

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Colegio de Postgrados

**SIG aplicado al Cálculo de los valores de altura ortométrica
usando un Modelo de Ondulación Geoidal
para el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador**

Patricio Javier Zurita Lozada

**Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de
Maestría en Sistemas de Información Geográfica**

Quito, Mayo 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**SIG aplicado al Cálculo de los valores de altura ortométrica
usando un Modelo de Ondulación Geoidal
para el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador**

Patricio Javier Zurita Lozada

Richard Resl, MSc.
Director de Tesis y
Director del Programa de Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Anton Eitzinger, MSc.
Miembro del Comité de Tesis

Stella de la Torre, Ph.D.
Decana del Colegio de
Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.
Decano del Colegio de Postgrados

Quito, Mayo 2012

© **Derechos de autor:** Según la actual Ley de Propiedad Intelectual, Art. 5:

“el derecho de autor nace y se protege por el solo hecho de la creación de la obra, independientemente de su mérito, destino o modo de expresión... El reconocimiento de los derechos de autor y de los derechos conexos no está sometido a registro, depósito, ni al cumplimiento de formalidad alguna.”
(Ecuador. Ley de Propiedad Intelectual, Art. 5)

Patricio Javier Zurita Lozada
2012

RESUMEN

Tradicionalmente, para obtener los valores de altura de cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, se tenían que realizar procesos directos de toma de datos, por ejemplo efectuar la nivelación geométrica, la que involucra para su ejecución costos muy elevados y tiempos muy extensos.

La tendencia actual en cuanto al uso de las tecnologías es aprovechar su funcionalidad al máximo implicando el mínimo de recursos para su ejecución. Este es el caso de las tecnologías satelitales como el GPS (Global Positioning System) y GNSS (Global Navigation Satellite System), las cuales a través de un proceso de cálculo han simplificado la obtención de coordenadas tanto horizontales como verticales.

El presente estudio tiene por objeto brindar una herramienta ágil y precisa a los usuarios que permita obtener un valor de altura muy aproximado al valor real, en el Distrito Metropolitano de Quito.

ABSTRACT

Traditionally, to obtain high values of any point on the surface of the Earth, they had to perform direct processes of data collection, such as geometric level effect, which involves very high costs and a long time in order to run.

Technology's actual tendency is to approach all its functionality to the top involving minimal resources for its execution. This is the case of satellite technologies such as GPS (Global Positioning System) and GNSS (Global Navigation Satellite System), which through a calculation process has been simplified to obtain horizontal and vertical coordinates.

The present study aims to provide a swift and accurate tool for users to obtain a height value very close to the real value in the Metropolitan District of Quito.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. ASPECTOS GENERALES | 2 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1.1. ANTECEDENTES | 2 |
| 1.1.2. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1.4. OBJETIVOS | 3 |
| 1.1.4.1. Objetivo General | 3 |
| 1.1.4.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 1.1.5. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO | 4 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 5 |
| 2.1. SUPERFICIES DE REFERENCIA | 5 |
| 2.1.1. Geoide | 6 |
| 2.1.2. Elipsoide | 7 |
| 2.2. ALTURAS Y MÉTODOS DE DETERMINACIÓN | 8 |
| 2.2.1. Altura nivelada | 8 |
| 2.2.2. Altura elipsoidal (h) | 9 |
| 2.2.3. Altura ortométrica (H) | 10 |
| 2.2.4. Ondulación Geoidal (N) | 10 |
| 3. METODOLOGIA | 11 |
| 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE INFORMACION | 11 |
| 3.2 RECOPIACION DE INFORMACION | 12 |
| 3.2.1. Conexión con la cartografía básica | 13 |
| 3.2.2. Generación del Modelo de Ondulación Geoidal para Quito | 15 |
| 3.2.3. Método de Interpolación | 16 |
| 3.3. SINCRONIZACION DE ARCGIS 9.3 Y GOOGLE EARTH | 18 |
| 3.4. OBTENCION DE LOS VALORES DE ALTURA ORTOMETRICA DE LOS PUNTOS INGRESADOS | 21 |
| 3.4.1. Ingreso de Puntos | 22 |
| 3.4.2. ModelBuilder | 23 |
| 3.4.3. Creación de un Feature desde un archivo de texto | 23 |
| 3.4.4. Obtención del valor de la Ondulación Geoidal de un punto | 26 |
| 3.4.5. Obtención del valor de la Altura Ortométrica de un punto | 27 |
| 3.4.6. Phyton | 31 |
| 3.5. BARRA DE HERRAMIENTAS “MODELO QUITO” | 32 |
| 3.5.1. Botón “SyncArcGE” | 33 |
| 3.5.2. Botón “Ingresa Información” | 33 |
| 3.5.3. Botón “Carga Información” | 35 |
| 3.5.4. Botón “Modelo Geoidal” | 36 |
| 4. RESULTADOS | 38 |
| 4.1 MODELO DE ONDULACION GEOIDAL | 38 |
| 4.2 PROGRAMACION EN VISUAL BASIC Y SU INTERACCION CON MODELO BUIDER | 39 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 41 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 41 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 43 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Croquis de Ubicación | 4 |
| Figura 2. Tipos de Superficies Terrestres | 6 |
| Figura 3. Geoide | 7 |
| Figura 4. Elipsoide | 7 |
| Figura 5. Parámetros del Elipsoide | 8 |
| Figura 6. Proceso de Nivelación Geométrica | 9 |
| Figura 7. Altura Elipsoidal | 10 |
| Figura 8. Diagrama de Flujo de la Información | 12 |
| Figura 9. Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador | 13 |
| Figura 10. Obtención de Layers a través de un servidor web WMS | 14 |
| Figura 11. Límite y distribución de los puntos para la generación del Modelo Geoidal | 15 |
| Figura 12. Datos ingresados para la generación del Modelo Geoidal | 17 |
| Figura 13. Modelo Geoidal resultante de la interpolación de datos | 17 |
| Figura 14. Descarga del programa Sincronizador de ArcGIS y Google Earth | 18 |
| Figura 15. Utilización del Editor de Visual Basic | 19 |
| Figura 16. Importación de archivos para el Sincronizador ArcGE | 20 |
| Figura 17. Creación del botón para la rutina de SyncArcGE | 20 |
| Figura 18. Creación del Botón en la barra de Herramientas de ArcMap | 21 |
| Figura 19. Configuración del archivo de texto compatible con ArcGIS | 22 |
| Figura 20. Proceso de Creación de un Feature a partir de un archivo de texto | 23 |
| Figura 21. Configuración de la Herramienta Create Features from Text File | 24 |
| Figura 22. Herramienta Add XY Coordinates | 25 |
| Figura 23. Extracción de Coordenadas X, Y, Z | 25 |
| Figura 24. Herramienta Add XY Coordinates en Model Builder | 25 |
| Figura 25. Herramienta Extract Values to Points en Model Builder | 26 |
| Figura 26. Configuración de la Herramienta Extract Values to Points | 26 |
| Figura 27. Extracción del valor de ondulación del ráster Modelo1 | 27 |
| Figura 28. Proceso de Añadir un Campo (Add Field). | 27 |
| Figura 29. Configuración de la herramienta Add Field. | 28 |
| Figura 30. Creación de un campo en la tabla ond_puntos. | 28 |
| Figura 31. Proceso de Cálculo de un Campo (Calculate Field). | 29 |
| Figura 32. Configuración de la herramienta Calculate Field. | 29 |
| Figura 33. Obtención de los valores de Altura Ortométrica de los puntos. | 30 |
| Figura 34. Modelamiento del Proceso para la obtención de la altura ortométrica a partir de un archivo de texto en Model Builder | 30 |
| Figura 35. Modelamiento del Proceso para la obtención de la altura ortométrica a partir de un archivo de texto en lenguaje de programación de Phyton | 32 |
| Figura 36. Barra de Herramientas Modelo Quito | 32 |
| Figura 37. Ingreso de Información | 34 |
| Figura 38. Generación de Archivo TXT | 34 |
| Figura 39. Formato del Archivo de Excel | 35 |
| Figura 40. Carga de Información | 36 |
| Figura 41. Herramienta de Model Builder “AltortQuito” | 37 |
| Figura 42. Ejecución del Modelo Quito en Model Builder | 37 |
| Figura 43. Comparación Altura Real con Modelos DMQ y EGM96 | 39 |

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1. ANTECEDENTES

El diseño y ejecución de obras de ingeniería tales como trazados viales, canales, riego, entre otros, exigen para su desarrollo un valor de altura con alta precisión, sin embargo, la obtención de dicho valor en cualquier punto sobre la superficie del planeta, implica realizar procesos de medición directa, comúnmente se efectúa nivelación geométrica, la que intrínsecamente conlleva largos plazos de ejecución asociados con altos costos de inversión.

En la actualidad, el uso masivo de tecnologías satelitales como el GPS (Global Positioning System) y GNSS (Global Navigation Satellite System), ha simplificado la resolución de problemas prácticos en diversas áreas de la ingeniería, obteniendo coordenadas horizontales (latitud y longitud) y verticales (altura elipsoidal), referidas a un modelo matemático o sistema de coordenadas.

1.1.2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto pretende generar una aplicación que permita obtener los valores de altura (ortométrica) de un punto en la ciudad de Quito con alta precisión sin tener que realizar el proceso de nivelación geométrica que acarrea costos elevados y largo tiempo de ejecución,

sino usando técnicas satelitales, apoyadas únicamente en un modelo de ondulación geoidal para la ciudad.

1.1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, no se cuenta con una aplicación SIG que permita obtener rápidamente el valor de la altura en el Distrito Metropolitano de Quito. Este estudio se convierte en un Proyecto Piloto para ser aplicado a nivel nacional.

1.1.4. OBJETIVOS

1.1.4.1. Objetivo General

- Generar una aplicación personalizada en un Sistema de Información Geográfica que permita obtener el valor de la altura (ortométrica) con una alta precisión utilizando un modelo de ondulación geoidal para la ciudad de Quito.

1.1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener un modelo de ondulación geoidal para la ciudad de Quito, utilizando puntos dentro de la ciudad que contengan información de coordenadas tomadas con GPS y nivelación geométrica.
- Enlazar la base de datos geográfica a Google Earth.
- Personalizar ARCGIS con funcionalidades propias para el cálculo de un modelo geoidal para Quito.

1.1.5. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende todo el Distrito Metropolitano de Quito, en la provincia de Pichincha, el mismo que se encuentra ubicado entre las latitudes $0^{\circ} 16'$ Norte y $0^{\circ} 37'$ Sur; y entre las longitudes $78^{\circ} 57'$ Oeste y $78^{\circ} 10'$ Oeste.

