

## **SECCIÓN 1. Identificación del conjunto de datos espaciales o producto:**

**1.1 Título del conjunto de datos espaciales o producto:** Geoide Gravimétrico Mexicano 2010.

**1.2 Propósito:** Proporcionar un valor confiable de altura geoidal con una precisión de 20 cm, para cualquier punto dentro del Territorio Nacional como insumo indispensable para transformar los valores obtenidos mediante la tecnología de posicionamiento GNSS (altura elipsoidal o geodésica) en valores de altura sobre el nivel medio del mar (altura ortométrica).

**1.3 Descripción del conjunto de datos espaciales o producto:** El GGM10 es un raster de 2.5 minutos de arco (aproximadamente 4.5 kilómetros), que representa alturas geoidales (separación entre el elipsoide geodésico de referencia y la superficie del geoide) medidas en dirección vertical. Cada valor asociado a un pixel representa un valor de altura geoidal promedio que fue calculada para varios puntos dentro de esa área. Los valores de altura geoidal del GGM10 oscilan entre -48 y 6 metros en relación con el elipsoide de referencia.

La superficie que representa el GGM10 es un modelo geoidal de tipo gravimétrico, esto significa que es una superficie perpendicular a la dirección de la fuerza de gravedad. También se puede entender como una superficie de nivel de la altura cero, aproximada al nivel medio del mar que se utiliza como referencia en geodesia para determinar perfiles altimétricos.

Ante modelos geoidales gravimétricos preexistentes con cobertura nacional para México (como EGM96, MEX97, GGM06, EGM2008), el GGM10 se posiciona como una mejor alternativa por sus características de alta resolución y exactitud general mejorada, debido a que fue obtenido con una mayor cantidad de datos de campo de gravedad. Este tipo de geoide de origen gravimétrico es diferente de aquellos otros basados en la técnica de cálculo llamada GPS sobre Bancos de Nivel. El modelado gravimétrico tiene la ventaja de que habilita la capacidad de extenderse hacia zonas lacustres o marinas de forma continua y sin interrupciones de cobertura; además permite el ahorro de recursos puesto que la obtención de datos gravimétricos es ágil y de menor costo en comparación a las técnicas de nivelación requeridas para la técnica de GPS sobre Bancos de Nivel.

Existen varias herramientas que facilitan el acceso al GGM10 por medio de las cuales se pueden consultar valores específicos de altura geoidal, hacer transformaciones de altura geodésica en altura ortométrica, así como visualizar un mapa de cobertura nacional. Este mapa muestra los cambios de altura geoidal que representan las ondulaciones del nivel medio del mar.

**1.4 Idioma del conjunto de datos espaciales o producto:** ES - Español.

**1.5 Categoría del tema del conjunto de datos espaciales o producto:**

**1.5.1 Tema principal del conjunto de datos espaciales o producto:** 6. Información geocientífica: Información perteneciente a las ciencias de la tierra.

**1.5.2 Grupo de datos del conjunto de datos espaciales o producto:** 7. Grupo de datos del marco de referencia geodésico: Subdivisión de la Infraestructura de Datos Espaciales de México que contiene datos referidos a los sistemas de referencia para la ubicación geográfica de puntos de las redes geodésicas horizontal, vertical y

gravimétrica establecidos sobre el territorio nacional. Este Grupo de Datos es fundamental para la georreferencia de todos los demás Grupos de Datos.

**1.6 Palabra clave:** Geoide

**1.7 Tipo:** 5. Tema: La palabra clave que identifica un tema o materia particular.

**1.6 Palabra clave:** Gravedad

**1.7 Tipo:** 5. Tema: La palabra clave que identifica un tema o materia particular.

**1.6 Palabra clave:** México

**1.7 Tipo:** 2. Lugar: La palabra clave identifica un lugar o ubicación cubierto por el conjunto de datos espaciales o producto.

**1.8 Nombre del tesauro:** Diccionario de datos geodésicos 2013

**1.9 Edición:** 2010

**1.10 Forma de presentación de los datos espaciales:** 7. Modelo digital: Representación digital multi-dimensional de un objeto, proceso, etc.

**1.11 Enlace en línea:**

**1.11.1 URL del recurso:** <http://www.inegi.org.mx/>

**1.11.2 Descripción del acceso al recurso:** Página oficial con información geográfica y demográfica de México, donde se puede obtener el recurso con base en las políticas.

