



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Aplicación GNSS en las cartas náuticas y soporte aeronáutico del aeropuerto Vanguardia en Villavicencio Meta

Jeimmy Lorena Fagua Merchán - 20141025158

Esperanza Gualdrón Prieto - 20141025079

Elkin Josue Góngora Leal - 20141025030

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de ingeniería
Ingeniería catastral y geodesia
Bogotá, Colombia
2018

Aplicación GNSS en las cartas náuticas y soporte aeronáutico del aeropuerto Vanguardia en Villavicencio Meta

Jeimmy Lorena Fagua Merchán - 20141025158

Esperanza Gualdrón Prieto - 20141025079

Elkin Josue Góngora Leal - 20141025030

Presentado a:

Andrés Cárdenas Contreras

Asignatura:

Procesamiento GNSS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de ingeniería

Ingeniería catastral y geodesia

Bogotá, Colombia

2018

Resumen

A partir de los sistemas globales de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System) o también conocidos como GNSS se pretende determinar una aplicación práctica de las señales emitidas por una constelación de satélites determinada, para el caso del aeropuerto Vanguardia ubicado en las afueras de la ciudad de Villavicencio, Meta. Gracias a las ventajas de los sistemas globales de navegación por satélite que permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de las señales, además de proporcionar a los usuarios información sobre la hora con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, en cualquier momento del día y en todas las condiciones climatológicas; en este proyecto se busca la aplicación práctica de la información para el soporte aeronáutico y de cartas de navegación del aeropuerto.

Palabras clave: (GNSS, Navegación, Aeronáutico, Aeropuerto).

Abstract

From the global navigation satellite systems (Global Navigation Satellite System) or also known as GNSS it is intended to determine a practical application of the signals emitted by a determined constellation of satellites, in the case of the Vanguardia airport located on the outskirts of the city of Villavicencio, Meta. Thanks to the advantages of global satellite navigation systems that allow determining the geographical coordinates and the altitude of a given point as a result of the reception of signals, in addition to providing users with information about the time with great accuracy, in any part of the world, at any time of day and in all weather conditions; In this project, the practical application of information for aeronautical support and navigation charts of the airport is sought.

Keywords: GNSS, Navigation, Aeronautical, Nautical, Airport).

Índice general

Resumen	III
Lista de figuras	v
Contenido	1
1 Introducción	2
2 Marco teórico	4
2.1 Datos aeronáuticos	4
2.2 Servicios de información aeronáutica	4
2.3 Historia del GNSS	4
2.4 GNSS: definición de su composición, características y segmentos	5
2.4.1 Segmento espacial	6
2.4.2 Segmento de control	7
2.4.3 Segmento de usuario	8
2.5 Prestaciones de los actuales sistemas GNSS	9
2.6 Funcionamiento de un sistema GNSS	10
2.6.1 ¿Cómo se calcula la posición?	11
2.6.2 Fuentes de error	12
2.6.3 GPS en la navegación aérea	12
3 Posicionamiento por Punto Preciso (PPP)	14
4 Delimitación de la zona de estudio	17
5 Metodología y Datos	20
5.1 Insumos y Datos	20
5.2 Metodología	22
6 Análisis de resultados	33
6.1 Posicionamientos por Punto Preciso PPP	33
6.2 Topex Poseidon	41
6.3 Cartografía básica	51

Bibliografía

Lista de Figuras

2-1. Constelación de satélites GPS [CIRA, sf]	7
2-2. Centro de control de misiones GPS. [Government, sf]	8
2-3. Receptor WOXTER 100 GPS con bluetooth	9
2-4. Funcionamiento de un GNSS. [Pérez Martínez, 2005]	11
2-5. Representación esquemática del funcionamiento del GNSS. [Pérez Martínez, 2005]	12
3-1. Corrección offset [Taborda, 2017]	16
4-1. Municipios pertenecientes al área de estudio	18
4-2. Esquema general de Vías y drenajes del área de estudio	19
5-1. Descarga de datos de Topografía y gravimetría de la plataforma TOPEX POSEIDON	21
5-2. Flujo de trabajo de datos RINEX, postprocesamiento y aplicación de MAGNA SIRGAS PRO4	22
5-3. Selección de estaciones en MAGNA ECO	23
5-4. Descarga de RINEX observados	23
5-5. Post-procesamiento en IBGE	24
5-6. Post-procesamiento en IBGE	25
5-7. Transformación de coordenadas en MAGNA SIRGAS PRO 4	25
5-8. Ondulación geoidal en MAGNA SIRGAS PRO 4	26
5-9. Flujo de trabajo de los datos de altimetría de TOPEX POSEIDON	26
5-10. Datos crudos obtenidos de Topex poseidon	27
5-11. Generación de la grilla con los datos de topografía en el software Surfer	27
5-12. Transformación de los datos de gravimetría - gravedad a formato libro - Excel	28
5-13. Generación de la grilla con los datos de gravimetría - gravedad en el software Surfer	29
5-14. Flujo de trabajo de los datos de cartografía básica	30
5-15. Filtrado de la topografía respecto al área de estudio y los aeropuertos El Dorado y Vanguardia	31
5-16. Filtrado de la información de vías y drenajes respecto al área de estudio y los aeropuertos El Dorado y Vanguardia	32
6-1. Resultados procesamiento en IBGE	33

6-2. Ubicaciòn de estaciones permanentes	34
6-3. Ubicaciòn de estaciones permanentes y vertices red geodésica nacional	35
6-4. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018	36
6-5. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018	37
6-6. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018	38
6-7. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018	38
6-8. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018	39
6-9. Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018	40
6-10. Mapa de elevaciòn o curvas de nivel de la zona de estudio	41
6-11. Mapa de sombreado de relieve de la zona de estudio	42
6-12. Imagen mapa de la zona de estudio	43
6-13. Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio	44
6-14. Estructura del Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio	45
6-15. Mapa de elevaciòn o curvas de nivel de la zona de estudio	46
6-16. Mapa de sombreado de relieve de la zona de estudio	47
6-17. Imagen mapa de la zona de estudio	48
6-18. Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio	49
6-19. Estructura del Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio	50
6-20. Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio con informaciòn a escala 1:500.000	51
6-21. Modelo digital de elevaciòn (MDE) de la zona de estudio con informaciòn a escala 1:100.000	53
6-22. Mapa de Topografía de la zona de Estudio	55
6-23. Mapa de Gravedad de la zona de Estudio	56
6-24. Topografía de la zona de Estudio	57

1 Introducción

La obtención de señales de satélites para la determinación del posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire, se basa en el cálculo de una posición sobre la superficie (continental, marítima o aérea) terrestre midiendo las distancias de un mínimo de tres satélites de posición conocida, además un cuarto satélite aportará, además, la altitud. La precisión de las mediciones de distancia determina la exactitud de la ubicación final. La precisión de la posición depende de la exactitud de la información de tiempo. Sólo los cronómetros atómicos proveen la precisión requerida, del orden de nanosegundos. Para ello el satélite utiliza un reloj atómico para estar sincronizado con todos los satélites en la constelación.

Como antecedente en cuanto al aspecto náutico, la mayor necesidad de los navegantes marítimos es saber con certeza su ubicación, para así poder evitar los obstáculos, incluido lo sumergidos, que pudieran hacer zozobrar su nave; buscar zonas de interés comercial o identificar las carreteras virtuales trazadas sobre el mar. Diversos métodos y tecnologías son utilizados para un viaje seguro en el mar y el control de tráfico. Cuanto más denso el tráfico marítimo, cuanto más grandes las embarcaciones, o cuanto peor la visibilidad, mayor es el riesgo de una colisión que involucre no sólo pérdidas humanas y materiales, sino también daños ecológicos. [Delgado Rodríguez, 1998]

Respecto a los sistemas de navegación aérea, estos han evolucionado con el paso de los años gracias a las nuevas tecnologías que se desarrollan día tras día. El primer método de navegación aérea utilizado era el de utilizar referencias visuales ubicadas sobre la superficie de la tierra. Por medio del seguimiento de este tipo de referencias ubicadas sobre un mapa, era posible realizar el transporte de un avión de un punto a otro. Luego la aplicación de sistemas inerciales a bordo de la aeronave como lo es la brújula y sistemas de soporte de comunicación vía radio. El mayor método utilizado en la actualidad es la radionavegación aérea, el cual consiste en navegar sobre áreas donde existe una cobertura de una estación de radio en tierra a lo largo de una trayectoria. Estas estaciones transmiten señales que los equipos de electrónica de abordaje transforman en información legible a los pilotos para poder realizar la navegación aérea. El próximo paso de la navegación es la que se basa en la comunicación de los satélites con estaciones en tierra y también de forma directa con las aeronaves. [Molina Arévalo, 2012]

Por otra parte es de suma importancia poseer una información aeronáutica y náutica que

como se presentó anteriormente que permita la gestión de tráfico aéreo y marítimo. En el caso particular del aeropuerto Vanguardia se tendrá únicamente en cuenta la aplicación aeronáutica debido a la ausencia de superficie marítima o una superficie de agua representativa con alto tráfico marítimo o fluvial, sin embargo se realizara un análisis de los sistemas globales de navegación por satélite en el ambiente marítimo en su situación actual a nivel nacional e internacional. A pesar de que el aeropuerto Vanguardia no cuenta con situaciones de tráfico muy grandes, se pretende establecer la propuesta aplicativa para el soporte aeronáutico del aeropuerto que brinde toda la seguridad necesaria y que permita el desempeño de las actividades en el menor tiempo posible.

