DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA BÁSICA
DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

SUBDIRECCIÓN DE RELIEVE CONTINENTAL Y SUBMARINO
DEPARTAMENTO DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Informe de resultados obtenidos de la aplicación del indicador de calidad "ERROR CUADRÁTICO MEDIO VERTICAL" al modelo digital de terreno con resolución de 2.5 metros

Núcleo de Palenque del Mapa Topográfico en la Península Maya de México

julio 2022
actualización septiembre 2022

Contenido

Objetivo 3
Introducción 3
Procedimiento de la comparación 4
Muestreo 6
Descripción de la prueba 8
Conclusiones 11

Objetivo

Conocer el error absoluto promedio de posición de la vertical Z aplicado en los Modelos Digitales de Elevación de tipo terreno con resolución de 2.5 metros y alturas ortométricas del núcleo de Palenque del Mapa Topográfico de la Península Maya de México con los datos disponibles en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para tal fin.

Introducción

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una representación continua del relieve, constituida por la distribución espacial y regular de valores de altura de las formas del relieve terrestre y los elementos presentes sobre el mismo con respecto a un nivel de referencia o nivel medio del mar.

Es importante recordar que los MDE son una descripción aproximada de la realidad, por lo tanto, la generación de los modelos conlleva de manera inherente diferentes fuentes de error. Por tal motivo es necesario calcular el error absoluto promedio de la vertical Z con el fin de dar a conocer al usuario el grado de aplicabilidad de los modelos para diversos fines.

El modelo digital de terreno evaluado es derivado de nubes de puntos fotogramétricas que son el resultado de la aplicación de procesos de orientación y correlación fotogramétrica a las fotografías aéreas de alta resolución captadas en modo estereoscópico, a estas nubes de puntos se les aplica un proceso de clasificación, el cual permite filtrar los puntos de acuerdo con el elemento que representan (terreno, vegetación, construcciones, etcétera) para posteriormente generar los modelos en formato de archivo ráster.

Los Modelos Digitales de Elevación de tipo Terreno (MDT) son la representación continua en forma digital únicamente del terreno, sin considerar los elementos de vegetación y antrópicos. Derivado del proceso fotogramétrico algunas áreas podrán presentar interpolaciones correspondientes a discontinuidades generalmente visualizadas por triangulaciones que no corresponden con la forma que tiene o adquiere el terreno, causadas por efectos de la correlación fotogramétrica en áreas de sombra, pendientes de terreno muy pronunciadas, zonas con vegetación densa y zonas de cultivo, principalmente. También pueden existir huecos provocados por nubosidad densa en los datos fuente (fotografías aéreas). Asimismo, pueden existir presencia de “escalones”, es decir, diferencia de alturas al interior del conjunto de datos o del modelo hasta de 3 metros de este sitio. Sin embargo, estas anomalías han sido procesadas y en algunos casos se incluyó información auxiliar para disminuir sus efectos en la representación del relieve.

La cobertura espacial de los modelos es conforme el área de los polígonos para el proyecto Mapa Topográfico de la Península Maya de México considerando una faja o área de excedencia con el fin de garantizar la continuidad lógica entre modelos adyacentes.

El Modelo Digital de Terreno (MDT) referido en este documento es un archivo ráster el cual permite representar mejor las variables continuas de forma gradual de la elevación de las formas del relieve con pixeles equidistantes de 2.5 m, cada uno con un solo valor de elevación.

Procedimiento de la comparación

Debido a que la obtención de datos fuente para obtener puntos de verificación para realizar la estimación, es decir, mediciones geodésicas en el terreno implica diversos recursos para su obtención, por ello, es viable recurrir a una fuente alternativa como son las nubes de puntos LiDAR ajustadas al terreno que se generaron en el INEGI a través de métodos directos y que, en teoría, tienen o son de mayor exactitud que los modelos a evaluar.