**1.12 Frecuencia de mantenimiento y actualización:** 9. No programado: La actualización de los datos no está planeada.

**1.13 Conjunto de caracteres:** 6. 8859parte1: ISO/IEC 8859-1, Tecnologías de la Información - Conjuntos de caracteres gráficos codificados de 8-bit por byte - Parte 1: Alfabeto Latino No.1.

**1.14 Nombre del archivo gráfico:** GGM10.jpg

**1.15 Uso específico:** La DGGMA del INEGI y diversos usuarios externos utilizan los valores de altura geoidal para obtener valores de altura ortométrica del terreno a partir de la altura elipsoidal obtenida de posicionamientos GNSS. En conformidad con lo establecido en la Norma Técnica del Sistema Geodésico Nacional se aplica la fórmula  $H = h - N$ ; donde  $H$ = altura ortométrica,  $h$  = altura elipsoidal y  $N$  = altura geoidal. Con esta información se da soporte a

diversos usuarios de datos de relieve en la generación de datos topográficos, productos cartográficos, modelos digitales de elevación, etc.

## **SECCIÓN 2. Fechas relacionadas con el conjunto de datos espaciales o producto:**

### **2.1 Fechas y eventos:**

**2.1.1 Fecha de referencia del conjunto de datos espaciales o producto:** 2010-12-01

**2.1.2 Tipo de fecha:** 1. Creación: Indicador de la fecha que especifica cuando fue creado el recurso.

### **2.2 Fechas de los insumos tomados para la elaboración del producto o conjunto de datos espaciales:**

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 1987-10-01

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo digital de elevaciones TUG87

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 1995-11-01

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo digital de elevación JGP95

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 1996-10-31

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo geopotencial global de alta resolución, EGM96

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2002-07-31

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo geopotencial global de observación satelital, EIGEN-2S

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2005-04-19

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo digital de elevaciones SRTM

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2005-06-30

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo digital de topodensidad 2005

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2008-10-31

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Modelo geopotencial global de alta resolución, EGM2008

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2010-01-01

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** modelo digital de elevaciones CEM2.0

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2010-05-15

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Valores de aceleración de la gravedad levantados en campo por el DMA de los EEUU..

**2.2.1 Fecha de creación de los insumos:** 2010-10-15

**2.2.2 Fecha de inicio de verificación de campo:**

**2.2.3 Fecha final de verificación de campo:**

**2.2.4 Nombre del insumo:** Valores de aceleración de la gravedad levantados en campo por el INEGI.

**SECCIÓN 3. Unidad del estado responsable del conjunto de datos espaciales o producto:**

**3.1 Nombre de la persona de contacto:** Lic. José de Jesús Esquivel de la Rosa.

**3.2 Nombre de la organización:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.

**3.3 Puesto del contacto:** Subdirector de Comercialización.

**3.4 Teléfono:** (449)9105300 Ext. 5301. Lada 01 800 111 46 34 (sin costo).

**3.5 Fax:**

**3.6 Dirección:** Av. Héroe de Nacozari Sur Núm. 2301. Fracc. Jardines del Parque.

**3.7 Ciudad:** Aguascalientes.

**3.8 Área administrativa:** Aguascalientes.

**3.9 Código postal:** 20276.

**3.10 País:** México.

**3.11 Dirección de correo electrónico del contacto:** [atencion.usuarios@inegi.org.mx](mailto:atencion.usuarios@inegi.org.mx)

**3.12 Enlace en línea (dirección de Internet de referencia):** <http://www.inegi.org.mx/>

**3.13 Rol:** 5. Distribuidor: Parte que distribuye el recurso.

## **SECCIÓN 4. Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto:**

### **4.1 Localización geográfica del conjunto de datos espaciales o producto:**

**4.1.1 Coordenada límite al oeste:** -119.0

**4.1.2 Coordenada límite al este:** -86.0

**4.1.3 Coordenada límite al sur:** 14.0

**4.1.4 Coordenada límite al norte:** 33.0

**4.2 Tipo de representación espacial:** 2. Raster: Los datos malla o cuadrícula se utilizan también para representar datos espaciales.