En este trabajo se realiza una revisión de los diferentes sistemas y dispositivos utilizados en la actualidad para llevar a cabo la navegación a aérea y marítima a nivel internacional y a su vez se planteara una propuesta con fines prácticos para el aeropuerto Vanguardia de la ciudad de Villavicencio. Cabe resaltar de se deben tener en cuenta características particulares de dicho aeropuerto en cuanto a condiciones geográficas, climatológicas y demás que estén relacionadas con el desempeño e implementación de sistemas de navegación GNSS y que únicamente se realizara la propuesta en el ámbito aeronáutico.

Por otra parte también se realizará una presentación de los distintos sistemas de navegación GNSS existentes en la actualidad a nivel regional o local, además de realizar una revisión de los componentes básicos de los sistemas globales de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System), GNSS.

Finalmente, en este trabajo, se pretenderá en caso de ser posible un modelamiento que represente la situación actual del aeropuerto Vanguardia y la situación propuesta donde se apliquen los resultados obtenidos permitiendo así concluir sobre ellos.

2 Marco teórico

2.1. Datos aeronáuticos

Representación de hechos, conceptos o instrucciones aeronáuticas de manera formalizada que permita que se comuniquen, interpreten, o procesen. El resultado sintetizado de la agrupación, análisis y formateo de datos aeronáuticos necesarios para la navegación aérea es lo que se considera Información Aeronáutica. [íaz]

2.2. Servicios de información aeronáutica

Encargados de recopilar, verificar y difundir la información aeronáutica mediante los medios adecuados. Esta información es imprescindible para que las operaciones aéreas se desarrollen con seguridad operacional, regularidad, economía y eficiencia. [íaz]

2.3. Historia del GNSS

Como ya se ha mencionado se entiende por GNSS, al conjunto de sistemas de navegación por satélite, como son el GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir los sistemas que son capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal. Sin embargo, el concepto de GNSS es relativamente reciente, puesto que su historia comienza en los años 70 con el desarrollo del sistema estadounidense GPS, que como ya hemos mencionado, tuvo en sus orígenes aplicaciones exclusivamente militares, y su cobertura a pesar de ser mundial, no era, como hoy se entiende “Global”, es decir, era un sistema de uso exclusivamente militar cuyo control estaba bajo el DoD (Department of Defense) de los Estados Unidos, y sometido a un estricto control gubernamental.

No es hasta que se empiezan a tener en cuenta sus aplicaciones civiles, cuando el Gobierno de los Estados Unidos encarga realizar diversos estudios a distintas agencias como a RAND, con el propósito de analizar la conveniencia de emplear esta tecnología con fines civiles.

Así pues, tras diversos estudios, es en los noventa, a partir de la segunda mitad, cuando esta tecnología comienza a emplearse con fines civiles, y a alcanzarse numerosos acuerdos entre el Gobierno Estadounidense y distintos países de todo el mundo. Siendo el GPS hasta el momento el único sistema de navegación por satélite plenamente operativo, y debido a que el gobierno ruso decide no seguir adelante con GLONASS, los estadounidenses tienen en este

período el control de los sistemas de posicionamiento con sus satélites.

Con el segmento espacial (red de satélites) perteneciente de manera exclusiva a los EEUU, el resto de países, como Japón, Australia, y el continente europeo, se centran en el desarrollo del segmento de tierra, es decir, de los centros de control y recepción de las señales GPS, y de elaborar sistemas de aumento (SBAS y GBAS) para dicha tecnología, que les permitan obtener un posicionamiento más preciso a través de distintos métodos que veremos más adelante.

Esto plantea inquietudes a nivel internacional, ya que, la capacidad que tienen los EEUU para emitir la señal civil del GPS es también la misma para distorsionarla o dejar de emitirla en caso de guerra o conflictos entre países (lo que se entiende como disponibilidad selectiva), surge así la necesidad para los demás países de tener su propio sistema de navegación por satélite, que les permita de manera autónoma disponer de esta tecnología sin dependencia de los EEUU.

Queda pues, un largo camino por recorrer para el resto de países en el desarrollo de nuevos sistemas de navegación por satélite. Europa plantea Galileo como sistema con un uso exclusivamente civil, si bien los gobiernos de los distintos países podrán emplearlo también con fines militares. Rusia relanza el proyecto GLONASS y otros países como China plantean el desarrollo de sistemas experimentales como COMPASS, la India IRNSS y Japón QZSS como sistemas regionales.

Si el GNSS plantea un futuro lleno de posibilidades, primero han de resolverse multitud de cuestiones, como capacidades de los nuevos sistemas, interoperabilidad con el GPS o costes entre otras cosas. Factores que implican a multitud de organizaciones, como agencias espaciales encargadas del desarrollo del sistema, gobiernos y otras agencias nacionales e internacionales encargadas de cuestiones legislativas.

Han proliferado en multitud de países agencias, publicaciones, asociaciones de GNSS con el fin de proponer aplicaciones, soluciones y acuerdos así como educar sobre esta tecnología, debido en parte a su prometedor futuro, y en parte a su complejo entorno internacional.

Hemos establecido ya un marco para definir qué características debe tener un sistema GNSS a estas alturas, ya que si bien el primero fue el GPS, su evolución así como el resto de sistemas que surjan en otros países deben tener una estructura básica muy similar para garantizar la interoperabilidad y las características entre distintos GNSS. [Lemmens,]

2.4. GNSS: definición de su composición, características y segmentos

Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos distintos: un segmento espacial, un segmento de control, un segmento de usuarios. No se entiende un GNSS sin alguno de estos tres elementos. Hasta ahora

la situación era la de sistemas dependientes del GPS, que no tenían segmento espacial, o que está en fase experimental, y por tanto son sistemas que por sí mismos no son completamente operativos, como el Galileo ahora en fase experimental.

Así, mientras que el segmento espacial hasta ahora ha pertenecido exclusivamente al GPS y al GLONASS (aunque su constelación de satélites no abarca una cobertura global), quedando relegados el resto de países a usarlos, los segmentos de control se han implantado de distinta manera en cada país (Japón, EEUU, Rusia) o continente (Europa), dando lugar a los sistemas de aumento basados en tierra o satélite, comentados anteriormente.

A continuación vamos a describir qué es lo que debe tener un GNSS en cada segmento para poder ser considerado como tal, y no un sistema de aumento dependiente de otro GNSS.

2.4.1. Segmento espacial

Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Mientras que los primeros orbitan alrededor de la Tierra, repartiéndose en distintos planos orbitales, los segundos son los que forman los llamados sistemas de aumento que sirven para la corrección de errores de posicionamiento.

- Satélites de navegación:

El segmento espacial de un GNSS debe tener el suficiente número de satélites de navegación, tales que éstos puedan garantizar una cobertura global en todo momento.

Además para ser lo suficientemente robusto en el servicio, ha de tener un número que le permita transmitir información de manera redundante en caso de que algún satélite deje de prestar servicio, o para que haya un mayor número de satélites en una zona que nos permitan obtener un posicionamiento más preciso.

Los satélites por otro lado, han de estar colocados en distintos planos orbitales de tal forma que se cubra toda la Tierra de manera global en todo momento (actualmente el GPS garantiza un mínimo de 5 satélites visibles en cualquier parte del mundo). Sin embargo dependiendo del número de satélites, la distribución dentro de estos planos orbitales no tiene porqué ser uniforme.

Aunque entraremos en más detalle sobre las características técnicas en posteriores capítulos, basta con saber que el GPS estadounidense en la actualidad tiene una constelación de 30 satélites, distribuidos en seis planos orbitales de manera no uniforme, ya que los satélites adicionales que proporcionan información redundante se han ido añadiendo poco a poco a la constelación originalmente uniforme de 24 satélites.[CIRA, sf]

- Satélites de comunicación:

Por otro lado, en el SS podemos encontrarnos satélites de comunicación GEO, que

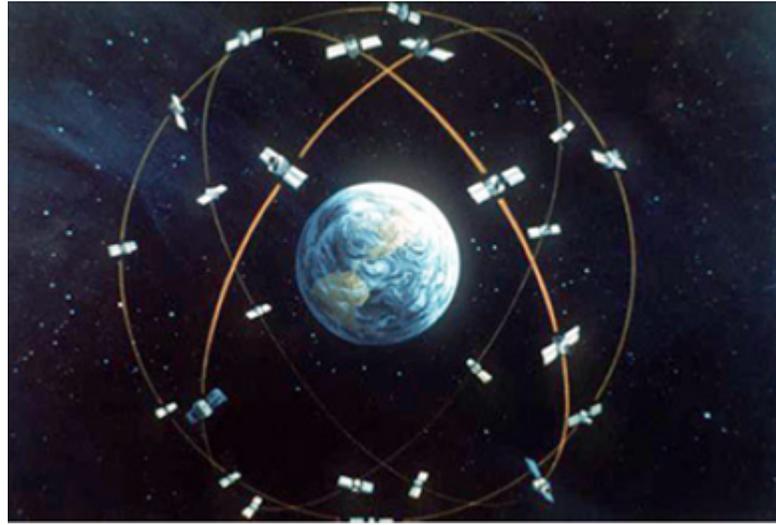


Figura 2-1: Constelación de satélites GPS [CIRA, sf]

forman los llamados sistemas de aumento, particulares de cada país. Dicho satélite retransmite la información con correcciones procedente del segmento de control, lo que aumenta la precisión del sistema. Ejemplos de sistemas de aumento son el WASS de EEUU, el EGNOS en Europa o el MFSAS de Japón y Australia.

2.4.2. Segmento de control

Formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Este segmento es complejo en su definición, siendo propio de cada país o coalición de países, y estructurándolos en función de distintos criterios como más convenga.

Sus funciones son garantizar las prestaciones del sistema mediante monitoreo del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites.

- Estructura del segmento de control:

La estructura básica para todo GNSS, es un conjunto de estaciones de monitorización y una estación de control, que reciben las señales de los satélites y son capaces de llevar a cabo las funciones anteriormente citadas.