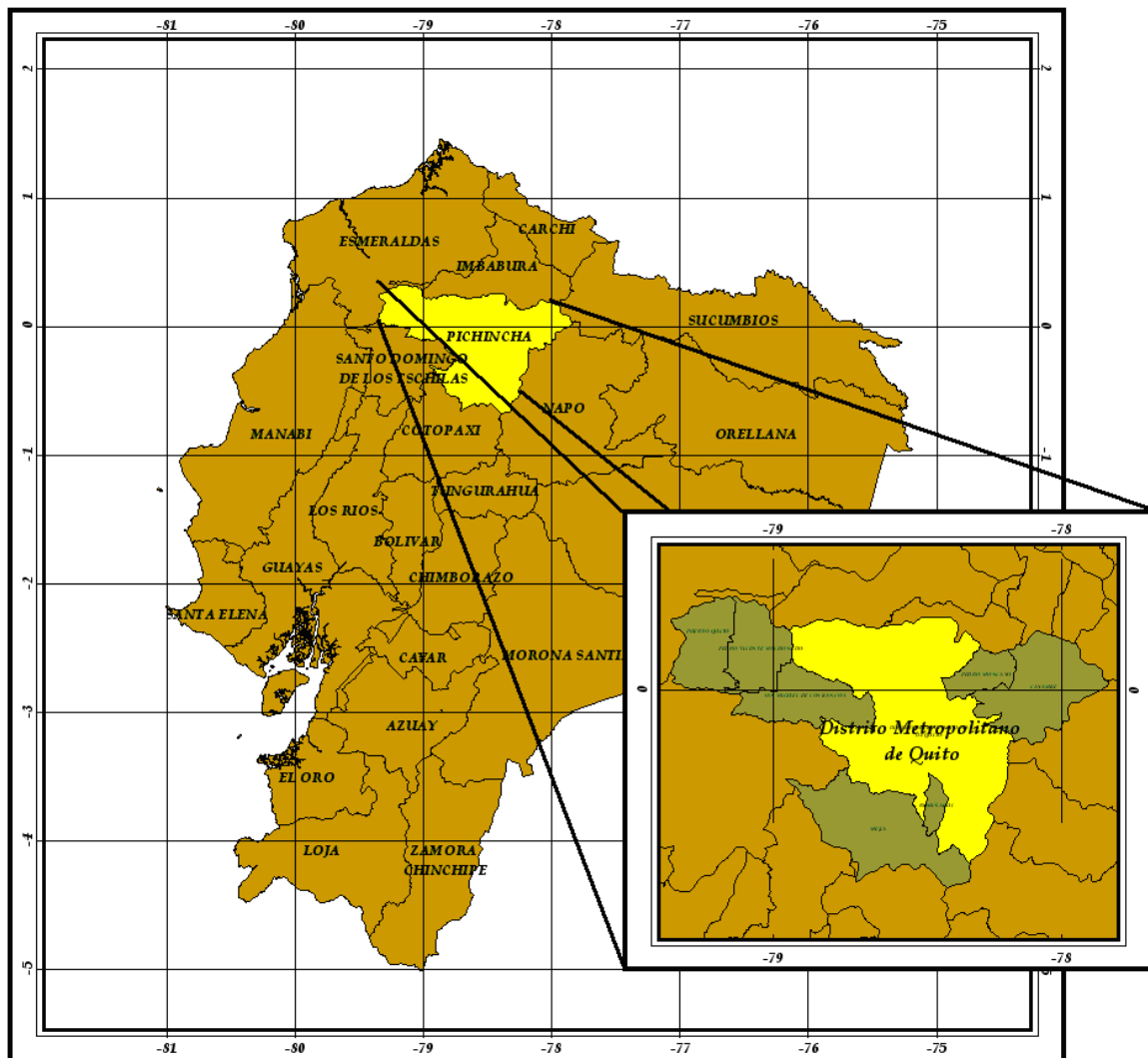


Figura 1. Croquis de Ubicación

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. SUPERFICIES DE REFERENCIA

Desde la antigüedad una de las principales preocupaciones del ser humano ha sido determinar la verdadera forma de la Tierra, para poder localizar fenómenos y elementos de su entorno. En un principio, bastó con “saber” que el planeta tiene una forma redonda, achatada en los polos y ensanchada en la línea ecuatorial, sin embargo, con el avance vertiginoso de la ciencia y la tecnología, y considerando que la Tierra es un ente dinámico y complejo, han obligado a investigar y determinar su forma con mayor precisión, generando modelos matemáticos que se acoplen a la verdadera superficie del globo.

Es así que, para comprender el objetivo del presente proyecto es necesario conocer tres tipos de superficies de referencia:

- ◆ Superficie física de la Tierra
- ◆ Geoide
- ◆ Elipsoide

Gráficamente dichas superficies se representan en la Figura 2. De la siguiente manera:



Figura 2. Tipos de Superficies Terrestres

Fuente: http://inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/que_es_geoide.aspx

2.1.1. Geoide

Es una superficie que representa al nivel medio del mar, la cual se prolonga por debajo de los continentes y cubre a la Tierra en su totalidad. El geoide en condiciones ideales considera la superficie del mar en reposo y en todo punto es perpendicular a la línea de plomada o dirección de la gravedad (Figura 3.)

La utilidad principal del geoide es establecer la superficie de referencia de la altura sobre el nivel medio del mar y se aplica en trabajos de ingeniería topográfica, cartografía, apoyo terrestre para fotografía aérea y como un insumo para la generación de modelos digitales de elevación.

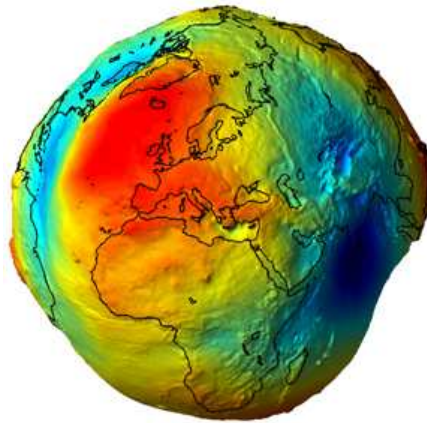


Figura 3. Geoide

Fuente: <http://www.gisetelerilevamento.com/tag/coordinate/>

2.1.2. Elipsoide

El elipsoide se obtiene de la rotación de una elipse sobre su eje menor, lo que permite crear una superficie (modelo matemático) que se acople a la forma de la Tierra y realizar mediciones angulares y de distancia. El elipsoide está definido por diferentes parámetros, pero principalmente por su semieje mayor (a) y su semieje menor (b), sin embargo se utiliza también el achatamiento (f).

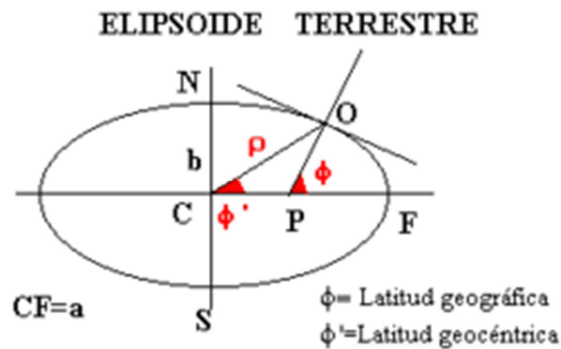


Figura 4. Elipsoide

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/Elipsoide.png/250px-Elipsoide.png>

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Semieje mayor | a |
| Semieje menor | b |
| Aplanamiento | $\alpha = \frac{a-b}{a}$ |
| Excentricidad | $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$ |
| 2ª Excentricidad | $e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$ |

Figura 5. Parámetros del Elipsoide

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/2539474/Apuntes-De-Geodesia>

2.2. ALTURAS Y MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

Las coordenadas geodésicas (λ, φ) determinan la posición de la proyección de un punto de la superficie real de la Tierra sobre un sistema de coordenadas definido.

Pues bien, cuando se utilizan sistemas satelitales de posicionamiento para determinar las coordenadas de un punto, éste estará situado sobre el elipsoide o sistema matemático (idea), pero es necesario situarlo sobre la superficie terrestre (realidad). Para realizar esta transformación se tienen las siguientes relaciones y conceptos:

2.2.1. Altura nivelada

Es la altura determinada por el desnivel existente entre dos puntos, este desnivel generalmente se lo obtiene mediante métodos ópticos, es decir tienen características físicas y medibles; generalmente, se utilizan métodos de nivelación diferencial o geométrica para obtener este valor.

La superficie de referencia utilizada para medir las alturas niveladas es el Datum vertical o nivel medio del mar (n.m.m.), que es diferente para cada país; en el Ecuador, el n.m.m. está materializado a través del mareógrafo de La Libertad, ubicado en la provincia de Santa Elena.

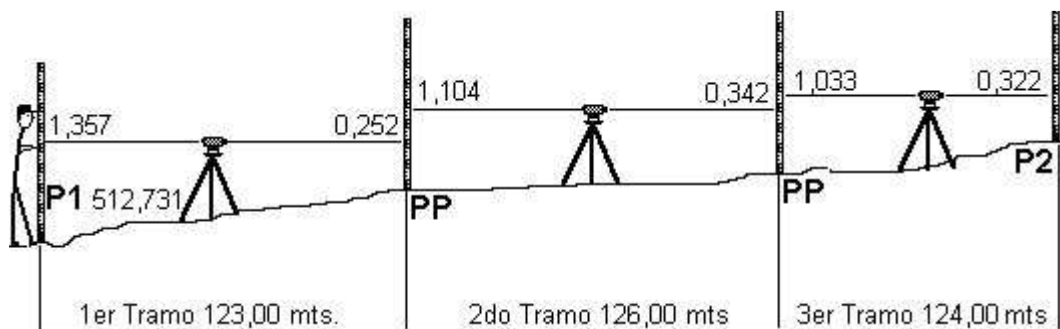


Figura 6. Proceso de Nivelación Geométrica

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Nivelaci%C3%B3n>

2.2.2. Altura elipsoidal (h)

Es la distancia medida desde un punto en la superficie terrestre hasta la superficie del elipsoide que se esté utilizando como referencia, por lo tanto su dirección y magnitud dependen del elipsoide de referencia utilizado. Las alturas elipsoidales no son útiles en la práctica, por estar referidas a un modelo geométrico (idea) y no poseen sentido físico (medible).

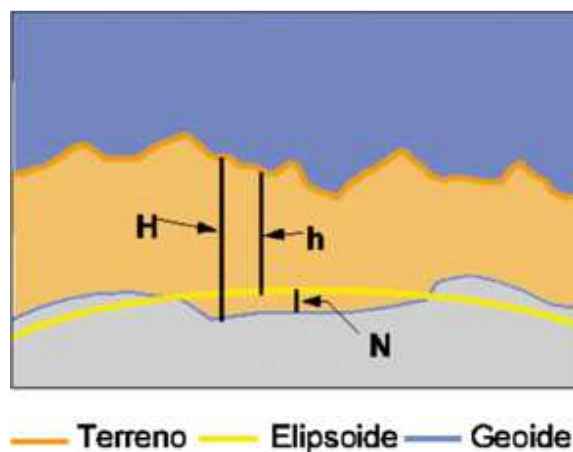


Figura 7. Altura Elipsoidal

Fuente: <http://www.mappinginteractivo.com/©/art-02/octu-nov02/h-nov1-02imag3.jpg>

2.2.3. Altura ortométrica (H)

Es la distancia vertical medida a lo largo de la línea de la plomada desde la superficie del geoide hasta un punto sobre la superficie física de la Tierra. (Ver Figura 6).

2.2.4. Ondulación Geoidal (N)¹

La diferencia entre la altura elipsoidal (h) y la altura ortométrica (H) se denomina altura geoidal (N) u ondulación del geoide.

Conociendo la ondulación geoidal se puede calcular la altura ortométrica de algún punto de observación en particular, a partir del valor de la altura sobre el elipsoide, obtenida al utilizar el posicionamiento satelital GPS, expresándola de la siguiente manera:

$$h = H + N; \text{ donde}$$

H es Altura ortométrica, h es la Altura elipsoidal y N es la Ondulación

¹ Jorge Franco Rey, "Nociones de Geodesia.GPS" (<http://es.scribd.com/doc/2539474/Apuntes-De-Geodesia>), pág. 38

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE INFORMACION

Para el desarrollo de la aplicación SIG, se utilizaron diferentes insumos, los cuales se detallan a continuación; sin embargo, en la Figura No. 8 se pueden observar cómo cada uno de los procesos interactúa con otro para obtener el valor de altura ortométrica de un punto, que es el resultado final.

Los datos iniciales que sirvieron de insumo para obtener datos intermedios fueron:

- Cartografía Básica 1:50.000 y 1:25.000 del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), publicado en el Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador; la misma que sirvió para realizar la delimitación del bloque que abarca el DMQ y efectuar la sincronización con Google Earth para una mejor visualización de detalle o punto deseado.
- Datos de altura nivelada obtenidas a través de nivelación geométrica de primer orden con precisión de $\pm 4\text{mm} \sqrt{K}$, siendo K la distancia nivelada en kilómetros.
- Datos de altura elipsoidal obtenidas a través de mediciones GPS sobre los puntos que contaban con valores de altura nivelada.

Con la información de los dos últimos datos fue factible obtener un valor de ondulación Geoidal con una precisión de ± 60 cm. Cabe mencionar, que no se realizó ningún tipo de tratamiento para mejorar la precisión.

Con los valores de Ondulación Geoidal se generó en ArcGIS un modelo Geoidal, a través del método de interpolación de Kriging. Es importante señalar, que el modelo generado

para el DMQ, arrojó mejores resultados que el Modelo Geoidal Global de 1996 (siglas en inglés: EGM96) que generalmente se aplica para este tipo de estudios en el país. Finalmente, se desarrolló la aplicación propiamente dicha, a través de la personalización de ArcGIS en Visual Basic, donde el usuario ingresa las coordenadas del punto o los puntos y se ejecuta el proceso automáticamente de Model Builder, con lo que se consiguen los valores de altura ortométrica que es el resultado final.