## **SECCIÓN 5. Sistema de referencia:**

### **5.1 Sistema de Referencia Horizontal:**

#### **5.1.1 Coordenadas Geográficas:**

**5.1.1.1 Resolución de latitud:** 0.04166

**5.1.1.2 Resolución de longitud:** 0.04166

**5.1.1.3 Unidades de coordenadas geográficas:** Grados decimales.

#### **5.1.2 Coordenadas Planas:**

##### **5.1.2.1 Proyección Cartográfica:**

**5.1.2.1.1 Cónica Conforme de Lambert:**

**5.1.2.1.1.1 Paralelo estándar:**

**5.1.2.1.1.2 Longitud del meridiano central:**

**5.1.2.1.1.3 Latitud del origen de proyección:**

**5.1.2.1.1.4 Falso este:**

**5.1.2.1.1.5 Falso norte:**

**5.1.2.1.2 Transversa de Mercator:**

**5.1.2.1.2.1 Factor de escala en el meridiano central:**

**5.1.2.1.2.2 Longitud del meridiano central:**

**5.1.2.1.2.3 Latitud del origen de proyección:**

**5.1.2.1.2.4 Falso este:**

**5.1.2.1.2.5 Falso norte:**

**5.1.2.1.3 Mercator:**

**5.1.2.1.3.1 Paralelo estándar:**

**5.1.2.1.3.2 Factor de escala en el ecuador:**

**5.1.2.1.3.3 Longitud del meridiano central:**

**5.1.2.1.3.4 Falso este:**

**5.1.2.1.3.5 Falso norte:**

**5.1.2.1.4 Transversa Modificada Ejidal:**

**5.1.2.1.4.1 Factor de escala en el meridiano central:**

**5.1.2.1.4.2 Longitud del meridiano central:**

**5.1.2.1.4.3 Latitud del origen de proyección:**

**5.1.2.1.4.4 Falso este:**

**5.1.2.1.4.5 Falso norte:**

**5.1.2.1.5 Definición de otra proyección:**

**5.1.2.2 Sistema de Coordenadas de Cuadrícula:**

**5.1.2.2.1 Universal Transversa de Mercator:**

**5.1.2.2.1.1 Número de zona UTM:**

**5.1.2.2.1.2 Factor de escala en el meridiano central:**

**5.1.2.2.1.3 Longitud del meridiano central:**

**5.1.2.2.1.4 Latitud del origen de proyección:**

**5.1.2.2.1.5 Falso este:**

**5.1.2.2.1.6 Falso norte:**

**5.1.2.3 Plana Local:**

**5.1.2.3.1 Descripción de la Plana Local:**

**5.1.2.3.2 Información de Georreferencia de la Plana Local:**

**5.1.2.4 Información de coordenadas planas:**

**5.1.2.4.1 Método codificado de coordenada plana:**

**5.1.2.4.2 Representación de coordenadas:**

**5.1.2.4.2.1 Resolución de abscisa:**

**5.1.2.4.2.2 Resolución de ordenada:**

**5.1.2.4.3 Representación de distancia y rumbo:**

**5.1.2.4.3.1 Resolución de distancia:**

**5.1.2.4.3.2 Resolución de rumbo:**

**5.1.2.4.3.3 Unidades de rumbo:**



**5.1.2.4.3.4 Dirección del rumbo de referencia:**

**5.1.2.4.3.5 Meridiano del rumbo de referencia:**

**5.1.2.4.4 Unidades de distancia plana:**

**5.1.3 Coordenadas Locales:**

**5.1.3.1 Descripción Local:**

**5.1.3.2 Información de Georreferenciación Local:**

**5.1.4 Modelo geodésico:**

**5.1.4.1 Nombre del datum horizontal:** ITRF08 época 2010.0.

**5.1.4.2 Nombre del elipsoide:** Sistema Geodésico de Referencia de 1980 (GRS80).

**5.1.4.3 Semieje mayor:** 6378137.0

**5.1.4.4 Factor de denominador de achatamiento:** 298.2572221

**5.2 Sistema de Referencia Vertical:**

**5.2.1 Definición del sistema de altitud :**

**5.2.1.1 Nombre del datum de altitud:** Elipsoide GRS80

**5.2.1.2 Resolución de altitud:** 0.01

**5.2.1.3 Unidades de distancia de altitud:** Metros.

**5.2.1.4 Método codificado de altitud:** Coordenada de elevación explícita incluida con coordenadas horizontales.

**5.2.2 Definición del sistema de profundidad:**

**5.2.2.1 Nombre del datum de profundidad:**

**5.2.2.2 Resolución de profundidad:**

**5.2.2.3 Unidades de distancia de profundidad:**

**5.2.2.4 Método codificado de profundidad:**

## **SECCIÓN 6. Calidad de la información:**

**6.1 Alcance o ámbito:**

**6.1.1 Nivel:** 5. Conjunto de datos espaciales: Información aplicada al conjunto de datos espaciales.

**6.2 Reporte:**

**6.2.1 Completitud:**

**6.2.1.