Cada estación genera su propia información sobre el funcionamiento del sistema, en última instancia esta información se envía a una estación de control que aplica dichas correcciones al satélite del GNSS, en cuanto a su posición orbital y coordenadas temporales, o bien retransmite la información a un satélite geoestacionario que forma un sistema de aumento (como se hace en la actualidad con el GPS, en países que no tienen

un segmento espacial propio).

Como la posición de cada estación y las coordenadas temporales se conocen (cada estación está equipada con un reloj atómico de cesio), se pueden combinar las medidas obtenidas por varias estaciones para crear un sistema de navegación inverso que determine la localización espacial y temporal del satélite.

En última instancia se envía a través de las estaciones de monitorización o de control la nueva información al satélite, que corrige así su órbita y su mensaje de navegación.



Figura 2-2: Centro de control de misiones GPS. [Government, sf]

2.4.3. Segmento de usuario

Formado por los equipos GNSS que reciben las señales que proceden del segmento espacial. Este dispositivo está formado por un conjunto de elementos básicos que son:

- Antena receptora de GNSS a la frecuencia de funcionamiento del sistema, de cobertura hemisférica omnidireccional. Puede ser de muchas formas y materiales, dependiendo de las aplicaciones y del coste del receptor: monopolo, dipolo, dipolo curvado, cónico-espiral, helicoidal o microstrip.
- Receptor: es del tipo heterodino, basado en la mezcla de frecuencias que permite pasar de la frecuencia recibida en la antena a una baja frecuencia que podrá ser manejada por la electrónica del receptor. Contiene un reloj altamente estable (generalmente un oscilador de cristal) y normalmente una pantalla donde mostrar la información de posicionamiento.

Los receptores se encargan de tres funciones principales:

- Satellite Manager, que es la gestión de los datos que envía el satélite. En primer lugar el receptor está en modo INIT en el que se almacena el almanaque y el estado de los satélites en una memoria. Después pasa al modo NAV en el que almacena los datos necesarios para los cálculos.

- Select Satellite, que se encarga de encontrar los cuatro satélites con geometría óptima para la navegación, a partir de una lista de satélites visibles.
- SV Position Velocity Acceleration, que calcula la posición y velocidad de los satélites empleados en la navegación.



Figura 2-3: Receptor WOXTER 100 GPS con bluetooth

Este segmento ha evolucionado mucho, desde sus principios donde un receptor era capaz de captar la señal de cuatro o cinco satélites, hasta la actualidad que tienen hasta doce o veinte canales, lo que permite un mejor posicionamiento.

Además del número de canales (o señales de satélite que es capaz de captar), los receptores también se caracterizan por los sistemas de corrección internos (como DGPS) y también por los protocolos que utiliza con distintos fines, como comunicaciones entre dispositivos (mediante USB, Bluetooth o NMEA 0183).

Por último decir que es de vital importancia la existencia de acuerdos entre distintos GNSS de forma que los receptores de un sistema puedan recibir señales de los satélites de otro sistema o de sistemas de aumento, lo que implica que en la actualidad se trate de buscar un consenso de cómo deben evolucionar los GNSS.[?]

2.5. Prestaciones de los actuales sistemas GNSS

Ahora que ya hemos definido la estructura básica de un sistema global de navegación por satélite, vamos a analizar las prestaciones básicas que debe ofrecer. Aunque entraremos en detalle en el próximo capítulo sobre las prestaciones de cada sistema en particular, vamos a analizarlas en este apartado de manera común a todos:

- Cobertura: todo GNSS debe tener una cobertura mundial, es decir, una constelación de satélites que sea suficiente como para garantizar el funcionamiento del sistema en

cualquier parte del planeta. Como dijimos antes, necesitamos un mínimo de cuatro satélites para calcular las coordenadas espaciales y temporales.

- Disponibilidad: el sistema debe garantizar su normal funcionamiento durante un porcentaje muy elevado de tiempo, en torno al 95
- Precisión: el sistema debe proporcionar un posicionamiento espacial y temporal preciso. Hablamos de un rango de metros en aplicaciones civiles en la actualidad, que varían de un sistema de aumento a otro; y de centímetros para aplicaciones militares del GPS.
- Integridad: la integridad es un concepto fundamental en la navegación. Hace referencia a cómo de fiables son los datos que se están usando para seguir una determinada ruta o realizar una determinada operación. Para cuantificar la integridad, se suele expresar el riesgo de pérdida de integridad como la probabilidad de un fallo no detectado. Es decir los satélites deben transmitir información fiable y no errónea.
- Continuidad de servicio: concepto que se refiere sobre todo al servicio prestado por el GPS, ya que el Gobierno Norteamericano podría apagar la señal civil que generan sus satélites, terminando o interrumpiendo así su servicio.

Así para garantizar todas las prestaciones del sistema, se debe tener el control del mismo, ya que la dependencia de otros sistemas, ya sea GPS o GLONASS, hace que los países sin su propio Sistema de Navegación por Satélite, no puedan garantizar dichas prestaciones; si bien con los sistemas de aumento si podemos garantizar algunas de éstas.[Universidad de Valladolid, sf]

2.6. Funcionamiento de un sistema GNSS

En este apartado vamos a cubrir los aspectos clave del funcionamiento de los GNSS.

Ahora que conocemos su estructura básica y las prestaciones que debe ofrecer, vamos a ver el proceso que se da desde que se envía la información hasta que se recibe, y como se aprovecha dicha información para calcular el posicionamiento.

El funcionamiento de un Sistema de Navegación por Satélite involucra los distintos segmentos vistos anteriormente, de tal manera que se relacionan entre sí:

- Segmento espacial: envía la señal que se recibe en los segmentos de control y usuario.
- Segmento de control: recibe la señal del segmento de espacio, monitoriza y actualiza información enviando correcciones a los satélites si es preciso.
- Segmento de usuario: recibe información procedente del segmento espacial y calcula su posición.[Holanda Blas, 1998]



Figura 2-4: Funcionamiento de un GNSS. [Pérez Martínez, 2005]

2.6.1. ¿Cómo se calcula la posición?

El cálculo de la posición depende básicamente de dos parámetros que son la posición del satélite y el reloj del mismo. Dicha información es recogida en la señal enviada por el satélite hasta el receptor, siendo el proceso de cálculo el siguiente:

- La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides, parámetros que son transmitidos por los propios satélites.
- El receptor GNSS mide su distancia de los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz (salvo algunas correcciones que se aplican), se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Son necesarios al menos cuatro satélites para obtener la posición, con tres satélites somos capaces de calcular la posición en tres dimensiones, mientras que el cuarto nos permite eliminar los errores de sincronismo.

Podemos resumir esto en el siguiente sistema de ecuaciones:

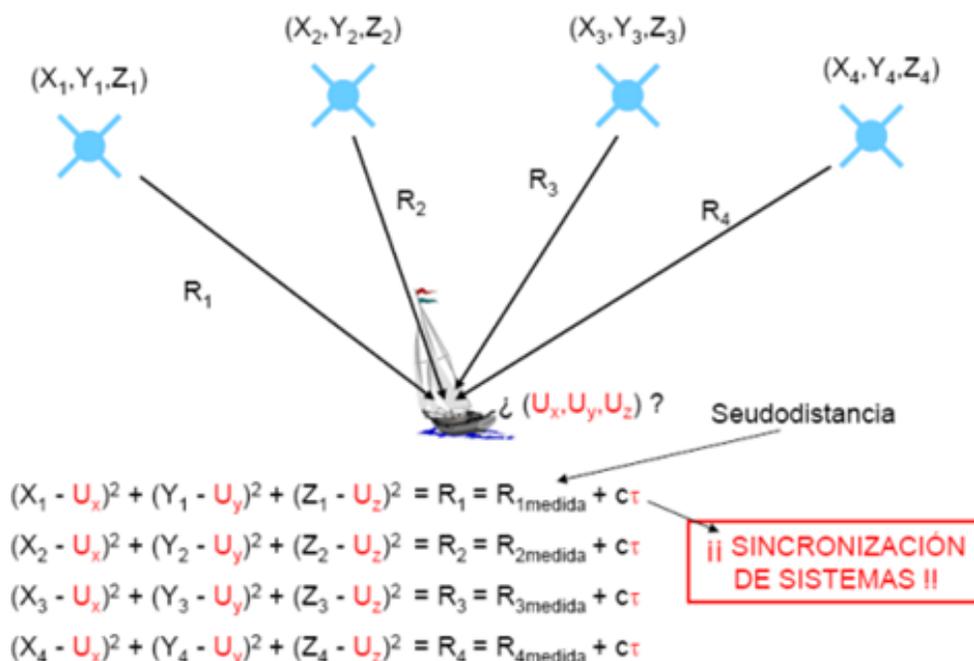


Figura 2-5: Representación esquemática del funcionamiento del GNSS. [Pérez Martínez, 2005]

2.6.2. Fuentes de error

La información procedente de cada satélite que viaja en una señal puede verse afectada por distintas fuentes de error:

- Efectos atmosféricos
- Efectos multitrayecto
- Errores de efemérides y reloj
- Errores debido a la relatividad
- Disponibilidad selectiva

Estos errores que degradan la precisión del servicio, han hecho que surjan como ya se han comentado sistemas de mejora para obtener mayores prestaciones. [Holanda Blas, 1998]

2.6.3. GPS en la navegación aérea

En 1983 como resultado del trágico desastre, en que el vuelo 707 de la aerolínea coreana fue destruido por penetrar en territorio restringido, los Estados Unidos ofrecieron el uso del

Sistema GPS sin cargo a la comunidad mundial para que puedan navegar con más precisión.

El Sistema GPS se ha convertido en algo indispensable para la aviación civil alrededor del mundo. La exactitud del sistema permitió que se acomodaran más vuelos en cada ruta, ahorrarán combustible gracias a vuelos más directos y aproximaciones más eficientes. Además mejoró el grado de seguridad en los vuelos.