Este ejercicio se desarrolla a partir del indicador de calidad **error cuadrático medio vertical** (ECMV) autorizado por el Comité de Aseguramiento de la Calidad del INEGI. Dicho indicador tiene como objetivo, calcular el error absoluto promedio de la vertical Z a partir de una muestra de puntos aplicada a un producto geográfico, expresa el error general que se puede esperar en cualquier medición vertical (generalmente altura ortométrica) que se efectúe en dicho producto.

El ECMV es un indicador de uso combinado. De manera externa se usa para informar a los usuarios del grado de confiabilidad en las posiciones verticales que pueden obtener mediante el producto geográfico, para que éstos determinen si son suficientes para sus necesidades (es la noción denominada en el ámbito internacional como fitness for use o aptitud para el uso). De manera interna, puede apoyar al productor para conocer el nivel de confiabilidad posicional vertical de su producto, de manera que pueda estimar la factibilidad de incrementarla (cambiando el proceso) o al menos sostenerla (control riguroso del proceso).

Este indicador es por definición la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los valores de error en el eje Z de una muestra de puntos.

Este es un indicador de evaluación de calidad; es decir, se aplica al producto terminado para estimar su nivel de confiabilidad posicional. Por ello sólo se calcula una vez por producto y se informa al usuario a través de metadatos. Determinar qué datos se usarán como referencia para la evaluación varía para cada producto y es resultado de un análisis específico de cada caso. El cálculo de este indicador, como toda evaluación de calidad de datos espaciales, depende de los recursos disponibles. Este indicador no expresa los valores de error máximo y mínimo de la muestra, sino una suerte de valor promedio. Este indicador se basa en principios de muestreo espacial, el cual consiste en estrategias para dividir el producto en áreas con calidad estimada homogénea y dentro de cada una se establece una cantidad de puntos de revisión suficiente en número y adecuada en distribución territorial para la obtención de resultados representativos.

Sobre una muestra de **n** puntos, donde $\mathbf{Z_{ti}}$ es el valor de la vertical de un punto cualquiera **i** en la muestra; y donde $\mathbf{Z_{mi}}$ es el valor de la vertical en el producto a evaluar del mismo punto **i**, el error cuadrático medio vertical se define como:

$$\sigma z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (Z\mathrm{mi} - Z\mathrm{ti})^2}$$

La unidad de medida son metros.

El valor Z_{ti} para cada punto i en la muestra de n puntos se obtiene de la nube de puntos LiDAR ajustada al terreno (con una exactitud vertical de 0.38 metros de acuerdo con la información de calidad para estos datos y que se describe en el metadato correspondiente), esta es viable aceptarla como el conjunto de valores verdaderos para este caso. El valor Z_{mi} se obtiene directamente del modelo digital de elevación, en este caso, de tipo terreno con resolución de 2.5 metros. Este indicador se calcula por unidades de calidad, o áreas en las cuales se asume homogeneidad en exactitud, en este caso particular se refiere a las áreas con un grado de pendiente similar, siendo posible agregarlas luego en un valor que exprese la exactitud de todo el producto.

Los datos de referencia, es decir, los valores LiDAR cumplen con las siguientes características:

1.- No fueron empleados durante el proceso en ninguna de las etapas para la generación de los modelos digitales de elevación con resolución de 2.5 metros.
2.- Son de mayor exactitud posicional que el modelo a comparar (EMC = 0.38 metros)

Muestreo

El método de muestreo es necesario para seleccionar o ubicar una muestra representativa. El tamaño será el número de sitios o valores para la comparación por razones de tiempo se determinó contar con una muestra de mínimo 25 valores.

El método empleado fue probabilístico / aleatorio simple ya que cada valor tiene una probabilidad igual de ser seleccionado para la comparación. Esto se realizó mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG); a partir del área o polígono que abarca el modelo del sitio o polígono a considerar, se empleó la herramienta para crear puntos aleatoriamente dentro del polígono.