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:**

**6.2.1.1.1 Nombre de la prueba:**

**6.2.1.1.2 Descripción de la prueba:**

**6.2.1.1.3 Resultado:**

**6.2.1.1.3.1 Resultado cuantitativo:**

**6.2.1.1.3.1.1 Unidad de valor:**

**6.2.1.1.3.1.2 Valor:**

**6.2.2 Consistencia lógica:**

**6.2.2.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:**

**6.2.2.1.1 Nombre de la prueba:**

**6.2.2.1.2 Descripción de la prueba :**

**6.2.2.1.3 Resultado:**

**6.2.2.1.3.1 Resultado cuantitativo:**

#### **6.2.2.1.3.1.1 Unidad de valor:**

#### **6.2.2.1.3.1.2 Valor:**

### **6.2.3 Exactitud posicional:**

#### **6.2.3.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:** Exactitud posicional vertical absoluta.

##### **6.2.3.1.1 Nombre de la prueba:** Confiabilidad posicional del GGM10

##### **6.2.3.1.2 Descripción de la prueba:** Ámbito de evaluación: valores de altura geoidal del Geoide

Gravimétrico Mexicano 2010.

Tipo de inspección: completa

Tipo de muestreo: no se aplica

Tamaño de la muestra: no se aplica

Porcentaje de la muestra: no se aplica

Explicación de la prueba: Inicialmente se efectuó un recorte de cobertura de los modelos EGM2008, CGG2010 y USGG09 tomando como base la cobertura del modelo GGM10. Posteriormente, para comparar el GGM10 contra los modelos de referencia, se aplicaron los siguientes pasos:

- Se aplicó una generalización al GGM10 para calcular un sólo valor promedio por cada cuatro pixeles y de esta manera lograr una resolución de 5 minutos de arco que estuviera en correspondencia con la resolución de los datos de referencia del EGM2008. Luego se hizo una comparación pixel a pixel de los valores de altura geoidal en el GGM10 contra los datos de referencia, obteniéndose un valor de error por cada pixel de 5 minutos. Se calculó la desviación estándar de las diferencias de valores.
- A los modelos CGG2010 y USGG09, que originalmente tienen resolución de 2 y 1 minutos respectivamente, se les aplicó una generalización similar para calcular un valor promedio por cada celda de 2.5 minutos, en correspondencia con la resolución original del GGM10. Luego se hizo una comparación pixel a pixel de los valores de altura geoidal en el GGM10 contra los datos de referencia, obteniéndose un valor de error por cada pixel de 2.5 minutos. Se calculó la desviación estándar de las diferencias de valores en cada modelo de referencia.
- De los tres valores de desviación estándar obtenidos, se calculó el valor promedio de desviaciones estándar.

Nombre del indicador: desviación estándar

Qué expresa el indicador: grado de confiabilidad de los valores de altura geoidal del GGM10.

Datos de referencia: valores de altura geoidal de los modelos geoidales EGM2008, CGG2010 y USGG09.

Fecha o período de realización: noviembre-diciembre de 2010.

Evaluador: Departamento del Geoide.

##### **6.2.3.1.3 Resultado:**

##### **6.2.3.1.3.1 Resultado cuantitativo:**

**6.2.3.1.3.1.1 Unidad de valor:** Metros.

**6.2.3.1.3.1.2 Valor:** 0.20

**6.2.4 Exactitud temporal:**

**6.2.4.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:**

**6.2.4.1.1 Nombre de la prueba:**

**6.2.4.1.2 Descripción de la prueba:**

**6.2.4.1.3 Resultado:**

**6.2.4.1.3.1 Resultado cuantitativo:**

**6.2.4.1.3.1.1 Unidad de valor:**

**6.2.4.1.3.1.2 Valor:**

**6.2.5 Exactitud temática:**

**6.2.5.1 Nombre del subcriterio de calidad evaluado:**

**6.2.5.1.1 Nombre de la prueba:**

**6.2.5.1.2 Descripción de la prueba:**

**6.2.5.1.3 Resultado:**

**6.2.5.1.3.1 Resultado cuantitativo:**

**6.2.5.1.3.1.1 Unidad de valor:**

**6.2.5.1.3.1.2 Valor:**

**6.3 Linaje:**

**6.3.1 Enunciado:** El modelo geoidal gravimétrico GGM10 se crea como una representación de la forma que adopta el nivel del mar en el Territorio Nacional basado exclusivamente en información del campo de gravedad. La producción del modelo GGM10 se basa en la técnica de cálculo llamada Stokes-Helmert, con fundamento teórico y