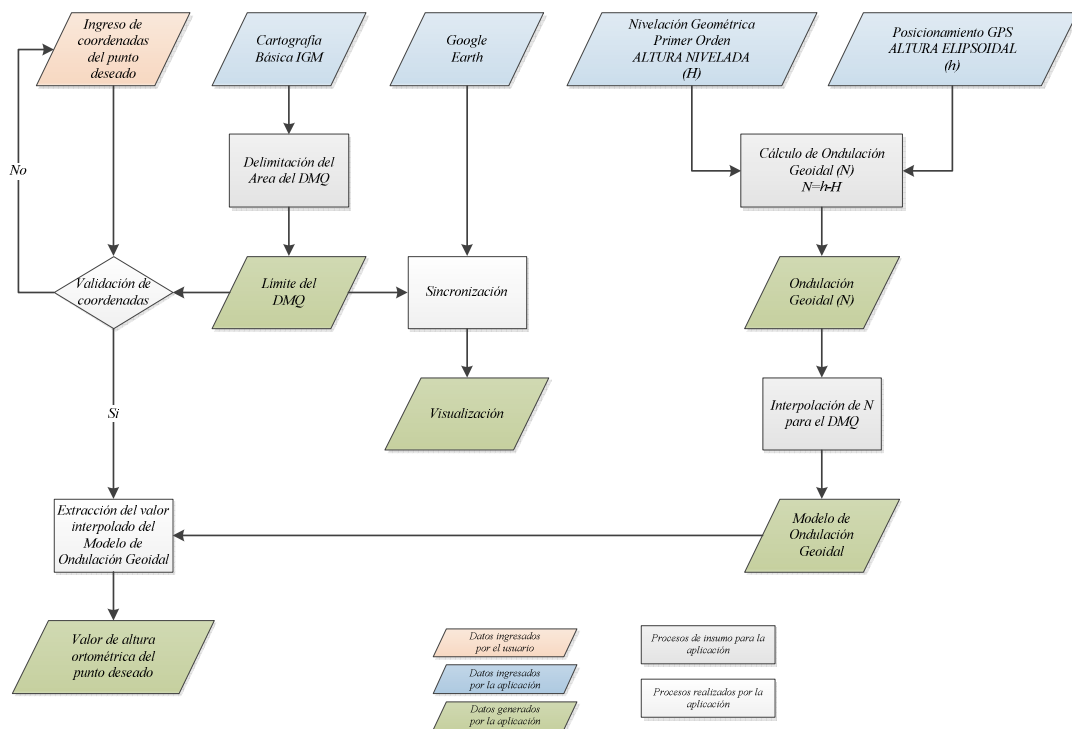


Figura 8. Diagrama de Flujo de la Información

3.2 RECOPIACION DE INFORMACION

Para el desarrollo del presente proyecto se recurrió a la recopilación de diferentes fuentes de información, dentro de las cuales existen fuentes primarias (generación de datos) y fuentes secundarias (recopilación de datos).

Por el momento, hay que referirse a la información secundaria, que consistió en recopilar datos desarrollados anteriormente por diversas empresas o personas especializadas.

3.2.1. Conexión con la cartografía básica

Para localizar el proyecto geográficamente se utilizó el Servicio Web que provee el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM), a través de su modelamiento (<http://www.geoportaligm.gob.ec>)

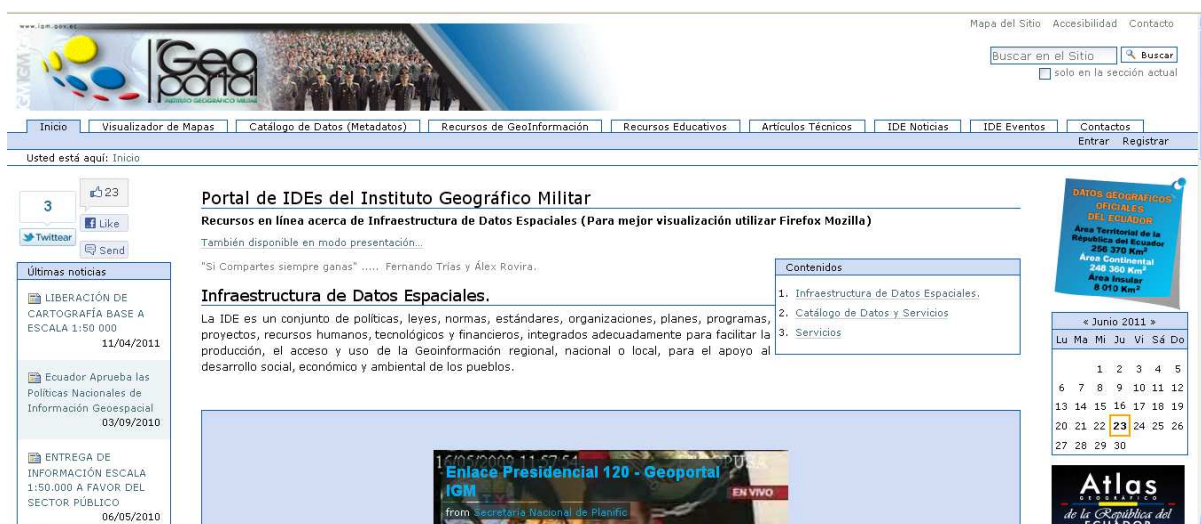


Figura 9. Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador

Dentro del Geoportal IGM, se accede a la pestaña Recursos de Geoinformación, donde se encuentran diferentes recursos, entre los cuales se debe ingresar en “Cartografía de libre acceso”. Una vez escogida la opción anterior, se despliega la licencia de Uso de Información Geográfica que el IGM provee a sus usuarios. Luego se encuentra toda la información que el Instituto ha liberado y es de libre acceso, para el proyecto se escogió la Cartografía del Ecuador a escala 1:50.000, pues en ésta se encuentra toda la información a nivel nacional. Es importante indicar, que la elección de la escala con la cual se desea

trabajar obedece a que la aplicación necesita tener información a nivel de manzanas dentro del cantón Quito.

A esta escala se cuenta con dos tipos de información, una en WMS y la otra en WFS. La información escogida es WMS (Web Map Service), que son servicios de mapas en la web, que permiten visualizar, combinar y consultar puntualmente datos de imágenes cartográficas generadas a partir de una o varias fuentes (DTMs, datos SIG y CAD).

Finalmente, se realiza la Copia de la ruta de enlace, la cual tiene que ser ingresada en ArcCatalog.

Se abre ArcCatalog, y se accede en la opción de GIS Servers, donde se despliegan tres opciones, dentro de las cuales se debe optar por “Add WMS Server”, lo que permite añadir un servidor WMS como el enlace del Geoportal IGM. Se ingresa el URL del servidor web IGM y se obtienen todos los layers que la información a la escala 1:50.000 contiene.

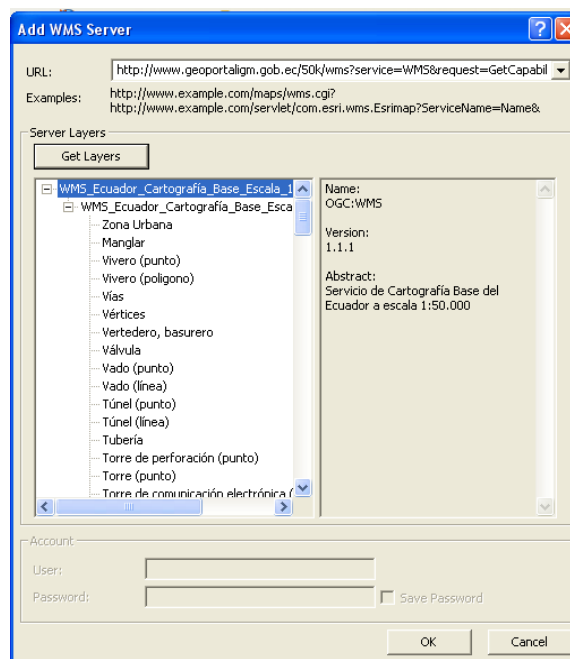


Figura 10. Obtención de Layers a través de un servidor web WMS

3.2.2. Generación del Modelo de Ondulación Geoidal para Quito

Para la generación del Modelo de Ondulación Geoidal para la ciudad de Quito, se contó con 1210 puntos distribuidos tanto en la ciudad como en sus alrededores. Cabe mencionar, que los puntos poseen valores de altura elipsoidal recopilados mediante observaciones GPS y altura nivelada recogida a través de nivelación geométrica de primer orden. Con estos dos valores de altura se procedió a calcular la ondulación Geoidal para cada punto, pues como se mencionó anteriormente, la ondulación es la diferencia entre la altura elipsoidal y la nivelada.

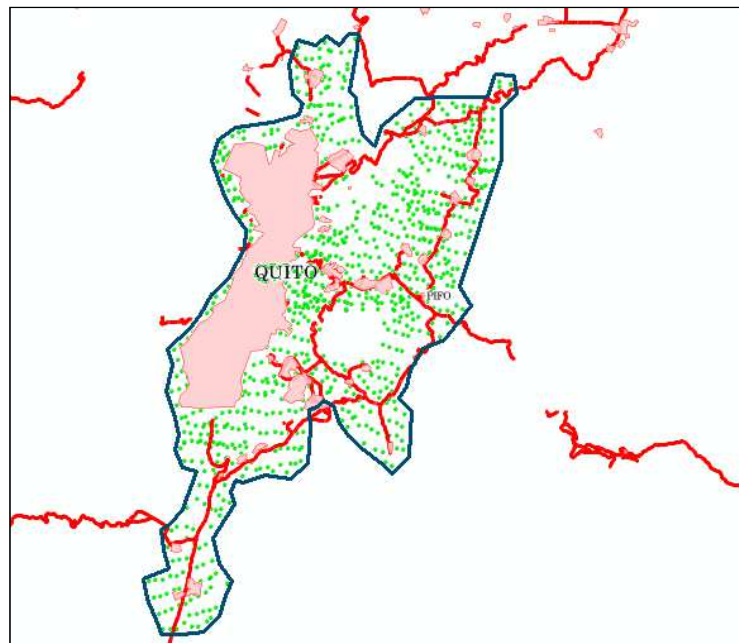


Figura 11. Límite y distribución de los puntos para la generación del Modelo Geoidal

3.2.3. Método de Interpolación²

La interpolación tiene como objetivo estimar, a partir de una muestra, valores de Z para un set de puntos (X,Y). La interpolación puede utilizarse para cumplir tres funciones:

- (a) estimar valores de Z para ubicaciones particulares (X,Y);
- (b) estimar valores de Z para una cuadrícula rectangular;
- (c) cambiar la resolución de la cuadrícula en un archivo ráster (método conocido como remuestreo).

En este caso se usó el método de interpolación para estimar valores de ondulación geoidal en puntos dentro de la ciudad de Quito.

Existen varios métodos de interpolación dentro los cuales se escogió el uso del denominado método Kriging, el mismo que asume que la distancia y/o la dirección entre puntos de muestreo es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y por lo tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. El algoritmo que usa este método ajusta una función matemática a un determinado número de puntos o a aquellos que se encuentren en un radio de búsqueda. Este interpolador es uno de los más complejos y normalmente requiere de cierto conocimiento estadístico por parte del usuario.

El análisis incluye los siguientes pasos: análisis estadístico exploratorio del set de datos, modelado del variograma, interpolación de la superficie y análisis de la superficie de varianza. Este interpolador se utiliza con mucha frecuencia en estudios geológicos y

² Jorge Fallas, "Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones" (2007) (http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MDE_TEORIA_2007.pdf)

edafológicos. El método de Kriging es considerado uno de los mejores métodos de interpolación ya que provee estimaciones insesgadas y de varianza mínima.

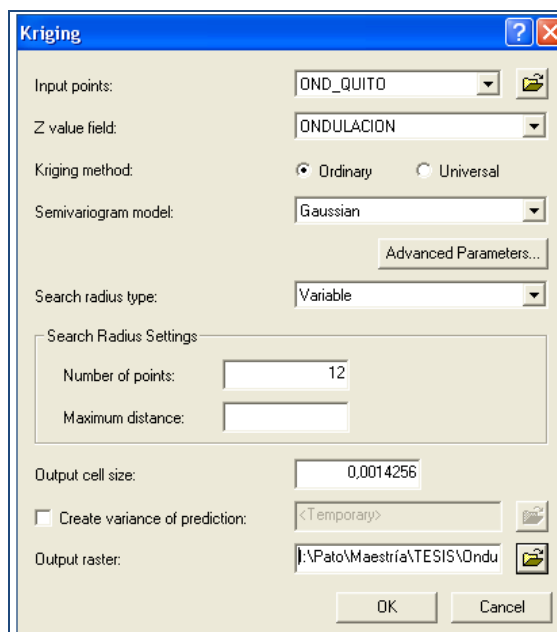


Figura 12. Datos ingresados para la generación del Modelo Geoidal

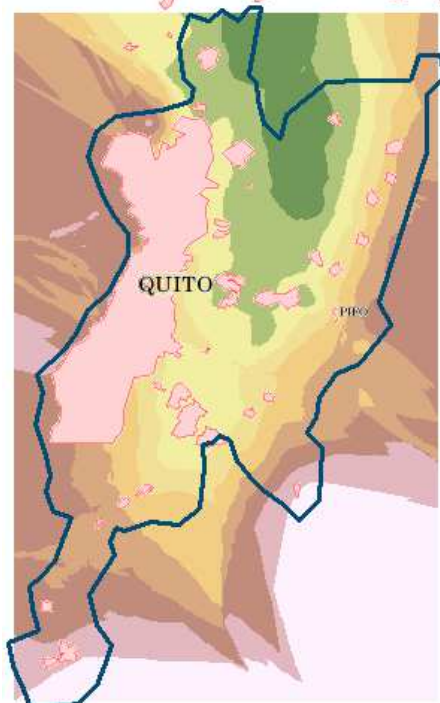


Figura 13. Modelo Geoidal resultante de la interpolación de datos

3.3. SINCRONIZACION DE ARCGIS 9.3 Y GOOGLE EARTH

Para facilidad de los usuarios de la aplicación, se realizó la sincronización de la vista tanto de ArcGIS como de Google Earth, pues así el usuario tendrá la opción de ubicar visualmente en el plano de la ciudad de Quito el punto o los puntos que desea conocer la altura ya sea en ArcGIS como en Google Earth.