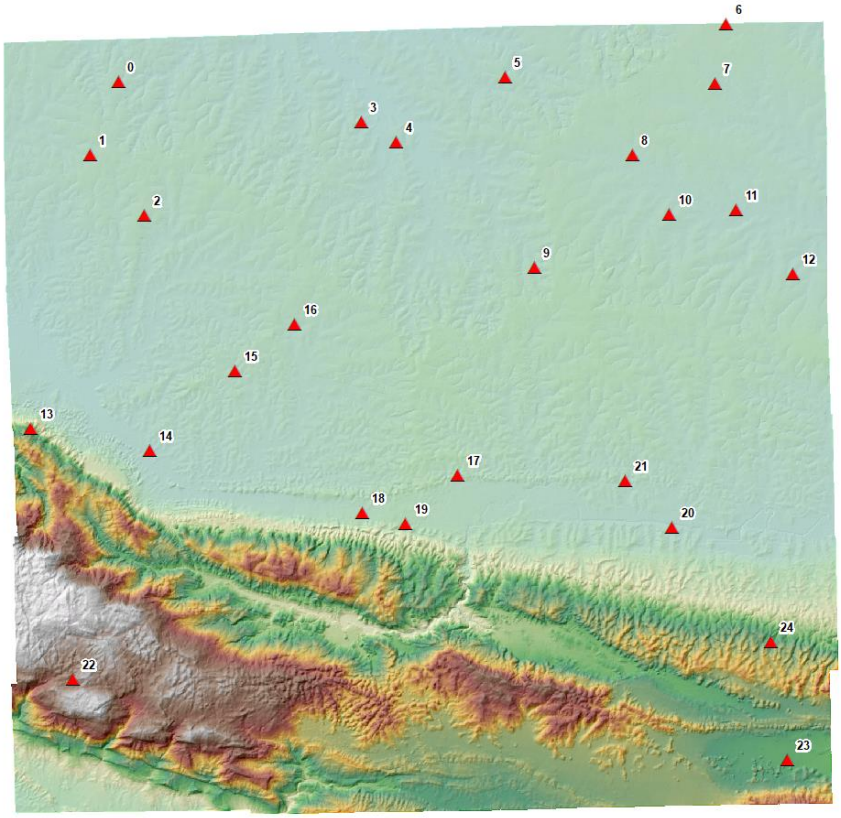


Ilustración 1.- Puntos generados de manera aleatoria en SIG

Una vez creados los puntos, estos mismo fueron utilizados para obtener los puntos LiDAR de terreno más cercano a las coordenadas del punto creado aleatoriamente. Los puntos LiDAR obtenidos de las nubes de puntos son los considerados como los puntos de referencia o valor “real” para este caso.