software propiedad de la universidad de New Brunswick (UNB), Canadá. De manera general, esta técnica propone utilizar datos de aceleración de la gravedad levantados en campo y por satélite, para crear un modelo detallado de las variaciones en el campo de gravedad sobre una zona de interés. Para la zona de influencia de México (definida entre las coordenadas de 14° a 33° de latitud norte y de 86° a 119° de longitud oeste) se modeló el campo de gravedad y mediante un análisis especializado que relaciona el comportamiento del campo de gravedad con la superficie del nivel del mar se determinó el modelo de alturas geoidales.

Para crear este producto se implementó la información más actualizada de misiones satelitales así como el modelo geopotencial alemán llamado EIGEN02S y los levantamientos terrestres recientes del INEGI. Adicionalmente se implementó la última actualización en software para los cálculos conocidos como la continuación descendente y la integración de Stokes.

Algunas fuentes de información sobre la técnica y el procesamiento del GGM10 se pueden consultar en:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/>

<http://www2.unb.ca/gge/Pubs/ObtainingPubs.html>

### **6.3.2 Pasos del proceso:**

**6.3.2.1 Descripción:** La documentación del proceso de determinación del modelo nacional de alturas geoidales, contempla 5 etapas descritas a continuación en forma general. Al lector especializado se le recomienda revisar el reporte técnico llamado El Geoide Gravimétrico Mexicano 2010, que contiene mayores detalles sobre las etapas de tratamiento de información y cálculo geoidal.

#### **6.3.2.1 Descripción: Etapa 1.**

a) Planeación y documentación metodológica.

Es la fase en la que se generan o actualizan los manuales metodológicos para: la adquisición y validación de los datos insumo, el flujo y procesamiento de datos y las formas de entrega del modelo digital de alturas geoidales con cobertura nacional. También en esta etapa se recopilan reportes técnicos sobre la calidad de nuevos conjuntos de datos geodésicos con uso potencial para este proceso.

#### **6.3.2.1 Descripción: Etapa 2.**

b) Acopio de nuevos datos.

Con base en la recomendación de los reportes técnicos, en esta etapa se gestiona e integra la información de datos geodésicos apropiados para el cálculo del modelo geoidal, consistente en el banco de datos gravimétricos actualizado, así como modelos digitales de elevación locales y mundiales, modelo digital de densidad del suelo y el modelo geopotencial global. El nombre concreto de los insumos se enlista en la sección 2.2

#### **6.3.2.1 Descripción: Etapa 3.**

c) Tratamiento de la información.

Con el fin de integrar la información colectada en un conjunto de datos compatible y de formatos homogéneos, en esta etapa se aplican procesos de unificación de unidades de medida, de resolución y cobertura normalizados. A

continuación se enlistan los criterios de unificación por tipo de insumo:

- Modelos digitales de resolución de 1 segundo de arco en archivos de cobertura 1° por 1° en formato binario, dentro del área de latitud de 6° a 40° y longitud de 79° a 126° Oeste. Estos modelos digitales se integraron con información del CEM.2.0 en cobertura nacional y SRTM en la cobertura complementaria hasta los bordes de latitud 6° a 40° y de 78° a 127°.
- Modelo digital de elevación SRTM de 30 segundos de arco en un archivo de cobertura latitud de 4° a 42° y longitud de 76° a 129° Oeste en formato de texto.
- Modelo digital de elevación de resolución a 2.5 minutos de arco derivado de SRTM en un archivo de cobertura latitud de 4° a 42° y longitud de 76° a 129° Oeste en formato de texto.
- Modelo digital de elevación JGP95 de resolución a 1 grado con cobertura mundial completa en formato de texto. Modelo digital de elevaciones TUG87 en formato de coeficientes armónicos en grado y orden 90.
- Modelo geopotencial global de satélite EIGEN02S y EGM96 en formato de coeficientes armónicos.
- Modelo digital de densidad del terreno 2005 en resolución de 2.5 minutos de arco con cobertura nacional de México en formato de texto.
- Valores de anomalía de gravedad de aire libre derivados de Valores de aceleración de gravedad levantados en campo depurado bajo criterios de magnitud de anomalía y ubicación geográfica. Se genera un listado en formato unificado de texto.
- Valores de anomalía de gravedad de aire libre derivados del modelo geopotencial EGM2008 para cubrimiento de zonas marinas en formato de texto. Se genera un listado en formato unificado de texto.