A pesar de que el sistema GPS añadió estos importante beneficios aún no se considera por sí solo una solución final para la navegación de aeronaves. Algunos procedimientos de vuelo en las cercanías de los aeropuertos aún requieren instrumentos de navegación adicionales.

El GPS sólo no cumple con los requisitos de exactitud, disponibilidad, continuidad e integridad para ser un medio único o principal de navegación aérea en cada fase del vuelo; por lo tanto, para mejorar y cumplir con dichos requisitos se ha desarrollado sistemas de aumentación GPS (de área amplia y de área local). [Emilse,]

3 Posicionamiento por Punto Preciso (PPP)

Teniendo en cuenta que el Posicionamiento de Punto Preciso (PPP) es una estrategia de post-procesamiento GPS que usa observaciones no-diferenciadas de pseudo-distancias y fases portadoras de doble frecuencia, en conjunto con productos IGS precisos (órbitas y relojes GPS), para la estimación absoluta de posiciones geodésicas ya sean estáticas o cinemáticas de alta exactitud.

Las posiciones se refieren a receptores operando individualmente, es decir, no requieren de observaciones simultáneas que los enlacen a una estación de referencia con coordenadas conocidas.

Allí se muestran ecuaciones repartidas en dos procedimientos, uno es Pseudo-distancia basadas en códigos y las pseudo-distancias basadas en fases portadoras.

- Pseudo-distancias basadas en códigos:

Allí se afirma que esta pseudo-distancia aparece por la velocidad de la luz (c) multiplicada por la diferencia de tiempo (t), donde esta última es afectada por el error del satélite (S) y el error del reloj del receptor (δ), por lo tanto la pseudo-distancia se representa como:

$$R = c \cdot \Delta t$$

Adicionalmente se asume un tiempo de referencia común para el satélite y el receptor, en este caso, el del GPS, se descompone la diferencia de tiempo en el tiempo de ejecución ($t(GPS)$) y el error del reloj del receptor (δ) por lo que se observa de la siguiente manera:

$$R = c \cdot \Delta t(GPS) + c \cdot \delta = \rho + c\delta$$

Donde (ρ) es la distancia geométrica entre el satélite y el receptor.

- Pseudo-distancias en fases portadoras:

Se modela por la siguiente ecuación:

$$\lambda \cdot \phi = \rho + c \cdot \delta + \lambda \cdot N$$

Donde se introduce la longitud de la onda portadora (λ), (ρ) representa la distancia entre el satélite en la época de emisión (t) y el receptor en la época de recepción ($t + \Delta t$). Teniendo

en cuenta que las mediciones de fase son ambiguas, ya que el numero inicial (N) de ciclos entre el satélite y el receptor es desconocido. [Acuña, 2008]

El procesamiento de punto preciso (PPP) destaca como metodología para proporcionar coordenadas con precisión inferior al centímetro, esto debido a factores como el aumento de servicios globales de GNSS, efemérides con un alto grado de precisión y relojes calibrados para medir diferencias de tiempo en nanosegundos; afinando la medición y corrección en tierra de las variables asociadas a los satélites; se proporciona una solución altamente robusta y redundante.

El algoritmo PPP utiliza como entradas las observaciones de fase y código de un receptor de doble frecuencia y las orbitas precisas de los satélites en combinación con los relojes, para el cálculo de coordenadas precisas es decir, se coordina, el reloj de receptor con el reloj abordo del satélite, el retardo cenital troposférico y las ambigüedades de fase. Los datos recolectados en el archivo RINEX se procesan junto a las correcciones provenientes de la dinámica terrestre.

Las ecuaciones que se utilizan son:

$$\ell_P = \rho + c(d_t - d_T) + T_r + \epsilon_P \quad \ell_\phi = \rho + c(d_t - d_T) + T_r + N\lambda + \epsilon_\phi$$

Dónde:

ℓ_P : Es la combinación libre de ionósfera de L1 y L2 pseudorángos.

ℓ_ϕ : Es la combinación libre de ionósfera de L1 y L2 fase portadora.

d_t : Es la delta entre el reloj del receptor y el tiempo GPS.

d_T : Es la delta entre el reloj del satélite y el tiempo GPS.

c : Es la velocidad del vacío de la luz.

T_r : Es el retardo de la señal debido a la atmósfera neutral (principalmente la troposfera).

λ : Es la longitud de onda portadora.

N : Es la ambigüedad de no-entera de la combinación libre de ionosfera de la portadora.

$\epsilon_P, \epsilon_\phi$: Es la medición de las componentes de ruido.

El símbolo ρ es el pseudorango computado en función del satélite (X,Y,Z) y la estación de (x,y,z) coordenadas a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho = \sqrt{(X_S - x)^2 + (Y_S - y)^2 + (Z_S - z)^2}$$

Se expresa el retardo troposférico (T_r) en función del retraso zenital (ZDP) con la función de mapeo (M), relacionando el retraso troposférico, con el ángulo de elevación del satélite, mientras se elimina el delta de tiempo de los satélites el cual es conocido (dT). El resultado es:

$$f_P = \rho + c.dt + Mzdp + \epsilon_P - \ell_P = 0 \quad f_\phi = \rho + c.dt + Mzdp + N\lambda + \epsilon_\phi - \ell_\phi = 0$$

Con la aplicación de estas ecuaciones se realiza un ajuste y posterior formulación matemática lo que soluciona el problema de la incertidumbre sobre las coordenadas del punto en el cual

se realizó la observación, a esta se realizan unas correcciones que son: offset de la antena del satélite, Phase wind-up por desplazamientos terrestres.

- Offset de la antena del satélite:

Corrección que se origina en la diferencia entre el centro de masa y centro de fase de la antena, estos se presentan en (X_S, Y_S, Z_S) como se observa en la siguiente imagen.

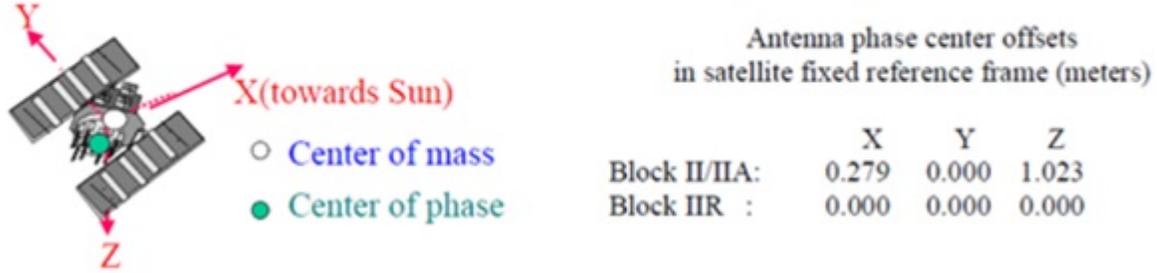


Figura 3-1: Corrección offset [Taborda, 2017]

- Phase wind-up

Los satélites de la constelación (NAVSTAR) transmiten ondas de radio polarizadas a circular derecha (RCP) por lo tanto la fase portadora observada depende de la orientación mutua de las antenas del satélite y el receptor. Una rotación de cualquier receptor alrededor de su eje (vertical) cambia la fase portadora a un ciclo de longitud de onda que corresponde a una revolución completa de la antena, ese efecto se llama “phase wind-up”. La corrección de phase se evalúa con productos vectoriales internos y producto punto así:

$$\Delta\phi = \text{sign}(\zeta) \arccos\left(\frac{\vec{D} \cdot \vec{\phi}}{|\vec{D}| |\vec{\phi}|}\right)$$

- Desplazamientos terrestres:

Toda observación realizada sobre la superficie terrestre se ve sometida a aparentes movimientos periódicos de la tierra, la suma de estos se expresa en diferenciales de posición en dirección de los tres ejes coordenados que no son incluidos en la solución por fase o código de la observación, por lo tanto, si se desea corregir estos movimientos y obtener una coordenada filtrando los efectos propios de la corteza terrestre como las cargas oceánicas y los desplazamiento del polo, se debe calcular el valor para el momento de la observación, explicado a continuación:

$$\Delta \vec{r} = \sum_{j=2}^3 \frac{GM_j r^4}{GM r^3} \left\{ [3l_2 (\widehat{R}_j \cdot \widehat{r}) \widehat{R}_j + [3\left(\frac{h_2}{2}\right) (\widehat{R}_j \cdot \widehat{r})^2 - \frac{h_2}{2}] \widehat{r}] + [-0,025m \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \cdot (\theta_g + \lambda)] \cdot \widehat{r} \right\}$$

[Taborda, 2017]

4 Delimitación de la zona de estudio

Para el desarrollo del trabajo se utilizara un área que comprenda El aeropuerto el Dorado en Bogotá y el aeropuerto Vanguardia en Villavicencio. Para ello se determinó un rectángulo que posee las coordenadas presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 4-1: Coordenadas para la delimitación del área de estudio

Esquina	Latitud	Longitud
Superior Izquierda	4.816°N	74.433°O
Superior Derecha	4.816°N	73.129°O
Inferior Derecha	3.703°N	73.129°O
Inferior Izquierda	3.703°N	74.433°O

Por lo tanto, el área de estudio comprende un total de 72 municipios pertenecientes a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Huila y Meta.