Esta aplicación ha sido desarrollada anteriormente en el Centro Gestor de Operaciones del Sistema de Protección de la Amazonía de la Presidencia de la República de Brasil, específicamente por el Sr. Luiz Motta. Para descargar la aplicación denominada Sync_Arc-GE. Se debe acceder a la página:

<http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15944>



The screenshot shows the ArcScripts website interface. At the top, there is a 'Support' header and a search bar. Below the search bar, the breadcrumb trail reads 'You are here: > ArcScripts > Search Results > Script Details'. The main title of the script is 'Synchronized Google Earth with View map of ArcMap'. There are links for 'download', 'contact author', 'download help', and 'report inappropriate content'. A table provides the following details:

| | |
|----------------|-----------------|
| Author | Luiz Motta |
| File Name | sync_arc-ge.zip |
| Language | VBScript |
| Last Modified | Dec 10 2008 |
| Status of work | Public Domain |
| Software | ArcGIS Desktop |
| File Size | 130.54 kb |
| Downloads | 6196 |

Below the table, there is a 'Summary' section with the following text: 'This script make synchronized between view map of ArcMap and the Google Earth, where, it is possible from Arcmap view the same area in Google Earth windows and vice versa. It's run 8.3 and 9.x version. For 8.3 need change name of namespace.'

Figura 14. Descarga del programa Sincronizador de ArcGIS y Google Earth

Se describen brevemente los pasos a seguir para la instalación:³

1. Abrir ARCGIS.

³ Luiz Pacheco Motta, "Sincronizar layer do ArcGIS com o Google Earth" (<http://es.scribd.com/doc/13427493/Sincronizar-layer-do-ArcGIS-com-o-Google-Earth>)

2. Abrir el Editor de Visual Basic que se encuentra en Tools > Macros > Visual Basic Editor.
3. Dentro del Editor de Visual Basic, se despliega en la ventana de **Project – Normal**, la opción **This Document**, que se encuentra en Normal (Normal.mxt) > ArcMap Objects > ThisDocument, se da doble click.
4. Abra el contenido del archivo Init _SyncArcGE.bas en un editor de texto como Bloc de Notas, copie el contenido y péguelo en la ventana Normal.mxt – This Document del Editor de Visual Basic.

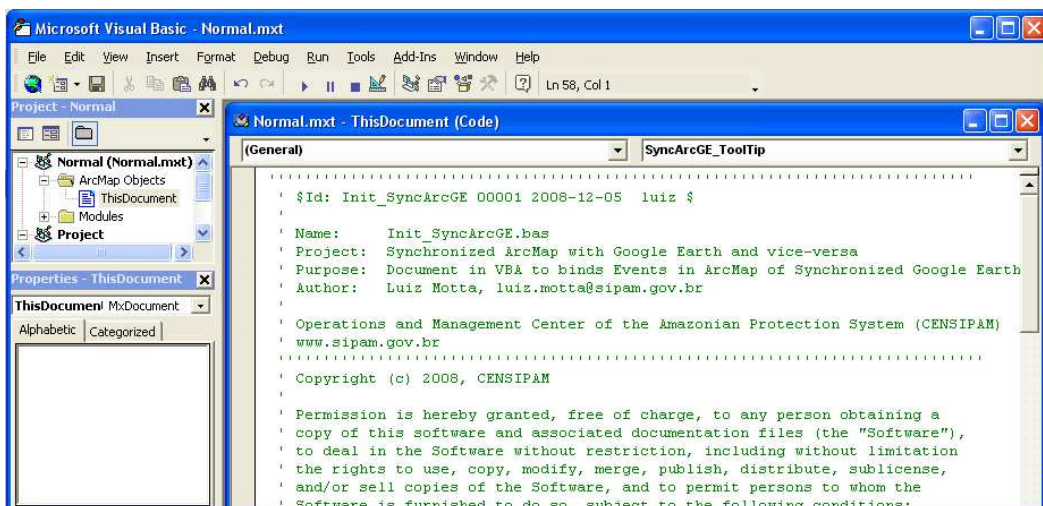


Figura 15. Utilización del Editor de Visual Basic

5. Sobre la ventana **Normal (Normal.mxt)** se da click derecho y se escoge la opción **Import File...**, donde se importarán los demás archivos que se encuentran dentro de la carpeta AS15944 que contiene la aplicación descargada. No se debe importar nuevamente el archivo Init _SyncArcGE.bas

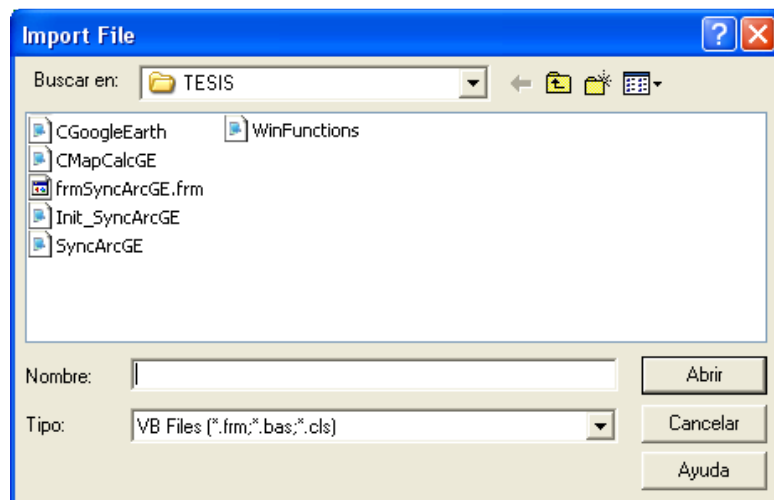


Figura 16. Importación de archivos para el Sincronizador ArcGE

6. Se graba el proyecto Normal.mxt
7. Para crear un botón dentro del Menú de ArcGIS que permita acceder a la aplicación de Sincronización, se ingresa en **Tools > Customize...** en la opción **Commands**. En la opción *Save in:* debe estar Normal.mxt, que es el proyecto creado anteriormente en Visual Basic, en la opción *Categories* se escoge *UIControls*, y se pulsa en *New UIControl*, donde se escogerá *UIButtonControl*



Figura 17. Creación del botón para la rutina de SyncArcGE

8. Finalmente, se ha creado el botón, el cual debe ser renombrado de NormalUIButtonControl a NormalSyncArcGE
9. Arrastre el botón creado a la barra de herramientas de visualización de ArcGIS

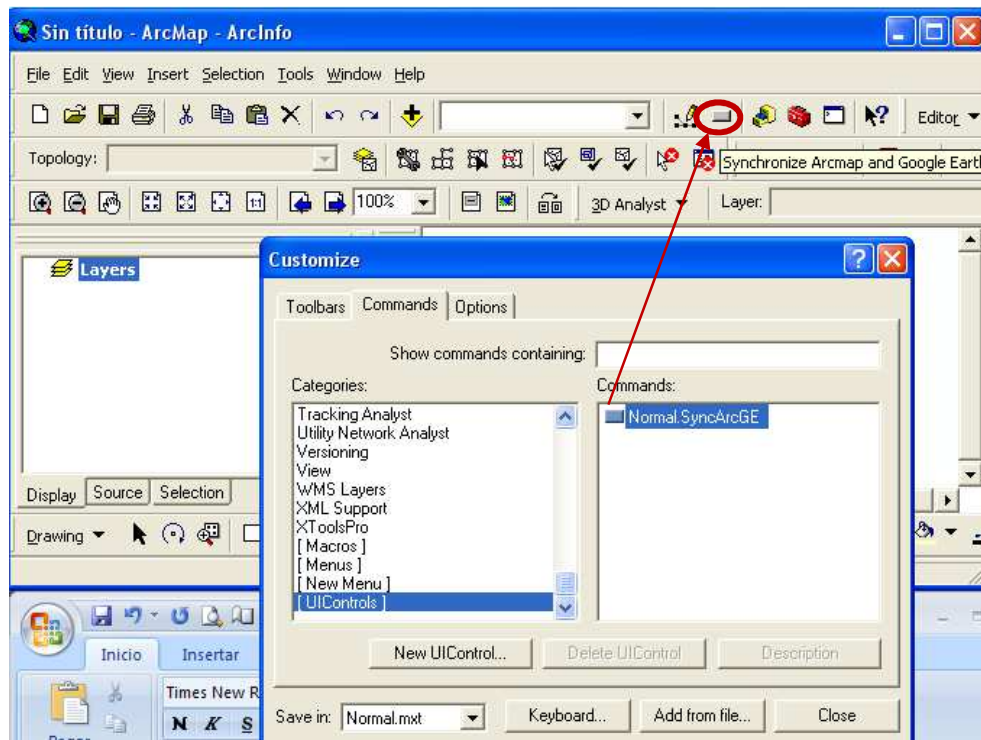


Figura 18. Creación del Botón en la barra de Herramientas de ArcMap

10. Para utilizar la aplicación aparecerá una ventana de diálogo que sincronizará las vistas de ArcGIS como de Google Earth.

3.4. OBTENCION DE LOS VALORES DE ALTURA ORTOMETRICA DE LOS PUNTOS INGRESADOS

Para la obtención de los valores de altura ortométrica de que el usuario desea conocer, se utilizó el Modelamiento que ofrece la herramienta de Model Builder que el ArcMap cuenta.

Para realizar el modelamiento, se consideraron dos datos de ingreso como son la capa de puntos y el modelo Geoidal para la ciudad de Quito.

3.4.1. Ingreso de Puntos

El primer insumo para la obtención de los valores de la altura ortométrica, se constituyen los puntos (coordenadas) de los cuales el usuario necesita conocer la mencionada altura.

Se generó un archivo de texto denominado puntos_quito.txt (que puede ser realizado en cualquier programa procesador de texto como Block de notas o Word Path), que contuviera las coordenadas (longitud, latitud y altura elipsoidal) de los puntos que el usuario desee conocer la altura, de acuerdo a la siguiente configuración para que ArcMap lo pueda reconocer:



Figura 19. Configuración del archivo de texto compatible con ArcGIS

Cabe mencionar, que en el archivo deben constar las palabras “Point” y “END”, al inicio y al final del texto, respectivamente para que el programa lo reconozca como un archivo “txt” de puntos.

3.4.2. ModelBuilder⁴

ModelBuilder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.

ModelBuilder es muy útil para construir y ejecutar flujos de trabajo sencillos, pero también proporciona métodos avanzados para ampliar la funcionalidad de ArcGIS, ya que permite crear y compartir los modelos a modo de herramienta.