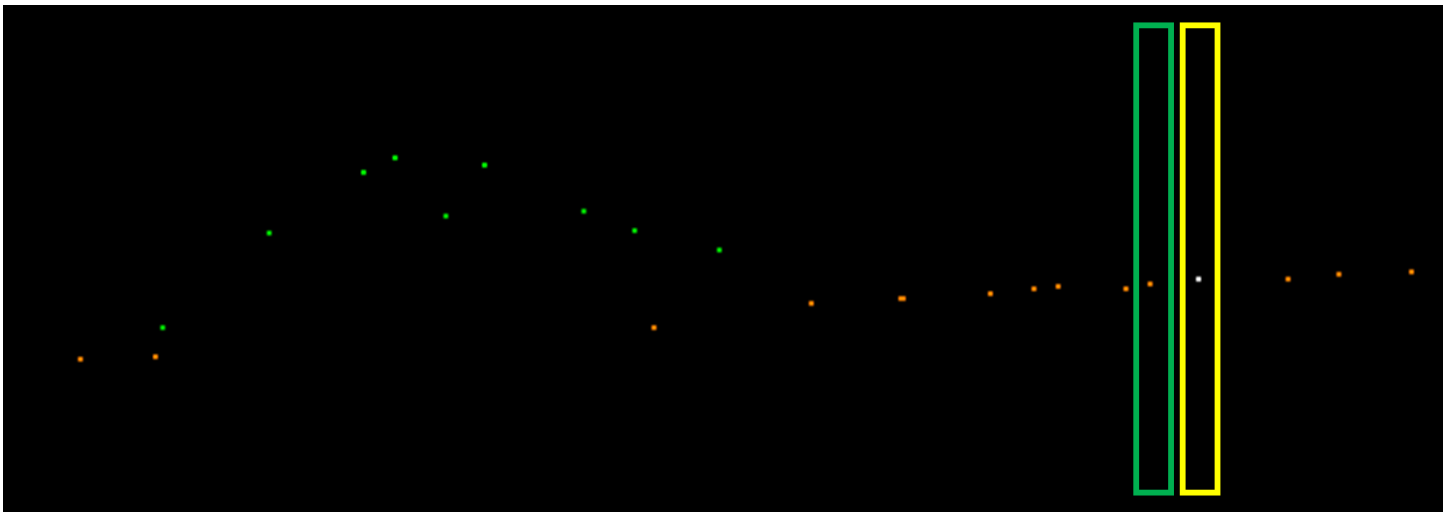


Ilustración 2.- Dentro del polígono color amarillo el punto creado aleatoriamente en SIG, dentro del polígono verde el punto LiDAR de terreno más cercano al punto creado.

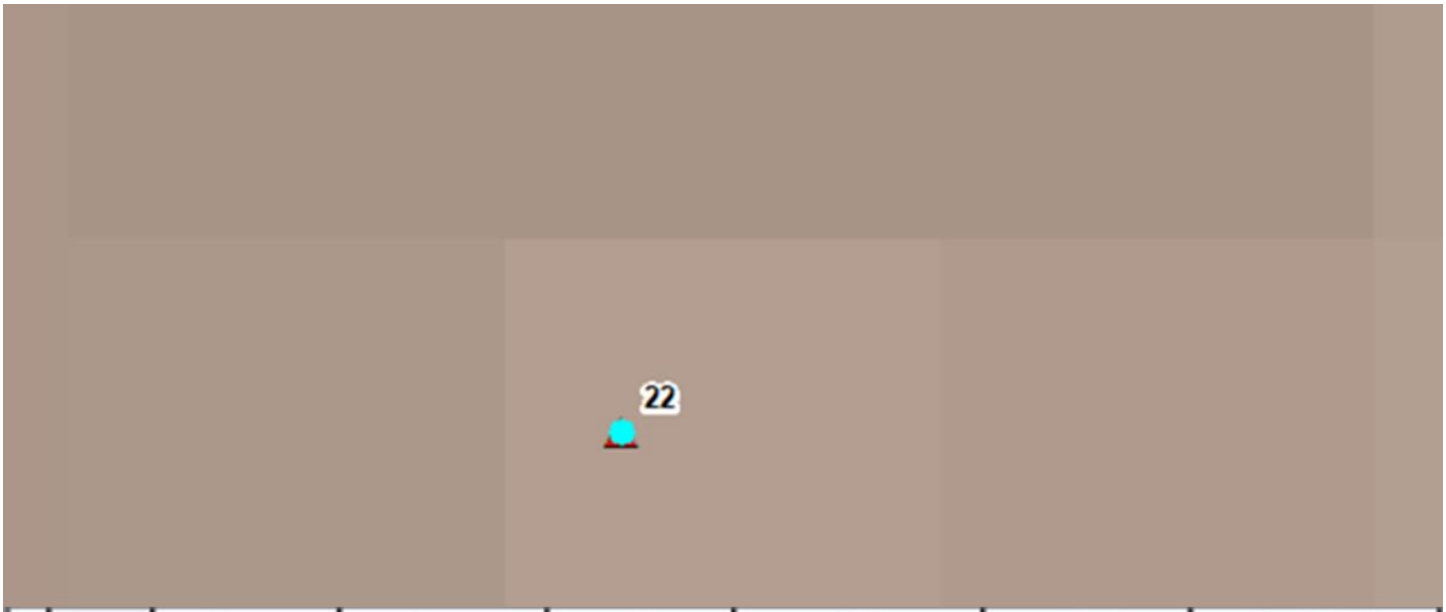
Los puntos LiDAR se convierten en archivo de puntos vectorial y se cargan en el SIG con el fin de mapearlos.