A priori, se puede determinar que para realizar la ruta que comprende el trayecto de Bogotá a Villavicencio es necesario sobrevolar por los municipios de:

- Bogotá D.C.
- Choachí
- Ubaque
- Cáqueza
- Fómeque
- Quetame
- El Calvario
- Guayabetal
- Villavicencio

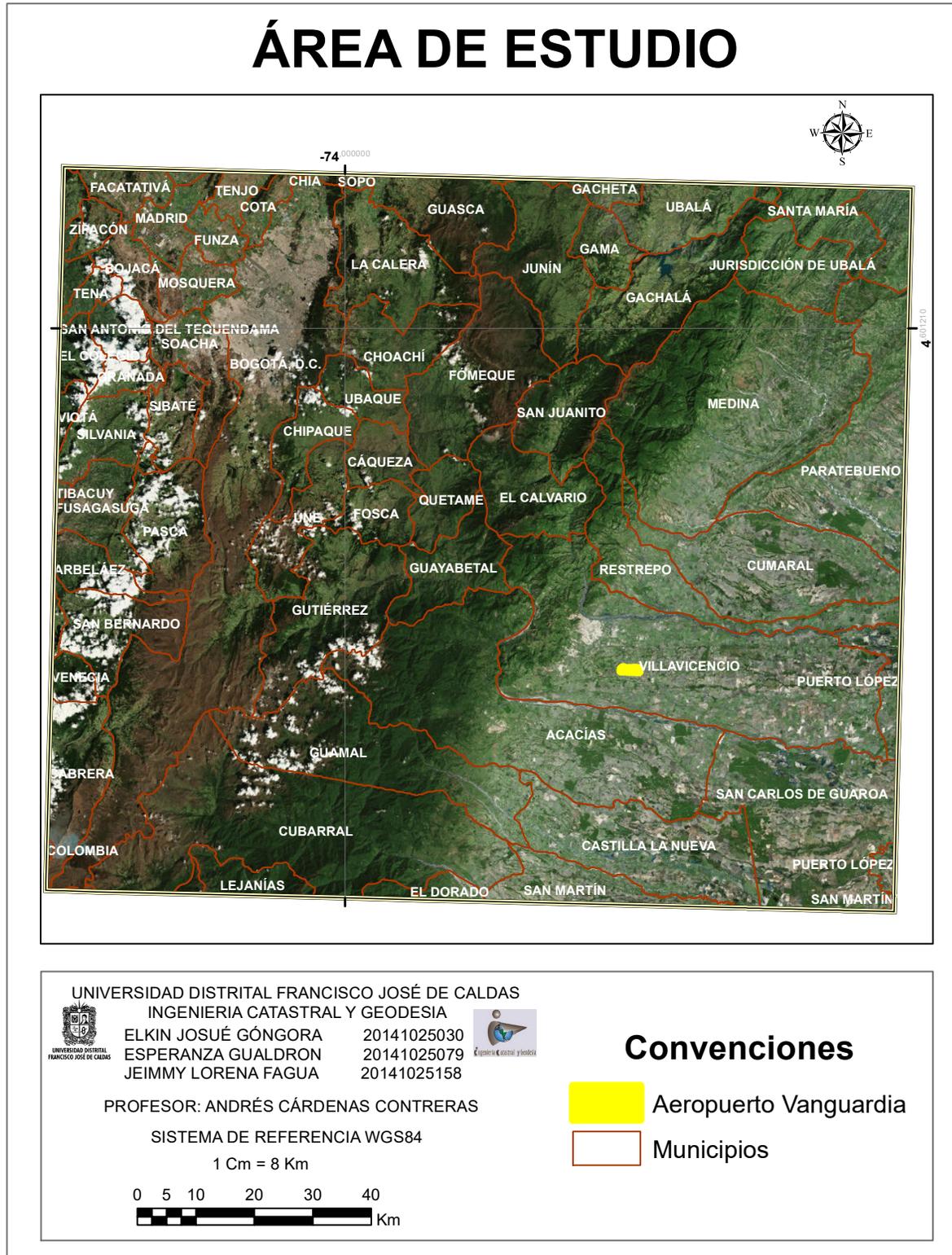


Figura 4-1: Municipios pertenecientes al área de estudio



Figura 4-2: Esquema general de Vías y drenajes del área de estudio

5 Metodología y Datos

5.1. Insumos y Datos

Para el trabajo se utilizaron en primera instancia datos de la red MAGNA – ECO, del geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, de donde se obtuvieron datos en formato RINEX de las siguientes estaciones:

- ABPW, correspondiente al municipio de Bogotá D.C.
- BNGA, correspondiente al municipio de Bugaramanga
- BOGA, correspondiente al municipio de Bogotá D.C.
- BOGT, correspondiente al municipio de Bogotá D.C.
- CALI, correspondiente al municipio de Cali
- DORA, correspondiente al municipio de La Dorada
- ABPD, correspondiente al municipio de Bogotá D.C.
- NEVA, correspondiente al municipio de Neiva
- POPA, correspondiente al municipio de Popayán
- SNSN, correspondiente al municipio de Sonsón
- TUNA, correspondiente al municipio de Tunja
- VIVI, correspondiente al municipio de Villavicencio
- ZARZ, correspondiente al municipio de Zarzal
- FQNE, correspondiente al municipio de Fuqueme
- IBAG, correspondiente al municipio de Ibagué
- MEDE, correspondiente al municipio de Medellín

Cabe resaltar que dichos datos fueron obtenidos para el día satelital 214 que corresponde al 5 de Septiembre de 2018 y el día satelital 166 que corresponde al 19 de Julio de 2018.

Por otra parte, se obtuvieron datos de la plataforma TOPEX POSEIDON de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) con las coordenadas del área de estudio, dichos datos de topografía y datos de gravimetría son extraídos del modelo mundial de altimetría para su modelamiento y obtención de modelos digitales de elevación (MDT).

EXTRACT XYZ GRID - TOPOGRAPHY OR GRAVITY

Extract topography or gravity data from global 1-minute grids in ASCII XYZ-format. Latitude range is +/- 80.738. Topography is V18.1 and Gravity is V24.1.

Note that odd values of topography (e.g., -2001m) are constrained by actual soundings while even values (e.g., -2000m) are predicted from gravity. Therefore one can extract the locations of the ship sounding.

EXAMPLE
-10.1
359.5 360
-13
(Any values between -360 and 360 are acceptable)

Enter data window.

4.598888E
north
-74.08083west east-73.62638
south
4.141944E

Topography Gravity

get data

Note the program cannot span 0 longitude.
Also, these files can get quite large, so you may have to divide the area up into smaller chunks.

Topography Reference:
Smith, W. H. F., and D. T. Sandwell, Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, Science, v. 277, p. 1957-1962, 26 Sept., 1997.

Gravity References:

Figura 5-1: Descarga de datos de Topografía y gravimetría de la plataforma TOPEX POSEIDON

Adicionalmente, se obtuvieron datos de cartografía básica a diversas escalas (1:100.000 y 1:500.000) para el manejo de información y coberturas a diferentes escalas. Dicha información se fundamenta en datos de topografía, de hidrografía, de vías terrestres y de divisiones políticas municipales y departamentales.

5.2. Metodología

La metodología y el proceso en el que se desarrolló el proyecto se divide en tres partes, la primera parte de la metodología se centra en la descarga y post-procesamiento de los rínx anteriormente nombrados desde la plataforma MAGNA-ECO y el Instituto Brasileño de Geografía y estadística (IBGE), tal y como se indica a continuación:

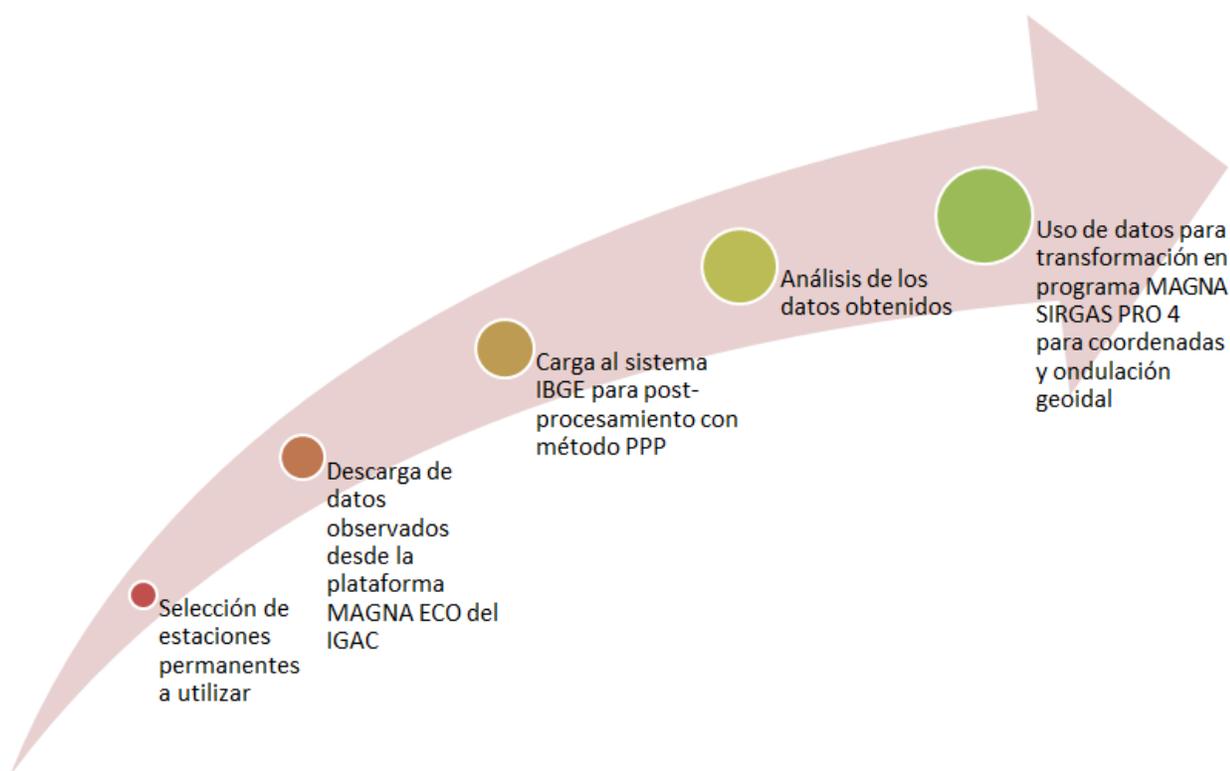


Figura 5-2: Flujo de trabajo de datos RINEX, postprocesamiento y aplicación de MAGNA SIRGAS PRO4

Inicialmente se procedió a seleccionar las estaciones permanentes que se iban a utilizar en el proyecto, esta selección se determinó por la cercanía de estas al Aeropuerto Vanguardia ubicado en la ciudad de Villavicencio departamento del Meta.