El modelamiento para obtener la altura ortométrica en la ciudad de Quito se lo realizó en Model Builder, procedimiento que se detalla paso a paso a continuación:

3.4.3. Modelamiento para la Creación de un Feature desde un archivo de texto

Para la creación de un Feature que contenga los puntos del usuario, se procedió a realizar el primer Proceso en ModelBuilder, el mismo que se lo puede apreciar en la siguiente figura:

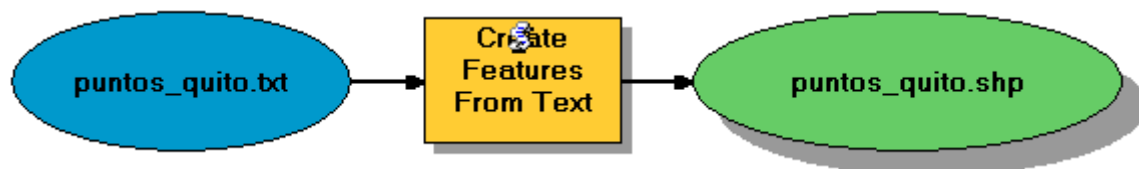


Figura 20. Proceso de Creación de un Feature a partir de un archivo de texto

⁴ ARCGIS Resource Center, "Qué es Model Builder?", (<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/002w00000001000000/>)

Para la generación del Feature se utilizó la herramienta “Create Feature from Text”, dentro de la cual el archivo *puntos_quito.txt* se convierte en la información de entrada y el archivo *puntos_quito.shp* en la salida:

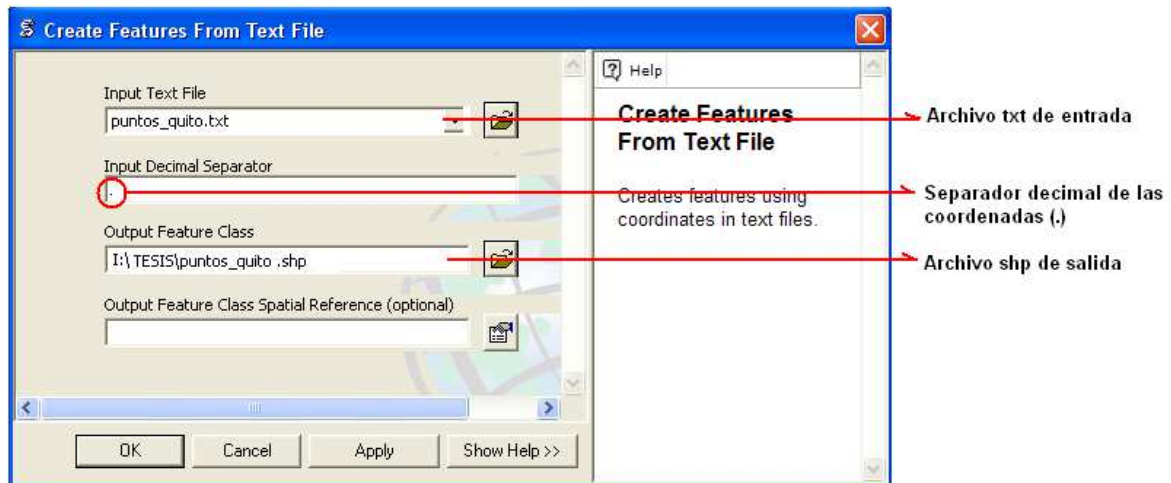


Figura 21. Configuración de la Herramienta Create Features from Text File

Para un proceso posterior, se deben extraer las coordenadas de los puntos ingresados, las mismas que son almacenadas como un campo adicional dentro de la base de datos del Feature de salida *puntos_quito.shp*, para lograr este propósito se acudió a la herramienta de “Add XY Coordinates”, la cual proporciona las coordenadas en X, Y y Z, según se puede apreciar en la siguiente figura:

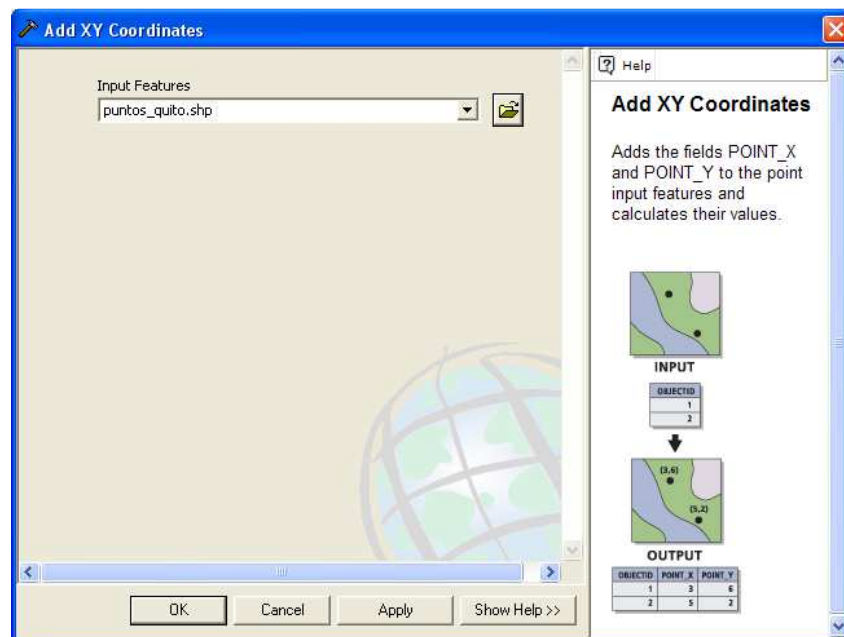


Figura 22. Herramienta Add XY Coordinates

| FID | Shape | Id | File ID | POINT X | POINT Y | POINT Z | POINT M |
|-----|----------|----|---------|----------|---------|----------|---------|
| 0 | Point ZM | 0 | 0 | -78,4982 | -0,1409 | 2815,589 | 0 |
| 1 | Point ZM | 0 | 1 | -78,4832 | -0,1368 | 2845,235 | 0 |

Figura 23. Extracción de Coordenadas X, Y, Z

En Model Builder, se adicionó la función mencionada:

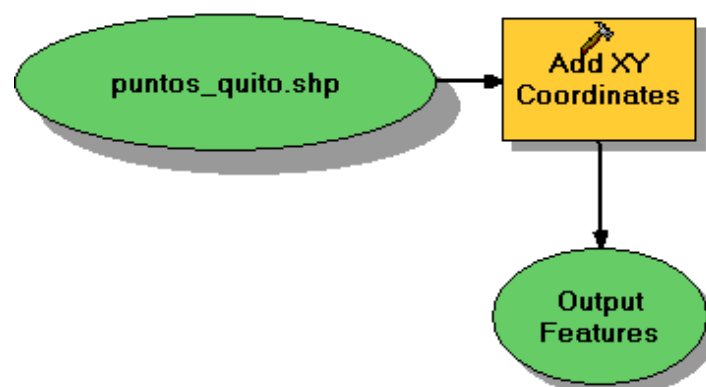


Figura 24. Herramienta Add XY Coordinates en Model Builder

3.4.4. Obtención del valor de la Ondulación Geoidal de un punto

Para obtener el valor de la ondulación Geoidal de los puntos que el usuario introdujo, se realizó un tercer Proceso, en donde los datos de entrada se constituyen el archivo shp generado y el ráster “*modelo1*”, generando el archivo shp de salida “*ond_puntos.shp*”.

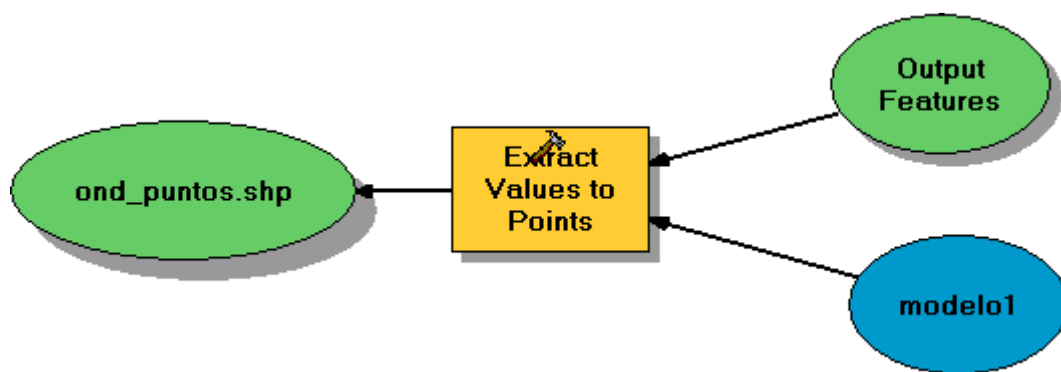


Figura 25. Herramienta Extract Values to Points en Model Builder

Para poder conseguir los datos de ondulación de los puntos, se utilizó la herramienta “*Extract Values to Points*”, de la siguiente manera:

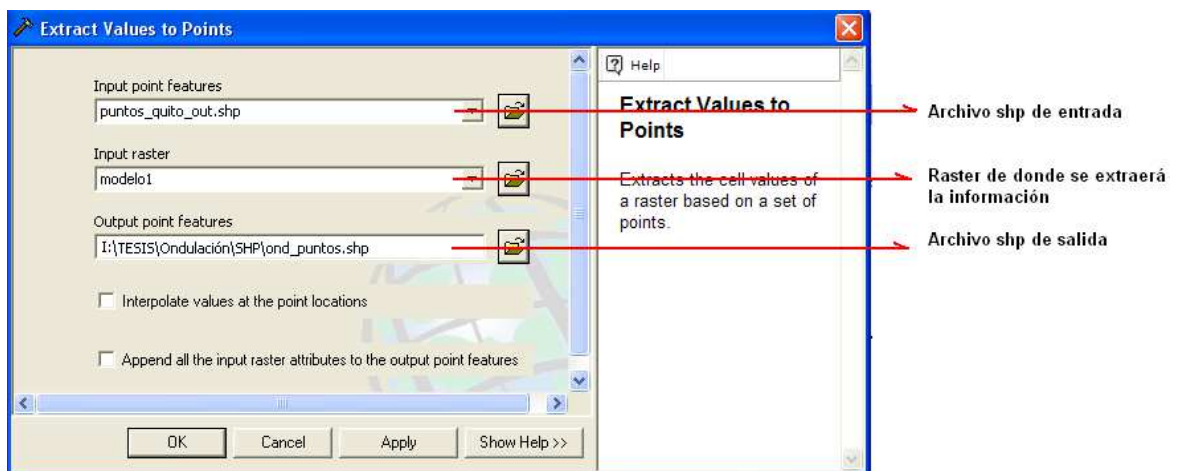
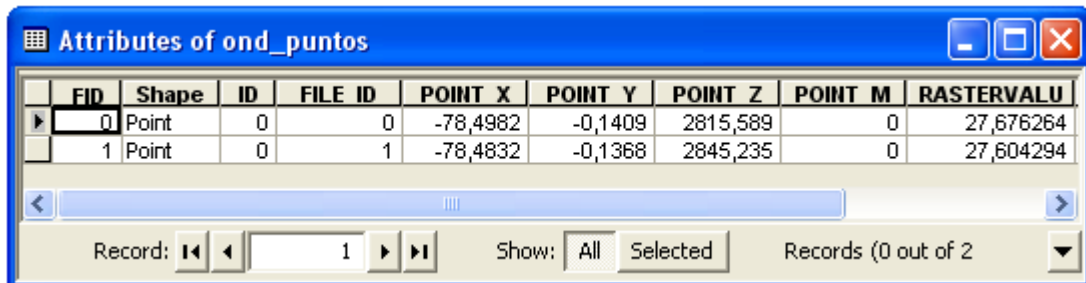


Figura 26. Configuración de la Herramienta Extract Values to Points

La ejecución del modelo crea un archivo shp que contiene los datos de ondulación Geoidal (campo RASTERVALU) extraídos del modelo de Quito:



| FID | Shape | ID | FILE ID | POINT X | POINT Y | POINT Z | POINT M | RASTERVALU |
|-----|-------|----|---------|----------|---------|----------|---------|------------|
| 0 | Point | 0 | 0 | -78,4982 | -0,1409 | 2815,589 | 0 | 27,676264 |
| 1 | Point | 0 | 1 | -78,4832 | -0,1368 | 2845,235 | 0 | 27,604294 |

Figura 27. Extracción del valor de ondulación del ráster Modelo1

3.4.5. Obtención del valor de la Altura Ortométrica de un punto

Para la obtención de la altura ortométrica de cada punto, en la tabla del Feature *ond_puntos*, se añadió el campo *Alt_Ort*, el cual contendrá el valor de altura ortométrica de cada punto ingresado.

El proceso en Model Builder obedece a la siguiente gráfica:

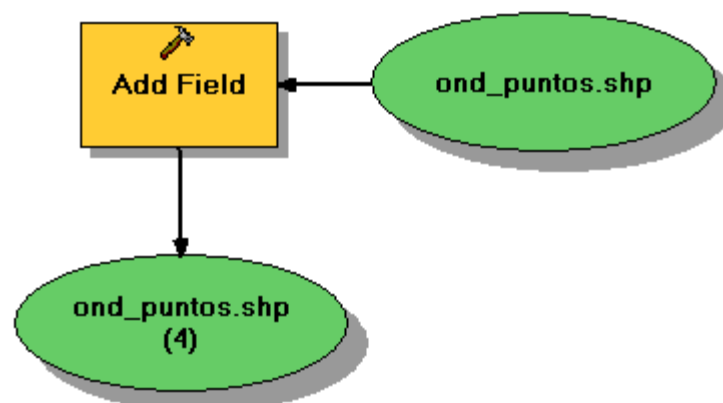


Figura 28. Proceso de Añadir un Campo (Add Field).

Para lograr este fin, se usó la herramienta “Add Field”, en la que se crea el campo Alt_Ort de tipo FLOAT, que permite ingresar un número que contenga hasta 3 decimales.