#### **6.3.2.1 Descripción: Etapa 4.**

##### **d) Cálculo geoidal.**

En esta etapa se producen modelos digitales del campo de gravedad en secuencia como pasos intermedios para producir el modelo de alturas geoidales:

- Anomalía de gravedad de Bouguer completa. Se calculó aplicando un proceso especializado de interpolación, partiendo de datos de anomalía de aire libre medidos en campo, integrados en un sólo archivo, agregando a cada punto los efectos de placa de Bouguer y de rugosidad del terreno derivados de los modelos digitales de elevación en resoluciones de 1 segundo, 30 segundos, 2.5 minutos y 1 grado.
- Anomalía de aire libre. Calculada a través de una interpolación de anomalías de Bouguer completa y sustrayendo los efectos de placa de Bouguer y de rugosidad del terreno adaptados en formato de malla regular.
- Efecto topográfico directo. Fue calculado con una aproximación esférica considerando la topografía de cobertura global tomando como insumo los modelos digitales de terreno en resoluciones de 1 segundo, 30 segundos, 2.5 minutos y el TUG87.
- Efecto atmosférico directo. Se derivó de un modelo simplificado de segundo orden de densidad atmosférica en función de la altura. Los valores de altura se tomaron del modelo digital de terreno con resolución 2.5 minutos.
- Efecto de variaciones laterales de densidad del terreno. Partiendo del modelo digital de resolución 2.5 minutos y del Modelo digital de densidad del terreno 2005, se calculó esta parte del efecto topográfico de acuerdo a Huang et al. 2001, en su documento Effect of topographical density on geoid in the Canadian Rocky Mountains.
- Efecto topográfico secundario indirecto. Fue calculado con una aproximación esférica considerando la topografía de cobertura global tomando como insumo los modelos digitales de terreno en resoluciones de 30 segundos, 2.5 minutos y el TUG87.

- Corrección geoide-cuasigeoide. Calculado con el modelo de anomalías de aire libre en formato de malla regular del modelo digital de terreno en resolución 2.5 minutos.
- Anomalía de gravedad de Helmert sobre el terreno y sobre el geoide. La primera se calculó partiendo del modelo de anomalía de aire libre, transformándola al espacio de Helmert mediante la adición del efecto topográfico directo, el efecto topográfico secundario indirecto, el efecto atmosférico directo, la corrección geoide-cuasigeoide y el efecto de variaciones laterales de densidad del terreno. La segunda se calculó aplicando un efecto de continuación descendente hasta el nivel del geoide considerando la topografía circundante en cada punto de cálculo según los modelos digitales de terreno en resolución 1 segundo.
- Correcciones elipsoidales por aproximación esférica. Se calculó para precisar las estimaciones de perturbación de la gravedad hechas en aproximación esférica, partiendo del modelo geopotencial global EGM96.
- Campo de gravedad de referencia de baja frecuencia. Con base en el modelo geopotencial global EIGEN02S se extrajo el campo de anomalías de Helmert en resolución de grado 40, en el formato de coeficientes armónicos.
- El esferoide de referencia de baja frecuencia. En correspondencia con el punto anterior se creó el modelo de alturas geoidales de baja frecuencia en el espacio de Helmert con base en el modelo geopotencial EIGEN02S al mismo grado 40 de resolución.
- Geoide en el espacio de Helmert. Partiendo del modelo de anomalía de Helmert sobre el geoide se restó el campo de gravedad de referencia de baja frecuencia y se aplicó la integral de Stokes en dos partes, una considera el campo de gravedad cercano a cada punto de cálculo hasta 5° (unos 540 km) y otra parte considera el campo de gravedad lejano (desde 5° hasta 180°) con información del modelo EGM96. Posteriormente se efectuó una suma de tres modelos de altura geoidal complementarios para obtener el geoide de Helmert: el esferoide de referencia de baja frecuencia, el geoide residual de zona cercana y la contribución por zona lejana.
- Efecto topográfico secundario indirecto. Fue calculado con una aproximación esférica considerando la topografía de cobertura global tomando como insumo los modelos digitales de terreno en resoluciones de 30 segundos, 2.5 minutos y el TUG87.

En cada uno de estos modelos se realizaron verificaciones para detectar si existían faltantes de información y/o fallas de continuidad. En tales casos se realizaban análisis, se determinaban modificaciones y se repetía el proceso hasta cumplir los requisitos establecidos para cada tipo de revisión (ver reportes de control de calidad).