La totalidad de estaciones seleccionadas fue de 16, adicionalmente y como ya se había nombrado se realizó para dos fechas, que inicialmente se esperaba fueran de años distintos cuyo intervalo fuera cerca de 10 años es decir, año 2008 y años 2018, pero ante la dificultad de hallar los datos se tomaron dos fechas, 19 de julio y 05 de septiembre de 2018.



Figura 5-3: Selección de estaciones en MAGNA ECO

Al tenerlas seleccionadas se procedían a descargar los RINEX correspondientes a datos observados del total de las 16 estaciones: Ya con los datos descargados el paso a seguir era realizar



Figura 5-4: Descarga de RINEX observados

el post-procesamiento por PPP el cuál se puede realizar por medio de diversas herramientas que ofrecen las instituciones via web, como es el caso de Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), cuyo servicio lo define como: Servicio en línea para el procesamiento posterior de datos GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Permite a los usuarios de GPS obtener coordenadas de alta precisión en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS2000) y en el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). En el posicionamiento GPS, el término Posicionamiento preciso de puntos normalmente se refiere al proceso de obtención de posiciones de estación mediante observaciones de onda portadora

recopiladas por receptores de doble frecuencia en combinación con productos IGS (Servicio internacional de GPS).

IBGE-PPP procesa los datos GPS que se recopilaron en modos estáticos o cinemáticos de receptores de frecuencia única o doble. Solo se aceptan los datos GPS seguidos después del 25 de febrero de 2005, ya que esa fue la fecha en que SIRGAS2000 fue oficialmente adoptado en Brasil.

Este servicio de posicionamiento utiliza la aplicación de procesamiento CSRS-PPP desarrollada por la División de Estudios Geodésicos de Recursos Naturales de Canadá (NRCan). [IBGE,] Ya en el aplicativo se procede a la carga del dato RINEX, se indica si el post-procesamiento se realizará en estático o cinemático y la altura de la antena, se ingresa el correo electrónico y se procesa:

Figura 5-5: Post-procesamiento en IBGE

Allí se mostrara el avance del proceso hasta su finalización donde aparece un mensaje como el que se muestra a continuación y se procede a la descarga de los resultados.



Figura 5-6: Post-procesamiento en IBGE

Dependiendo de si se realizó por método estático o cinemático arroja más o menos archivos. Teniendo los datos, se procede a ingresarlos a MAGNA SIRGAS PRO 4 donde haciendo uso de las coordenadas elipsoidales obtenidas a partir del post-procesamiento para transformarlas ya sea a coordenadas Gauss Kruger, geocéntricas y cartesianas: Adicionalmente con los

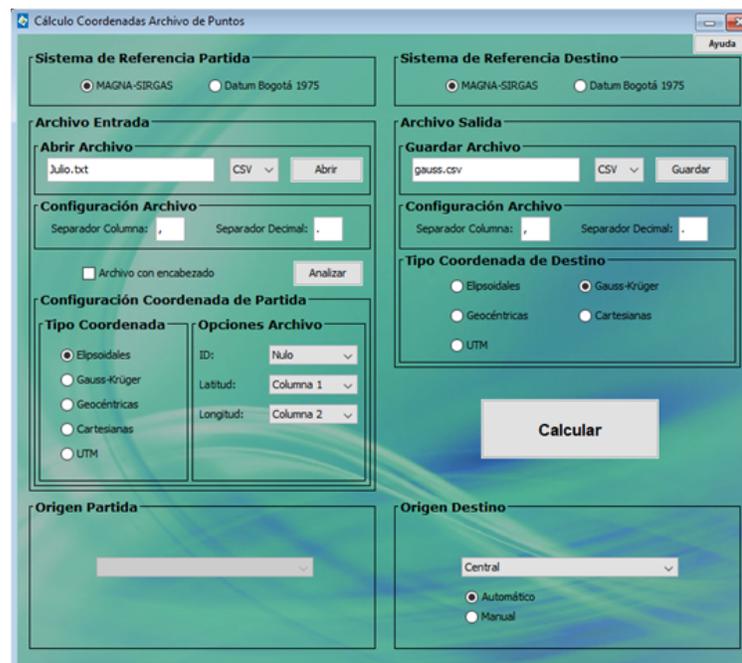


Figura 5-7: Transformación de coordenadas en MAGNA SIRGAS PRO 4

mismos datos se procedió a calcular la ondulación geoidal y con este dato, se obtuvo la altura ortométrica (H):

$$H = h - N^*$$

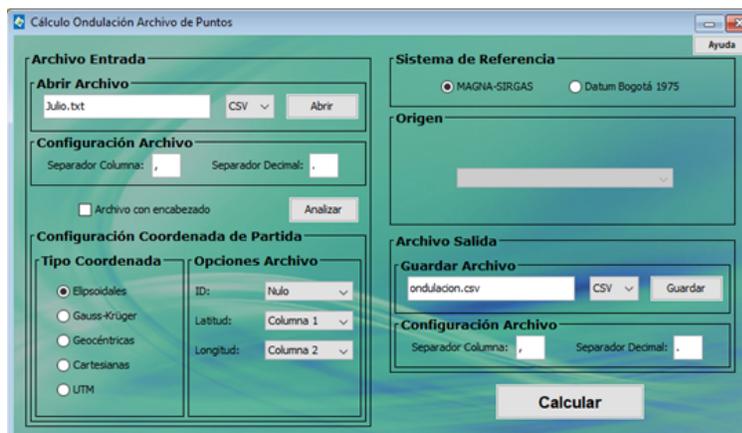


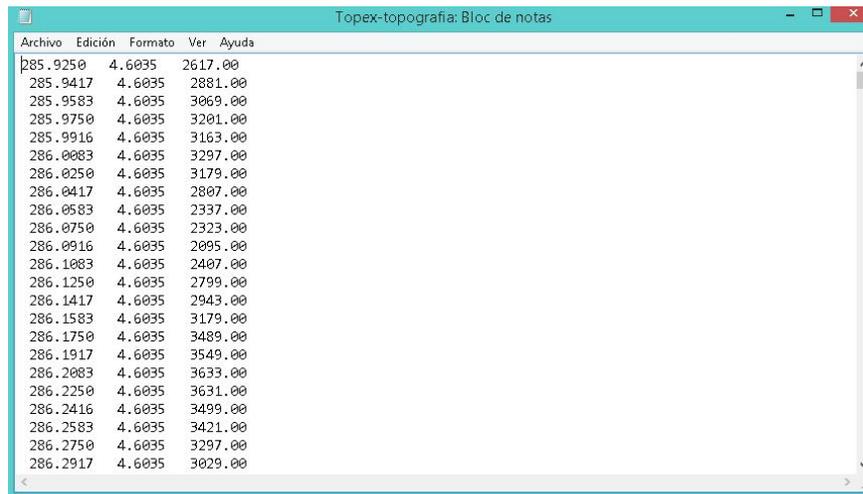
Figura 5-8: Ondulación geoidal en MAGNA SIRGAS PRO 4

La segunda es el tratamiento de los datos de altimetría de TOPEX POSEIDON en el software Surfer. El flujo de trabajo es presentado a continuación:



Figura 5-9: Flujo de trabajo de los datos de altimetría de TOPEX POSEIDON

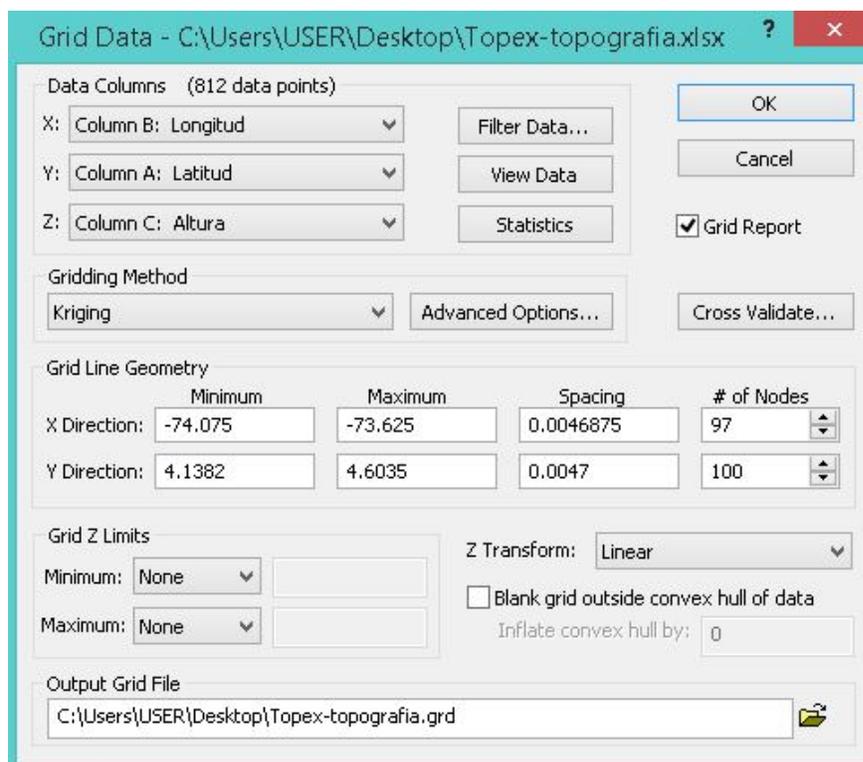
Con los datos obtenidos del portal TOPEX en formato .txt es necesario transformarlos en un formato de Excel rotulando y transformando las coordenadas a latitud, longitud y altura.