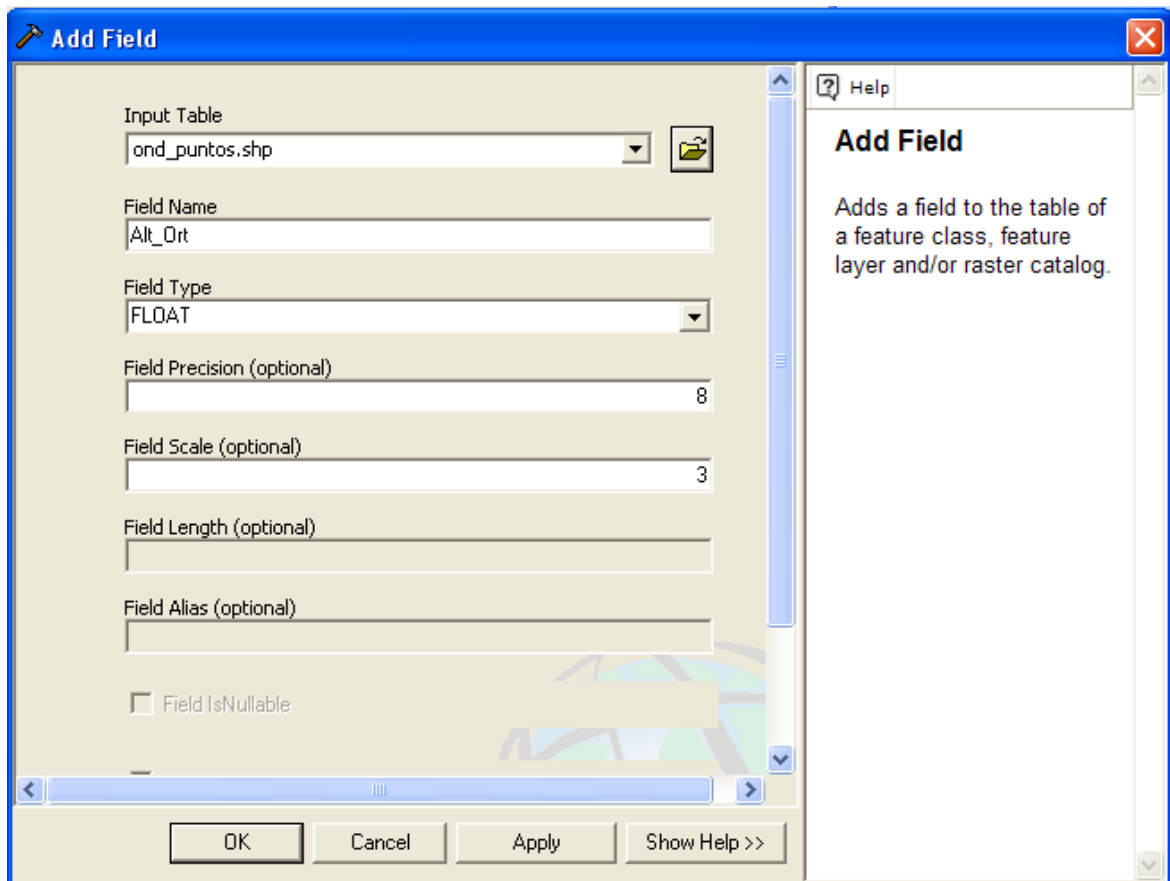


Figura 29. Configuración de la herramienta Add Field.

| FID | Shape | ID | FILE ID | POINT X | POINT Y | POINT Z | POINT M | RASTERVALU | Alt_Ort |
|-----|-------|----|---------|----------|---------|----------|---------|------------|---------|
| 0 | Point | 0 | 0 | -78,4982 | -0,1409 | 2815,589 | 0 | 27,676264 | |
| 1 | Point | 0 | 1 | -78,4832 | -0,1368 | 2845,235 | 0 | 27,604294 | |

Figura 30. Creación de un campo en la tabla ond_puntos.

Finalmente, se recurrió a un quinto proceso que es el de obtener el valor de la altura ortométrica mediante el uso de la herramienta CALCULATE FIELD, la que permite realizar la resta entre la altura elipsoidal (*POINT_Z*) y la ondulación (*RASTERVALU*).

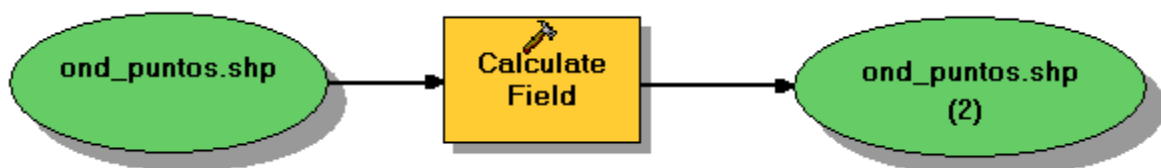


Figura 31. Proceso de Cálculo de un Campo (Calculate Field).

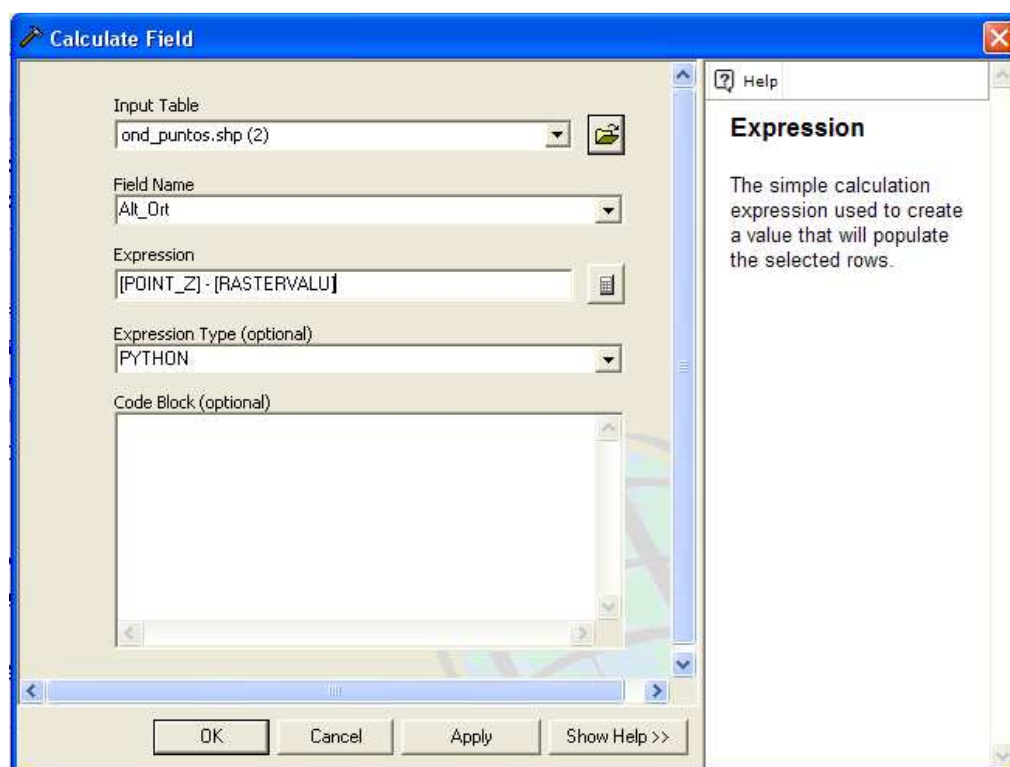
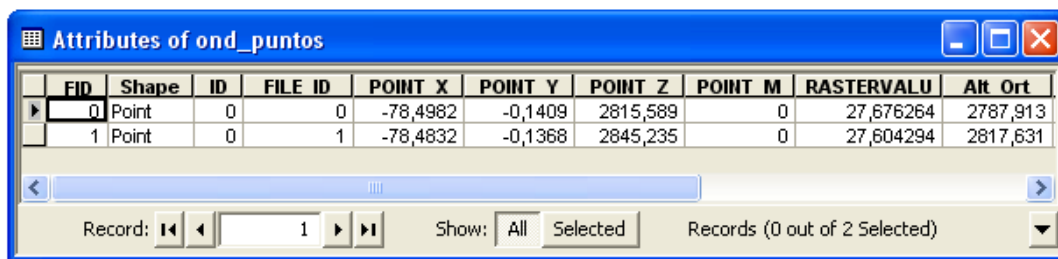


Figura 32. Configuración de la herramienta Calculate Field.



| FID | Shape | ID | FILE ID | POINT X | POINT Y | POINT Z | POINT M | RASTERVALU | Alt Ort |
|-----|-------|----|---------|----------|---------|----------|---------|------------|----------|
| 0 | Point | 0 | 0 | -78,4982 | -0,1409 | 2815,589 | 0 | 27,676264 | 2787,913 |
| 1 | Point | 0 | 1 | -78,4832 | -0,1368 | 2845,235 | 0 | 27,604294 | 2817,631 |

Figura 33. Obtención de los valores de Altura Ortométrica de los puntos.

El modelo completo que se lo realizó en Model Builder, se conforma de cinco procesos, los cuales se los puede apreciar en el siguiente gráfico:

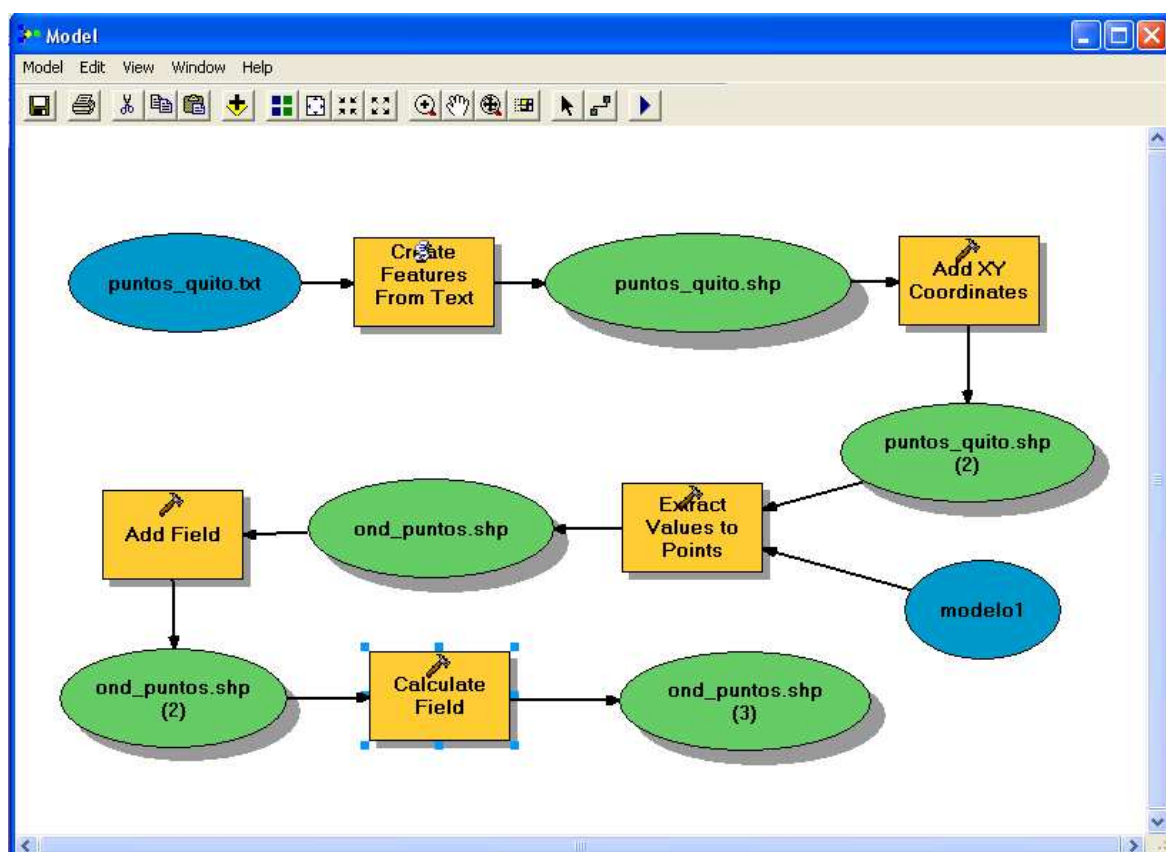


Figura 34. Modelamiento del Proceso para la obtención de la altura ortométrica a partir de un archivo de texto en Model Builder

En color azul se muestran los datos de entrada, como son el archivo de *puntos_quito.txt* y el modelo Geoidal tipo ráster *modelo1*; en color amarillo se aprecian los procesos a los que es sometida la información, finalmente, en color verde aparece la información resultante.