Luego de haber concluido los pasos anteriores, se obtiene el modelo de alturas geoidales mediante la suma del geoide en el espacio de Helmert y el efecto topográfico secundario indirecto.

#### **6.3.2.1 Descripción: Etapa 5.**

e) Generación de productos.

Con el procedimiento descrito en la etapa anterior se obtiene el archivo raster de altura geoidal en formato de texto; no obstante con motivo de hacer accesible el modelo geoidal definitivo a los usuarios, se generó una serie de herramientas de consulta que se enlistan a continuación:

- Carta de alturas geoidales. Elemento cartográfico en escala de 1:4000000, con formato digital de archivo JPG en resolución de 300 dpi.
- Sistema de consulta en internet. Accesible desde la página [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), este sistema permite al usuario introducir la coordenada de un punto o de varios puntos de interés para obtener el valor de altura geoidal correspondiente, o bien descargar el modelo GGM10 en coberturas personalizadas.

- Sistema de interpolación de alturas geoidales. Es un archivo ejecutable que el usuario puede instalar en su computadora para consultar valores de altura geoidal del modelo GGM10, sin necesidad tener acceso a internet.
- Formatos especiales. Además del formato de texto original se produjeron algunos formatos de tipo binario con la información del GGM10, desarrollados expresamente para incorporar el modelo de forma automática en algunos dispositivos de posicionamiento GNSS y/o en software comercial de procesamiento de señales GNSS.

#### **6.3.2.1 Descripción: TECNOLOGÍA EMPLEADA:**

Software científico SHGEO, versión actualizada a abril de 2009, Universidad de New Brunswick (UNB), Canadá; software libre, sistema operativo Linux Slackware 13.1, Generic Mapping Tools 4.5.

#### **6.3.2.1 Descripción: CONTROL DE CALIDAD: Completitud de valores de atributo.**

CRITERIO: Completitud.

SUBCRITERIO: omisión

ÁMBITO DE LA REVISIÓN: valores de atributo en 16 temas: Anomalía de gravedad de aire libre, Corrección de terreno, Anomalía de gravedad de Bouguer completa, Efecto topográfico directo, Efecto atmosférico directo, Corrección de gravedad por efecto de la densidad anómala al interior del terreno, Efecto topográfico indirecto secundario, Corrección geoide-cuasigeoide, Correcciones elipsoidales, Anomalía de gravedad de Helmert sobre el terreno, Anomalía de gravedad de Helmert sobre el geoide, Anomalía de gravedad de referencia satelital, Geoide residual de Helmert, Geoide de referencia satelital, Efecto topográfico indirecto primario, así como en el modelo integral de alturas geoidales.

INSPECCIÓN: completa.

EXPLICACIÓN DE LA REVISIÓN: por medio de una herramienta automatizada se verificó que no existieran píxeles sin valor.

NIVEL DE CONFORMIDAD DE CALIDAD: 0% de píxeles sin valor

RESULTADOS DE LA REVISIÓN: 0 píxeles sin valor

EVALUADORES: Departamento del Geoide.

OBSERVACIONES: cuando se detectaban píxeles sin valor asignado se hizo el análisis correspondiente, se aplicaron correcciones y se repetía el proceso y la ejecución de la herramienta automatizada. Este procedimiento se repitió hasta que no se detectaron píxeles sin valor en cada tema.

#### **6.3.2.1 Descripción: CONTROL DE CALIDAD: Detección visual de inconsistencias**

CRITERIO: Consistencia lógica.

SUBCRITERIO: no se aplica

ÁMBITO DE LA REVISIÓN: valores de atributo en 16 temas: Anomalía de gravedad de aire libre, Corrección de terreno, Anomalía de gravedad de Bouguer completa, Efecto topográfico directo, Efecto atmosférico directo, Corrección de gravedad por efecto de la densidad anómala al interior del terreno, Efecto topográfico indirecto secundario, Corrección geoide-cuasigeoide, Correcciones elipsoidales, Anomalía de gravedad de Helmert sobre el terreno, Anomalía de gravedad de Helmert sobre el geoide, Anomalía de gravedad de referencia satelital, Geoide residual de Helmert, Geoide de referencia satelital, Efecto topográfico indirecto primario, así como en el modelo integral de alturas geoidales.

INSPECCIÓN: completa.