Column B: Longitud	Column A: Latitud	Column C: Altura
285.9250	4.6035	2617.00
285.9417	4.6035	2881.00
285.9583	4.6035	3069.00
285.9750	4.6035	3201.00
285.9916	4.6035	3163.00
286.0083	4.6035	3297.00
286.0250	4.6035	3179.00
286.0417	4.6035	2807.00
286.0583	4.6035	2337.00
286.0750	4.6035	2323.00
286.0916	4.6035	2095.00
286.1083	4.6035	2407.00
286.1250	4.6035	2799.00
286.1417	4.6035	2943.00
286.1583	4.6035	3179.00
286.1750	4.6035	3489.00
286.1917	4.6035	3549.00
286.2083	4.6035	3633.00
286.2250	4.6035	3631.00
286.2416	4.6035	3499.00
286.2583	4.6035	3421.00
286.2750	4.6035	3297.00
286.2917	4.6035	3029.00

Figura 5-10: Datos crudos obtenidos de Topex poseidon

Una vez realizado esto, es necesario generar una grilla en el software Surfer en formato .grd y adicionarla al área de trabajo una vez adicionada se pueden generar modelos, planos y mapas que serán adoptados como resultados.



Grid Data - C:\Users\USER\Desktop\Topex-topografía.xlsx

Data Columns (812 data points)

X: Column B: Longitud

Y: Column A: Latitud

Z: Column C: Altura

Gridding Method: Kriging

Grid Line Geometry

	Minimum	Maximum	Spacing	# of Nodes
X Direction:	-74.075	-73.625	0.0046875	97
Y Direction:	4.1382	4.6035	0.0047	100

Grid Z Limits

Minimum: None

Maximum: None

Z Transform: Linear

Blank grid outside convex hull of data

Inflate convex hull by: 0

Output Grid File: C:\Users\USER\Desktop\Topex-topografía.grd

Figura 5-11: Generación de la grilla con los datos de topografía en el software Surfer

Análogamente, se realizó el mismo procedimiento para los datos de gravimetría específicamente los datos de gravedad, aunque los datos son más reducidos cabe resaltar que en el paso de los datos a formato libro de Excel es necesario aumentar la altura real sumándole 100 unidades de altura que corresponden a metros sobre el nivel del mar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Latitud	Longitud	Altura						
2	4,6035	-74,075	280,7						
3	4,6035	-74,0583	322,7						
4	4,6035	-74,0417	357,9						
5	4,6035	-74,025	379,7						
6	4,6035	-74,0084	381,3						
7	4,6035	-73,9917	361,1						
8	4,6035	-73,975	322,7						
9	4,6035	-73,9583	272,6						
10	4,6035	-73,9417	223,4						
11	4,6035	-73,925	184,9						
12	4,6035	-73,9084	168,4						
13	4,6035	-73,8917	178,3						
14	4,6035	-73,875	214,2						
15	4,6035	-73,8583	271						
16	4,6035	-73,8417	335,9						
17	4,6035	-73,825	398,6						
18	4,6035	-73,8083	445,6						
19	4,6035	-73,7917	470,3						
20	4,6035	-73,775	469,1						
21	4,6035	-73,7584	444,3						
22	4,6035	-73,7417	403,8						
23	4,6035	-73,725	355,5						
24	4,6035	-73,7083	310,0						

Figura 5-12: Transformación de los datos de gravimetría - gravedad a formato libro - Excel

Este procedimiento se realizó de esta manera, dado que la altura mínima presente está en el rango de 0 metros sobre el nivel del mar y -100 metros sobre el nivel del mar y el software Surfer no identifica alturas negativas o profundidades únicamente alturas positivas.

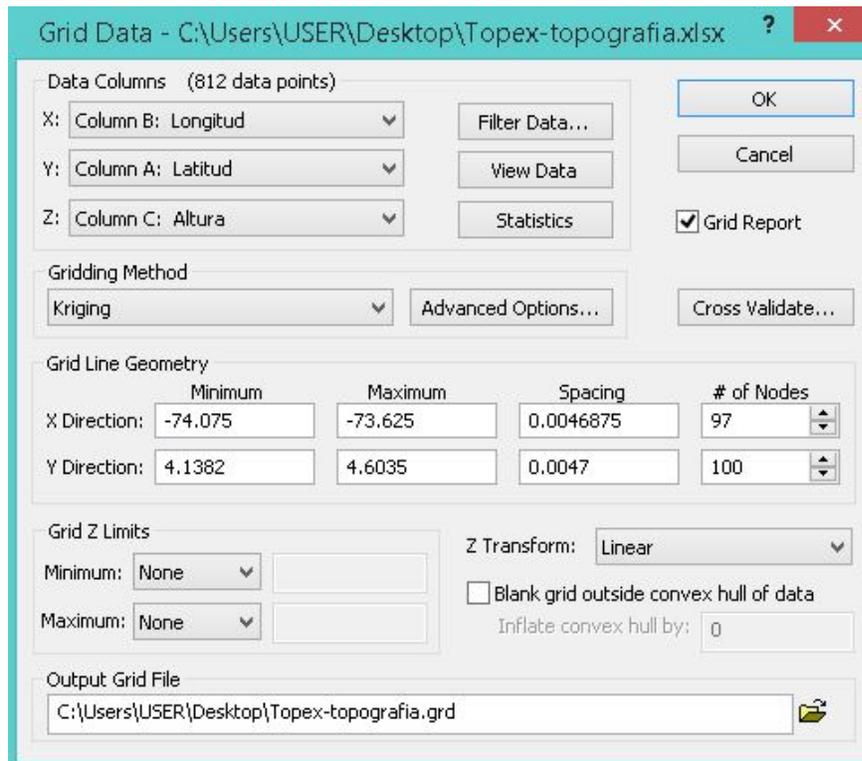


Figura 5-13: Generación de la grilla con los datos de gravimetría - gravedad en el software Surfer

La tercera parte de la metodología se centra en el tratamiento de los datos obtenidos de la cartografía básica para la generación de modelos digitales de elevación (MDE) y la identificación de coberturas como vías y drenajes en el área de estudio. El flujo de trabajo es presentado a continuación:

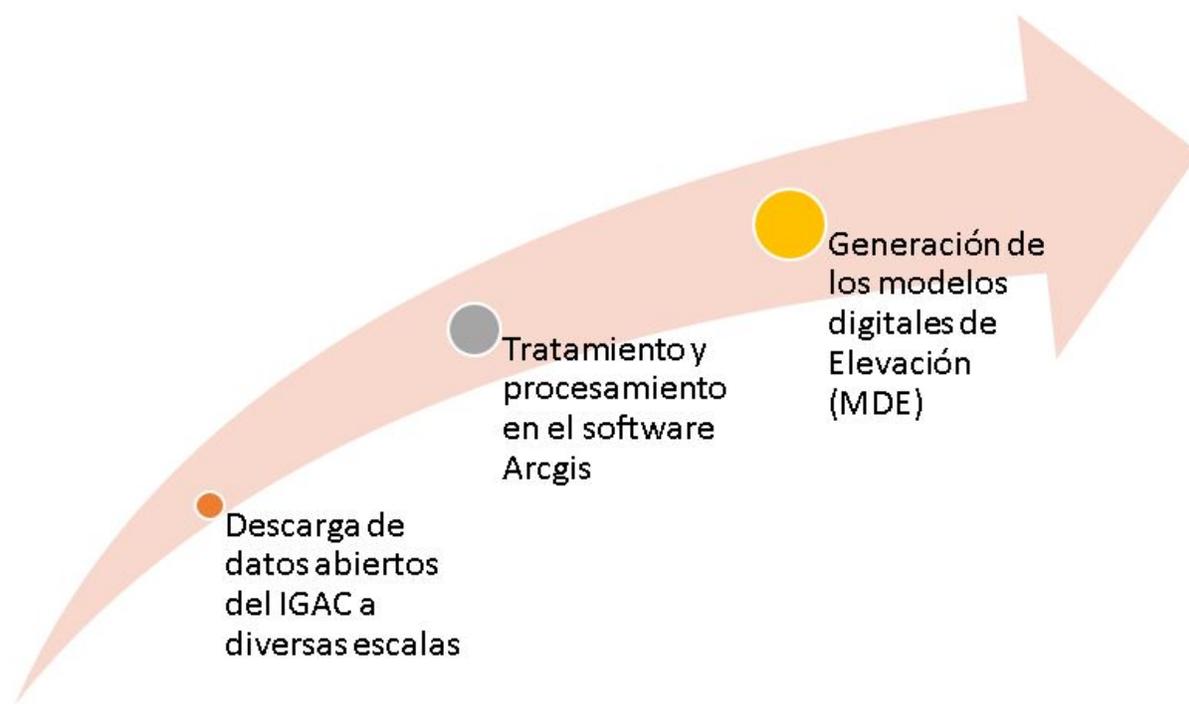


Figura 5-14: Flujo de trabajo de los datos de cartografía básica

Con los datos obtenidos de la cartografía abierta del IGAC es necesario hacer un filtrado de la información que corresponda al área de estudio de todas las capas tales como municipios, departamentos, drenajes y vías además de la georeferenciación de los aeropuertos del DO-RADO de Bogotá y VANGUARDIA de Villavicencio.