3.4.6. Python⁵

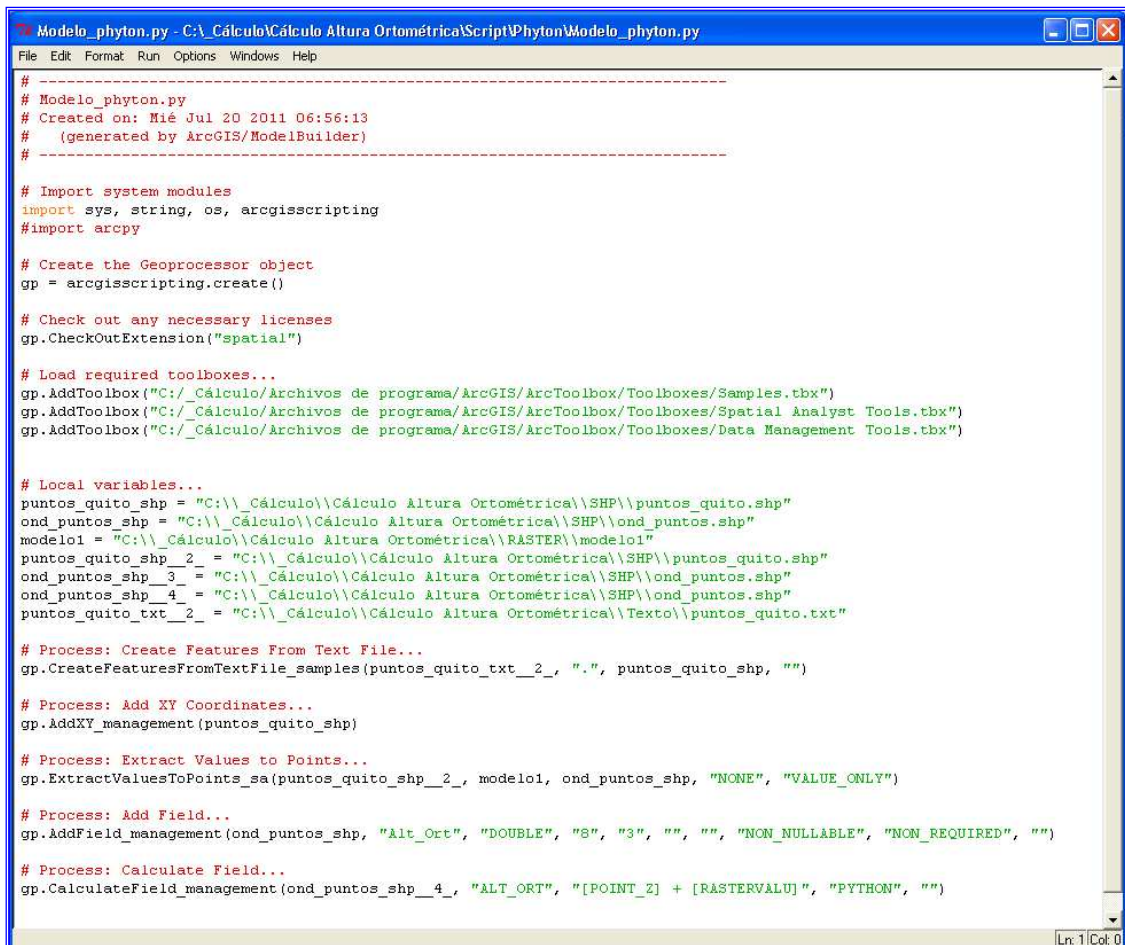
Python es un lenguaje de programación gratuito, multiplataforma y de código abierto que es potente y fácil de aprender. Es ampliamente utilizado y compatible.

Python se presentó a la comunidad de ArcGIS en la versión 9.0. Desde entonces, se aceptó como el lenguaje de secuencia de comandos de elección para el geoprocésamiento de usuarios y continúa creciendo. Cada versión ha mejorado la experiencia de Python, al proporcionarle más capacidades y una experiencia más intensa y adecuada para Python.

ESRI ha aceptado completamente a Python para ArcGIS y lo ve como el lenguaje que satisface las necesidades de toda la comunidad de usuarios.

Todo el modelo para Quito se lo puede expresar en lenguaje de programación de Python, de la siguiente manera:

⁵ ARCGIS Resource Center, "Qué es Python?",
(<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/002w00000001000000/>)



```

Modelo_phyton.py - C:\Cálculo\Cálculo Altura Ortométrica\Script\Phyton\Modelo_phyton.py
File Edit Format Run Options Windows Help
# -----
# Modelo_phyton.py
# Created on: Mié Jul 20 2011 06:56:13
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
#import arcpy

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/_Cálculo/Archivos de programa/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Samples.tbx")
gp.AddToolbox("C:/_Cálculo/Archivos de programa/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/_Cálculo/Archivos de programa/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Data Management Tools.tbx")

# Local variables...
puntos_quito_shp = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\SHP\\puntos_quito.shp"
ond_puntos_shp = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\SHP\\ond_puntos.shp"
modelo1 = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\RASTER\\modelo1"
puntos_quito_shp_2 = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\SHP\\puntos_quito.shp"
ond_puntos_shp_3 = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\SHP\\ond_puntos.shp"
ond_puntos_shp_4 = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\SHP\\ond_puntos.shp"
puntos_quito_txt_2 = "C:\\_Cálculo\\Cálculo Altura Ortométrica\\Texto\\puntos_quito.txt"

# Process: Create Features From Text File...
gp.CreateFeaturesFromTextFile_samples(puntos_quito_txt_2, ".", puntos_quito_shp, "")

# Process: Add XY Coordinates...
gp.AddXY_management(puntos_quito_shp)

# Process: Extract Values to Points...
gp.ExtractValuesToPoints_sa(puntos_quito_shp_2, modelo1, ond_puntos_shp, "NONE", "VALUE_ONLY")

# Process: Add Field...
gp.AddField_management(ond_puntos_shp, "Alt_Ort", "DOUBLE", "8", "3", "", "", "NON_NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")

# Process: Calculate Field...
gp.CalculateField_management(ond_puntos_shp_4, "ALT_ORT", "[POINT_2] + [RASTERVALU]", "PYTHON", "")
Ln: 1 Col: 0

```

Figura 35. Modelamiento del Proceso para la obtención de la altura ortométrica a partir de un archivo de texto en lenguaje de programación de Python

3.5. BARRA DE HERRAMIENTAS “MODELO QUITO”

Para el desarrollo de la Barra de Herramientas “Modelo Quito” fue necesario realizar la programación en el programa Visual Basic, el cual permite visualizar una interface más amigable al usuario (Figura No. 34).

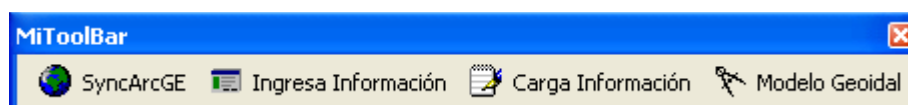


Figura 36. Barra de Herramientas Modelo Quito

La barra de herramientas está conformada por cuatro botones, los cuales se detallan a continuación:

3.5.1. Botón “SyncArcGE”

Este botón permite sincronizar la vista de ArcGIS con la de Google Earth, mostrando inclusive los nombres de calles, barrios y demás elementos geográficos.

3.5.2. Botón “Ingresa Información”

Este botón permite el ingreso de las coordenadas de uno o más puntos, tanto Longitud, Latitud y Alt. Elipsoidal. Cada uno de los campos de ingreso fue validado, permitiendo únicamente el ingreso de números y en los siguientes intervalos:

- Para la Longitud: desde -78.612 hasta -78.255, este campo siempre es negativo ya que la Longitud siempre será Oeste.
- Para la Latitud: desde -0.551 hasta 0.031, en este campo se podrán ingresar tanto valores positivos si son Norte y valores negativos si son Sur.
- Para la Alt. Elipsoidal: se podrán ingresar valores solo positivos ya que son valores de altura.

En la Figura No. 35 se muestra el ingreso de puntos con sus coordenadas:

Ingreso de Coordenadas Geográficas

Ingrese las coordenadas Geográficas para la ciudad de Quito:

Longitud: ° (Ej.: -78.612)

Latitud: ° (Ej.: -0.550)

Alt. Elipsoidal: m. (Ej.: 2823.154)

** Los resultados se muestran en la tabla del feature Puntos*

| Longitud | Latitud | Alt. Elipsoidal |
|----------|---------|-----------------|
| | | |

Figura 37. Ingreso de Información

Cuando se haya finalizado el ingreso de las coordenadas se debe pulsar el botón ACEPTAR. Se puede continuar con el ingreso manual de más puntos en el mismo formato (Figura No. 36).

Ingreso de Coordenadas Geográficas

Ingrese las coordenadas Geográficas para la ciudad de Quito:

Longitud: ° (Ej.: -78.612)

Latitud: ° (Ej.: -0.550)

Alt. Elipsoidal: m. (Ej.: 2823.154)

** Los resultados se muestran en la tabla del feature Puntos*

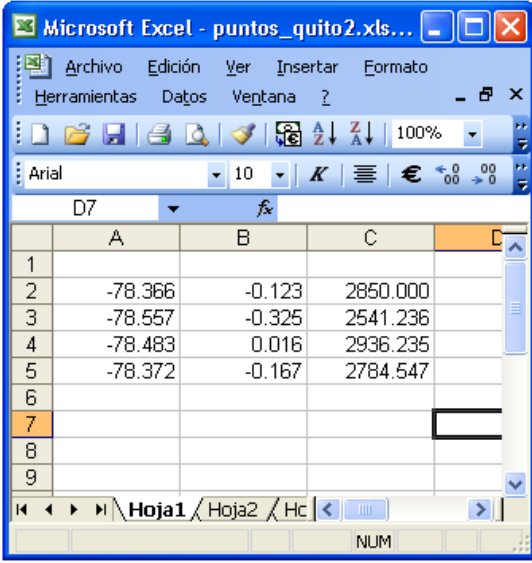
| Longitud | Latitud | Alt. Elipsoidal |
|----------|---------|-----------------|
| -78,433 | -0,155 | 2587,973 |

Figura 38. Generación de Archivo TXT

Cuando se han ingresado las coordenadas de todos los puntos, se debe pulsar el botón “Generar Archivo”, el cual como su nombre lo indica, genera el archivo de texto en el formato que ArcGIS lo puede reconocer. (Ver Figura No. 17). El archivo lleva el nombre *puntos_quito.txt*, el cual siempre se guardará directamente en el directorio C:\

3.5.3. Botón “Carga Información”

Este botón tiene la capacidad de tomar la información de un conjunto de coordenadas de puntos de un archivo de Excel. La configuración del mencionado archivo debe tener las siguientes características:



| | A | B | C |
|---|---------|--------|----------|
| 1 | | | |
| 2 | -78.366 | -0.123 | 2850.000 |
| 3 | -78.557 | -0.325 | 2541.236 |
| 4 | -78.483 | 0.016 | 2936.235 |
| 5 | -78.372 | -0.167 | 2784.547 |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |

Figura 39. Formato del Archivo de Excel

En la Figura No. 37, se aprecia el formato que debe tener el archivo de Excel para que pueda ser transformado al archivo txt y ser reconocido por ArcGIS. Se debe dejar la primera línea en blanco e iniciar el listado de puntos a partir de la segunda línea. La columna A contiene los valores de Longitud, la columna B los valores de Latitud y en la C los valores de Altura elipsoidal.

En ArcGIS, se pulsa el botón “Carga Información”, el cual despliega una ventana de diálogo. Se presiona el botón “Abrir Archivo” para buscar el archivo de Excel en la dirección donde haya sido grabado.

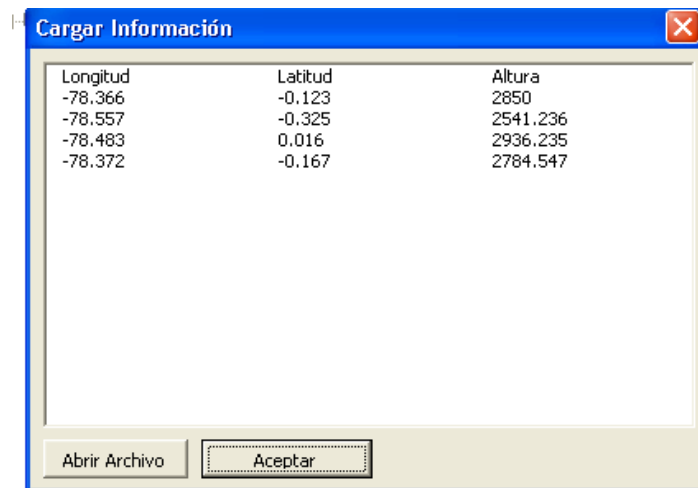


Figura 40. Carga de Información

Finalmente, para generar el archivo TXT se debe pulsar el botón Aceptar. El archivo txt se denomina *puntos_quito.txt* que se graba en el directorio C:\

3.5.4. Botón “Modelo Geoidal”

Una vez generado el archivo de texto *puntos_quito.txt*, se pulsa el botón “Modelo Geoidal”, el cual ejecuta la aplicación realizada en Model Builder.