Tabla 1.- Coordenadas y elevación de los puntos LiDAR

	long	lat	Zti
1	-92.09793789000	17.64140989000	45.01
2	-92.10786073000	17.61550336000	53.67
3	-92.08865982000	17.59409893000	59.04
4	-92.01178069000	17.62732602000	33.53
5	-91.99929874000	17.62003499000	33.75
6	-91.96095000000	17.64322139000	46.67
7	-91.88242545000	17.66210928000	55.61
8	-91.88654940000	17.64081783000	48.84
9	-91.91571445000	17.61540644000	46.09
10	-91.95042427000	17.57545696000	45.75
11	-91.90261235000	17.59429333000	47.67
12	-91.87899245000	17.59595381000	33.06
13	-91.85895508000	17.57327056000	46.74
14	-92.12913075000	17.51848265000	216.87
15	-92.08673103000	17.51055072000	29.03
16	-92.05651877000	17.53879000000	45.28
17	-92.03547140000	17.55539334000	47.27
18	-91.97774754000	17.50194604000	55.00
19	-92.01148688000	17.48850794000	60.21
20	-91.99620985000	17.48457285000	76.48
21	-91.90174725000	17.48322346000	46.20
22	-91.91817715000	17.49986547000	43.37
23	-92.11399852000	17.42932931000	736.54
24	-91.86071217000	17.40081256000	252.61
25	-91.86659118000	17.44274423000	282.68

Descripción de la prueba

Una vez creado el archivo vectorial de los puntos LiDAR con sus coordenadas y elevación (Z_{ti}), se creó un campo en la tabla de atributos para asociarle a cada coordenada la elevación del MDT (Z_{mi}) contenida en el píxel ubicado en la misma coordenada.



	FID	Shape	long	lat	Z ti	Z mi	Zmi - Zti
	22	Point ZM	-92.113999	17.429329	736.54	736.75	0.21

Ilustración 3.- Asociación de elevación del MDT a la coordenada del punto LiDAR

Posteriormente se calculó los valores de error de Z ($z\mathrm{mi} - z\mathrm{ti}$) para cada uno de los 25 puntos o coordenadas. Así mismo se obtuvieron los estadísticos básicos.

Tabla 2.- Coordenadas y elevaciones de los puntos LiDAR, elevaciones correspondientes a cada píxel y diferencia entre ambas elevaciones. Y estadísticos básicos

	long	lat	Zti	Zmi	zmi-zti
1	-92.09793789000	17.64140989000	45.01	45.48	0.47
2	-92.10786073000	17.61550336000	53.67	52.11	-1.56
3	-92.08865982000	17.59409893000	59.04	58.44	-0.6
4	-92.01178069000	17.62732602000	33.53	33.15	-0.38
5	-91.99929874000	17.62003499000	33.75	33.64	-0.11
6	-91.96095000000	17.64322139000	46.67	46.89	0.22
7	-91.88242545000	17.66210928000	55.61	56.43	0.82
8	-91.88654940000	17.64081783000	48.84	49.07	0.23
9	-91.91571445000	17.61540644000	46.09	46.21	0.12
10	-91.95042427000	17.57545696000	45.75	44.48	-1.27
11	-91.90261235000	17.59429333000	47.67	47.49	-0.18
12	-91.87899245000	17.59595381000	33.06	32.47	-0.59
13	-91.85895508000	17.57327056000	46.74	46.91	0.17
14	-92.12913075000	17.51848265000	216.87	218.07	1.20
15	-92.08673103000	17.51055072000	29.03	28.67	-0.36
16	-92.05651877000	17.53879000000	45.28	43.75	-1.53
17	-92.03547140000	17.55539334000	47.27	44.96	-2.31
18	-91.97774754000	17.50194604000	55.00	54.51	-0.49
19	-92.01148688000	17.48850794000	60.21	60.05	-0.16
20	-91.99620985000	17.48457285000	76.48	76.16	-0.32
21	-91.90174725000	17.48322346000	46.20	44.98	-1.22
22	-91.91817715000	17.49986547000	43.37	41.27	-2.10
23	-92.11399852000	17.42932931000	736.54	736.75	0.21
24	-91.86071217000	17.40081256000	252.61	253.30	0.69
25	-91.86659118000	17.44274423000	282.68	284.81	2.13

