las elevaciones en la zona ya que el histograma presenta un comportamiento gaussiano óptimo en comparación con el resto, lo cual mejora considerablemente el SRTM30

original (1), manteniendo su resolución espacial en 30 m. Por lo tanto, el modelo SRTM30 mejorado para el área del proyecto, posee las siguientes características: Cobertura de 121,92 km<sup>2</sup>; rango de elevaciones desde 10 m hasta 69 m; resolución Espacial de 30 m; elevaciones vinculadas al Modelo Geoidal VGM12; calidad externa en ± 1m para zonas cercanas a los puntos de control, lo que modela/representa



**Figura 7. Histogramas de frecuencias con los valores de diferencias obtenidos con cada modelo y los puntos de chequeo.**

mejor la forma de la topografía del área del proyecto.

## Conclusiones

Se determinó un Modelo Digital de Elevación más preciso para el área de estudio validando su calidad con puntos medidos en campo que no fueron utilizados en el cálculo como tal. El análisis de los resultados permitió estimar la calidad de este modelo en  $\pm 1$ m, concluyéndose con esto que el SRTM30 mejorado modela/representa de mejor forma la topografía del área de estudio.

## Agradecimientos

A la Gerencia de Geodesia, de la Dirección Ejecutiva de Exploración y Estudios Integrados de Yacimientos (DEXEII) PDVSA. Puerto La Cruz, estado Anzoátegui, por el apoyo incondicional con equipo, personal, mediciones y procesamiento lo que permitió lograr el éxito del trabajo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia por su apoyo referente a vehículo para la realización de las mediciones.

A los productores de palma aceitera de Palmichal, Palmeras del Tarra, a los Ingenieros 161 Agrónomos Mercedes Arambulo, Alba, Raúl Rojas y Luis Urbina.

## Literatura citada

- Acuña, G. 2012. VGM12: Nueva versión del Modelo Geoidal Venezolano (primer geode nacional con ultra-alta-resolución de  $90 \times 90$ m). Laboratorio de Geodesia Física y Satelital ([www.lgfs.luz.edu.ve](http://www.lgfs.luz.edu.ve)) Dpto. de Geodesia Superior. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia 166 Apartado 526, Maracaibo 4001-A, Venezuela. Disponible en: [http://www.lgfs.luz.edu.ve/Igfs/documents/Pdf\\_VGM12.pdf](http://www.lgfs.luz.edu.ve/Igfs/documents/Pdf_VGM12.pdf). Fecha de consulta: Abril, 2015
- Euillades, P. M. Vénere. 2003. Corrección de modelos de elevación en base a un conjunto de puntos seguros. Rev. Int. Mét. Num. Cál. Dis. Ing. 19(1): 33-44.

- Li, Z.; C. Zhu and C. Gold. 2004. Digital terrain modeling: principles and methodology. CRC press. 340 p.
- Maune, D. F. 2001. Digital Elevation Model Technologies and Applications: the DEM Users Manual, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA. 539 p.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Disponible en: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>. Fecha de consulta: Noviembre, 2016
- Shewchuk, J.R. 2002. Delaunay Refinement Algorithms for Triangular Mesh Generation. *Computational Geometry: Theory and Applications* 22(1-3):21-74.