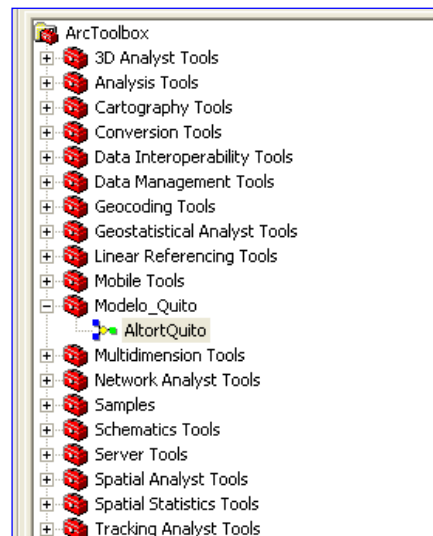


Figura 41. Herramienta de Model Builder “AltortQuito”

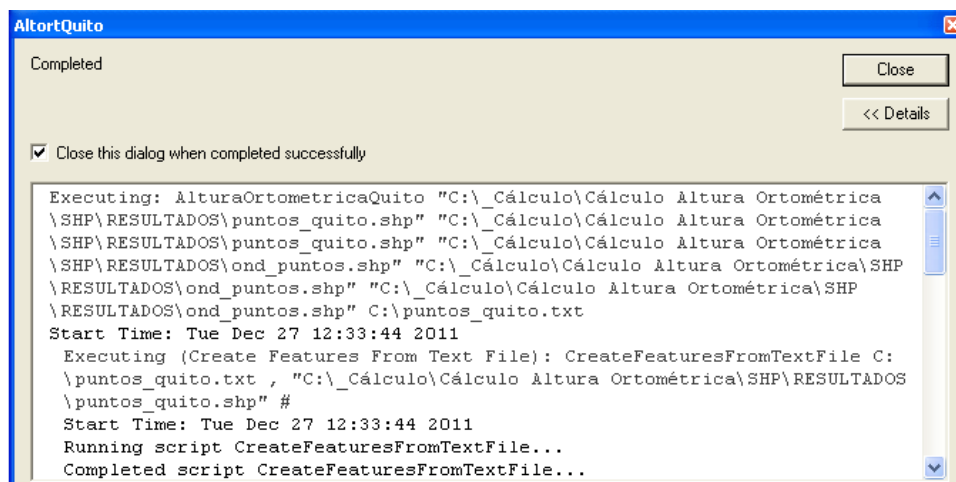


Figura 42. Ejecución del Modelo Quito en Model Builder

Los resultados finales se muestran en la tabla del feature *ond_puntos.shp*, el cual se graba en la dirección C:_Cálculo\Cálculo Altura Ortométrica\SHP\RESULTADOS

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Este estudio obtiene varios resultados, dentro de los cuales los más importantes son los siguientes:

- Modelo de ondulación geoidal, generado a partir de la interpolación de datos (altura nivelada) utilizando el método de Kriging.
- La aplicación en sí, obtenida a través de la programación en Visual Basic y su interacción con Model Builder.

4.1 MODELO DE ONDULACION GEOIDAL

El producto básico obtenido fue un modelo de ondulación geoidal, el cual fue generado a partir de la diferencia entre la altura elipsoidal y la altura nivelada de 1210 puntos, pero como anteriormente se mencionó, este modelo no fue validado en vista de que se usaron todos los puntos existentes en la interpolación sin contemplar datos que permitan “validar” el modelo. Sin embargo, los valores de altura ortométrica que este modelo “crudo” obtiene para Quito, son mucho mejores en precisión respecto del modelo geoidal global (EGM96).

| Punto | Altura Nivelada (Niv) | Altura Ortométrica (DMQ) | Altura Ortométrica (EGM96) | Diferencia Niv - DMQ | Diferencia Niv – EGM96 |
|--------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2893,256 | 2893,883 | 2894,820 | 0,627 | 1,564 |
| 2 | 2356,452 | 2357,038 | 2358,293 | 0,586 | 1,841 |
| 3 | 2564,587 | 2565,200 | 2566,276 | 0,613 | 1,689 |
| 4 | 2654,125 | 2654,754 | 2656,363 | 0,629 | 2,238 |
| 5 | 2687,458 | 2688,001 | 2689,026 | 0,543 | 1,568 |
| 6 | 2486,254 | 2486,852 | 2488,216 | 0,598 | 1,962 |
| 7 | 2568,421 | 2568,945 | 2569,642 | 0,524 | 1,221 |
| 8 | 2422,596 | 2423,108 | 2423,602 | 0,512 | 1,006 |

| | | | | | |
|----|----------|----------|-----------------|--------------|--------------|
| 9 | 2458,152 | 2458,741 | 2459,351 | 0,589 | 1,199 |
| 10 | 2121,522 | 2122,038 | 2123,086 | 0,516 | 1,564 |
| | | | Promedio | 0,574 | 1,585 |

Figura 43. Comparación Altura Real con Modelos DMQ y EGM96

Un modelo de ondulación geoidal debe ser realizado tomando como insumos básicos, tanto información de *nivelación geométrica* de primer orden como *posicionamiento GPS* pero además *información gravimétrica* en un mismo punto, ya que el valor de aceleración de la gravedad depende de la distribución de las masas en la Tierra e influye sobre el cálculo de la altura ortométrica, afinándola hacia su valor real; lamentablemente, para este estudio no se contaron con dichos datos.

Adicionalmente, se usó el método de Kriging, pues los datos con los que se contó se encontraban muy dispersos en la zona de estudio y su interpolación fue la que más se apegó a los valores reales de altura; se realizaron las pruebas con los métodos de IDW y Spline pero los resultados se distorsionaban dependiendo de la distribución de los datos.

4.2 PROGRAMACION EN VISUAL BASIC Y SU INTERACCION CON MODELO BUIDER

El fin primordial de este trabajo, fue el de brindar una herramienta que permita agilizar la obtención de un valor de altura ortométrica muy cercana a su valor real, objetivo que fue conseguido mediante la personalización de ArcMAP, creando una barra de tareas específica donde el usuario únicamente ingrese sus datos y obtenga los resultados en un solo paso. La sinergia que tiene ArcGIS con los programas como Visual Basic y Model Builder, permitieron obtener los resultados de manera rápida y precisa. En un inicio, ante

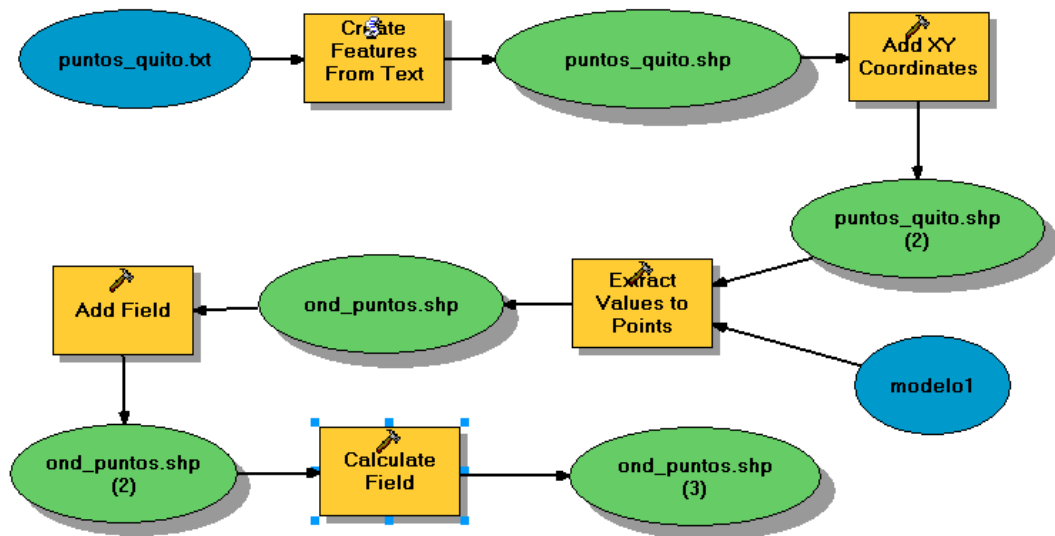
el desconocimiento del autor de esta sinergia, se planteó efectuar toda la programación desde la generación de archivo de texto con los datos, pasando por la extracción del dato del modelo geoidal hasta la obtención del valor de altura ortométrica; lo cual constituía un reto casi inalcanzable, con Model Builder no solo fue posible sino muy práctico y eficaz, facilitando completamente la tarea.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se generó una aplicación en plataforma SIG, que permita obtener los valores de altura ortométrica en la ciudad de Quito, la cual se constituye en una herramienta práctica para obtener dicha información sin la necesidad de tomar datos en campo, sino únicamente ingresando coordenadas en este programa.
- El modelo de ondulación geoidal utilizado fue generado únicamente efectuando la diferencia entre la altura elipsoidal y altura nivelada de 1210 puntos en la ciudad de Quito y sus alrededores.
- El modelo de ondulación geoidal se generó utilizando el método de Interpolación de Kriging, el mismo que ofreció una precisión de +/- 60 cm. de los valores reales de altura, pues no se cuentan con datos u otras variables que permitan mejorar esta precisión, sin embargo es mucho mejor que los modelos globales existentes como el EGM96.
- ModelBuilder se constituye en una herramienta fundamental para trabajar en modelamiento con un grupo secuencial de datos, pues facilita los procesos y los efectiviza, proporcionando resultados rápidamente.



- La herramienta de ModelBuilder con la que cuenta ArcGIS, proporciona automáticamente el modelamiento en lenguaje de programación de Python, el cual es fácil de comprender y analizar.

FORTALEZAS

- Los datos que fueron utilizados para la realización del modelo geoidal fueron tomados utilizando técnicas de medición directa como nivelación geométrica y posicionamiento GPS, por lo que la información es confiable, sin embargo necesita pasar por un refinamiento para obtener mayor precisión.
- El programa Model Builder permitió realizar todas las tareas de una manera ágil y confiable, sin tener que elaborar el proceso cada vez que se use la aplicación.

DEBILIDADES

- La programación en lenguaje de ArcGIS para personalizar y crear la aplicación fue el reto más difícil para el desarrollo de este proyecto, no existen muchos técnicos

especializados que apoyen en este tipo de trabajos y la bibliografía, para un novato en programación es demasiado complicada.

- Este trabajo al ser un proyecto piloto, esta sujeto a modificaciones que permitan mejorarlo, es así que en la versión 2, se realizará la conversión del modelo geoidal (tin) a un modelo ráster que agilite los procesos de cálculo de datos y su extracción.
- No se logró borrar automáticamente el archivo de texto de los puntos ingresados a la aplicación, por lo que siempre que se la use es necesario borrar manualmente este archivo del directorio C:\puntos.txt

5.2 RECOMENDACIONES

- Generar un modelo geoidal para la ciudad de Quito, considerando variable gravimétricas que permitan obtener valores de altura ortométrica con mayor precisión y muy cercanos a los reales.
- Transformar el modelo interpolado a Ráster, para que se optimice la extracción del valor del punto o pixel (altura ortométrica).
- Mejorar el interfaz de acceso a la herramienta del Modelo para Quito que permita facilitar su aplicación al usuario.

BIBLIOGRAFIA

ArcGIS Resource Center. (2011). *Geoprocesamiento con ModelBuilder*. Obtenido en línea el 9 de noviembre de 2010. Disponible en:

<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/002w00000001000000/>

Instituto Geográfico Militar del Ecuador. (2010). *Cartografía de Libre Acceso*. Obtenido en línea el 5 de noviembre de 2010. Disponible en:

<http://www.geoportaligm.gob.ec/index2.html>

Jorge Fallas. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. Obtenido el 20 de octubre de 2010. Disponible en:

http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/MDE_T EORIA_2007.pdf

Jorge Franco Rey. (2006). *Nociones de Geodesia. GPS*. Obtenido el 15 de mayo de 2010. Disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/2539474/Apuntes-De-Geodesia>

Centro Gestor de Operaciones del Sistema de Protección de la Amazonía de la Presidencia de la República de Brasil. Luiz Motta. (2008). *Sincronizar layer do ArcGIS com o Google Earth*. Obtenido el 30 de noviembre de 2010. Disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/13427493/Sincronizar-layer-do-ArcGIS-com-o-Google-Earth>

ESRI. *Luiz Synchronized Google Earth with View map of ArcMap*. (2008). Obtenido el 30 de noviembre de 2010. Disponible en:

<http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15944>