Estadística	Valor
Número	25
Suma	-6.92
Media	-0.2768
Mediana	-0.18
Desv est (pop)	0.992696
Desv est (muestra)	1.01317
Mínimo	-2.31
Máximo	2.13
Rango	4.44
Minoría	-2.31
Mayoría	-2.31
Variedad	25
Q1	-0.6
Q3	0.22
IQR	0.82
Faltan valores (nulos)	0

Para posteriormente calcular el **ECMV = 1.03 metros**.

long	lat	Zti	Zmi	Zmi-Zti	(Zmi-Zti)²
-92.09793789	17.64140989	45.01	45.48	0.47	0.22
-92.10786073	17.61550336	53.67	52.11	-1.56	2.43
-92.08865982	17.59409893	59.04	58.44	-0.60	0.36
-92.01178069	17.62732602	33.53	33.15	-0.38	0.14
-91.99929874	17.62003499	33.75	33.64	-0.11	0.01
-91.96095000	17.64322139	46.67	46.89	0.22	0.05
-91.88242545	17.66210928	55.61	56.43	0.82	0.67
-91.88654940	17.64081783	48.84	49.07	0.23	0.05
-91.91571445	17.61540644	46.09	46.21	0.12	0.01
-91.95042427	17.57545696	45.75	44.48	-1.27	1.61
-91.90261235	17.59429333	47.67	47.49	-0.18	0.03
-91.87899245	17.59595381	33.06	32.47	-0.59	0.35
-91.85895508	17.57327056	46.74	46.91	0.17	0.03
-92.12913075	17.51848265	216.87	218.07	1.20	1.44
-92.08673103	17.51055072	29.03	28.67	-0.36	0.13
-92.05651877	17.53879000	45.28	43.75	-1.53	2.34
-92.03547140	17.55539334	47.27	44.96	-2.31	5.34
-91.97774754	17.50194604	55.00	54.51	-0.49	0.24
-92.01148688	17.48850794	60.21	60.05	-0.16	0.03
-91.99620985	17.48457285	76.48	76.16	-0.32	0.10
-91.90174725	17.48322346	46.20	44.98	-1.22	1.49
-91.91817715	17.49986547	43.37	41.27	-2.10	4.41
-92.11399852	17.42932931	736.54	736.75	0.21	0.04
-91.86071217	17.40081256	252.61	253.30	0.69	0.48
-91.86659118	17.44274423	282.68	284.81	2.13	4.54

∑ (Zmi-Zti)²:	26.55
∑ / n:	1.06
ECMV = √ ∑ / n:	1.03

Conclusiones

La aplicación del indicador de calidad Error Cuadrático Medio Vertical se realizó de acuerdo con la fórmula de cálculo correspondiente al modelo digital de terreno con resolución de 2.5 metros del proyecto de Península Maya de México.

Debido a que el proceso fotogramétrico tiene ciertas limitantes se debe considerar que durante el proceso para la generación de modelos digitales de elevación con resolución de 2.5 metros para el Mapa Topográfico de la Península Maya de México (es decir, para todos los núcleos) se observaron y está indicado por fotogrametría que pueden existir escalones al interior de hasta 3 metros. Algunos de estos escalones pudieron ser tratados y disminuir su magnitud hasta al menos 1 metro.

En teoría a mayor inclinación sobre la horizontal del terreno el error deberá ser mayor y se puede corroborar en los resultados.

Departamento de Modelos Digitales de Elevación
Oficinas Centrales del INEGI
Puerta 8 primer nivel
Tel. 4499105300
Ext. 1034