EXPLICACIÓN DE LA REVISIÓN: el archivo raster de coordenadas y valores es convertido a un mapa que muestra



la distribución espacial de los valores en un código de colores. Se realizó una inspección visual de cada zona del mapa para identificar inconsistencias (desplazamientos, discontinuidades o elevaciones extrañas). La detección de inconsistencias se hizo con base en la experiencia y el conocimiento de modelos elaborados previamente. Se contabilizaron las inconsistencias y para cada una se realizó un análisis y se determinó una solución.

NIVEL DE CONFORMIDAD DE CALIDAD: no se aplica

RESULTADOS DE LA REVISIÓN: 0% de inconsistencias en la prueba final aplicada a cada tema.

EVALUADORES: Departamento del Geoide.

OBSERVACIONES: ejemplos de fuentes de inconsistencias son: asignación incorrecta de parámetros de ejecución del software, formatos o nombres de archivo incorrectos en los insumos y valores de entrada defectuosos. Cuando se detectaron inconsistencias se hizo el análisis correspondiente, se aplicaron correcciones y se repitió el proceso y la revisión visual el número de veces necesario hasta no detectar inconsistencias.

### **6.3.3 Fuente:**

**6.3.3.1 Descripción:** Fuente 1: Red geodésica gravimétrica de México, corte a mayo de 2010, modelo digital de elevaciones CEM2.0 con resolución a 1 segundos de arco, Modelo digital de topodensidad 2005, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Fuente 2: Banco de datos gravimétricos de Centroamérica y el Caribe, 1980, Defense Mapping Agency, Estados Unidos de América.

Fuente 3: Modelo digital de elevaciones SRTM resolución a 3 segundos, National Air and Space Administration (NASA, Estados Unidos de América).

Fuente 4: Modelo digital de elevación JGP95, National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 1995.

Fuente 5: Modelo de anomalías de gravedad derivadas del EGM2008, resolución 5 minutos, y Modelo de alturas geoidales de resolución 5 minutos, derivado del EGM2008, National Geospatial Intelligence Agency (NGA).

Fuente 6: Modelo digital de elevaciones TUG87, en formato de coeficientes armónicos grado 90, Universidad Técnica de Graz.

Fuente 7: Modelo geopotencial global de observación satelital, EIGEN02S Centro Alemán de Investigación Geoespacial (GFZ).

## **SECCIÓN 7. Entidades y atributos:**

### **7.1 Descripción general de entidades y atributos:**

### **7.2 Cita del detalle de entidades y atributos:**

## **SECCIÓN 8. Distribución:**

**8.1 Restricciones de acceso:** 8. Acceso al público a través de Internet y los Centros de Información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.

**8.2 Restricciones de uso:** 8. Ninguna.

**8.3 Responsabilidad de distribución:** El INEGI no se hace responsable del uso que usted le dé a los datos.

**8.4 Formato de distribución:**

**8.4.1 Nombre del formato:** Dat

**8.4.2 Versión del formato:** No aplica.

## **SECCIÓN 9. Información del contacto para los metadatos:**

**9.1 Nombre del estándar de metadatos:** ISO 19115 Información Geográfica - Metadatos (Norma Técnica para Metadatos).

**9.2 Versión de la norma de metadatos:** 2003 (1.0).

**9.3 Idioma de los Metadatos:** ES - Español.

**9.4 Punto de contacto para los Metadatos:**

**9.4.1 Nombre de la persona de contacto:** Lic. Rafael Arrioja Urzúa.

**9.4.2 Nombre de la organización:** Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.

**9.4.3 Puesto del contacto:** Jefe del Departamento de Administración de Metadatos.

**9.4.4 Teléfono:** (449)9105300 Ext. 1750 y 5631.

**9.4.5 Fax:** (449)4424145.

**9.4.6 Dirección:** Av. Héroe de Nacozari Sur Núm. 2301. Fracc. Jardines del Parque.

**9.4.7 Ciudad:** Aguascalientes.

**9.4.8 Área administrativa:** Aguascalientes.

**9.4.9 Código postal:** 20276

**9.4.10 País:** México

**9.4.11 Dirección de correo electrónico del contacto:** rafael.arrioja@inegi.org.mx

**9.4.12 Rol:** 7. Punto de contacto: Parte que puede ser contactada para informarse sobre el recurso o adquisición del mismo.

**9.5 Fecha de los metadatos:** 2015-10-27

**9.6 Conjunto de caracteres:** 6. 8859parte1: ISO/IEC 8859-1, Tecnologías de la Información - Conjuntos de caracteres gráficos codificados de 8-bit por byte - Parte 1: Alfabeto Latino No.1.