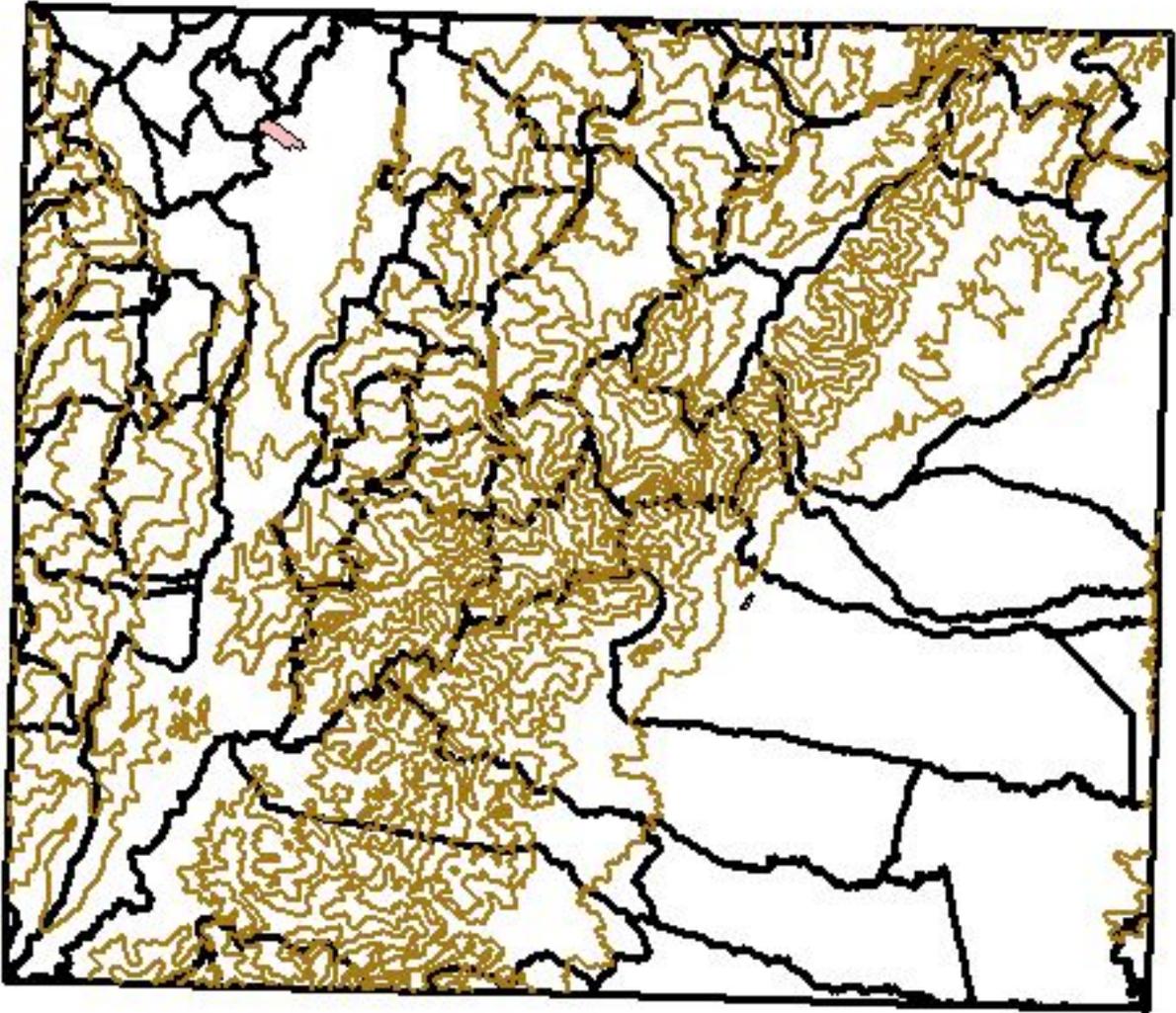


Figura 5-15: Filtrado de la topografía respecto al área de estudio y los aeropuertos El Dorado y Vanguardia

En este punto con el procesamiento en el software Arcgis se obtienen modelos digitales de elevación (MDE) que pueden ser visualizados y sobre los cuales se pueden referenciar las coberturas. Es importante aclarar que se manejaron las escalas 1:100.000 y 1:500.000 y que las diferencias entre la información a estas escalas pueden ser visualizadas en los resultados que serán analizados en el siguiente capítulo.

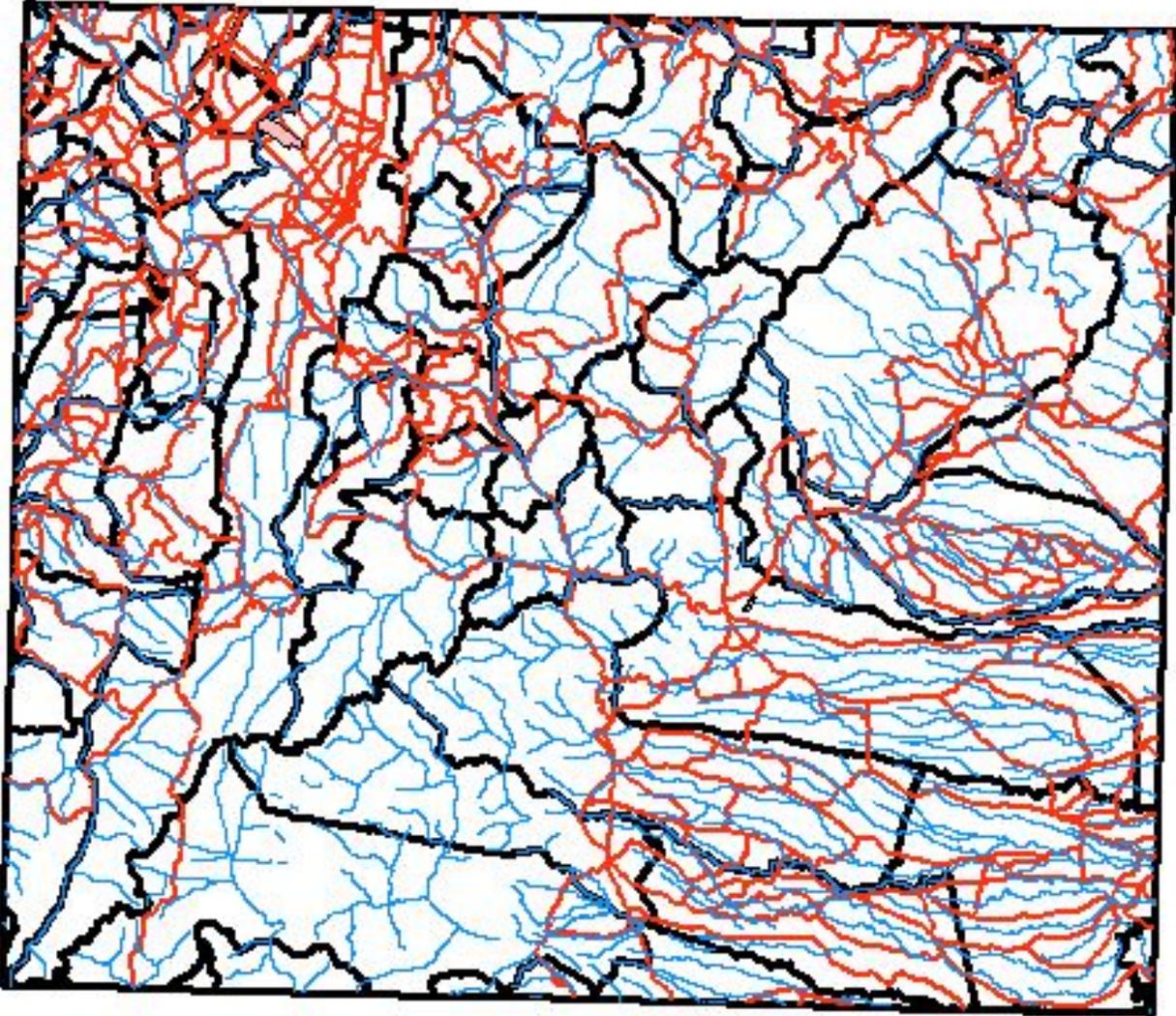


Figura 5-16: Filtrado de la información de vías y drenajes respecto al área de estudio y los aeropuertos El Dorado y Vanguardia

6 Análisis de resultados

6.1. Posicionamientos por Punto Preciso PPP

A partir del procesamiento por PPP realizado por el aplicativo web del Instituto Brasileño de Geografía y estadística de pudieron obtener, en primera instancia las coordenadas precisas que nos permitieron la ubicación de las estaciones a utilizar en el proyecto, adicionalmente el procesamiento por punto preciso del IBGE nos arroja las coordenadas UTM, los sigmas correspondientes a (ϕ, λ, h) y la altura de la antena.

Adicionalmente nos indica acerca de las condiciones en que se realizó el procesamiento, como lo son: El modelo geoidal el cual es MAPGEO2015. nos indica que no se genera la ondulación geoidal y la altura ortométrica debido a que se esta procesando un punto que se encuentra fuera del perimetro de Brasil.

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	2° 26' 35,2072"	-76° 36' 04,3422"	1.782,19	270145.114	321963.467	-75
Na data do levantamento ⁵	2° 26' 35,2141"	-76° 36' 04,3403"	1.782,19	270145.326	321963.526	-75
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,001	0,002	0,004			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	Fora do Contorno do Brasil					
Altitude Ortométrica (m)	Fora do Contorno do Brasil					

Figura 6-1: Resultados procesamiento en IBGE

Es importante resaltar que las coordenadas manejadas fueron las elipsoidales, pese a que se realizó posteriormente una transformación de coordenadas para la realización del proyecto se manejó bajo el sistema WGS84.

Adicionalmente y como ya se habia nombrado anteriormente y debido a que no se generó ondulación y altura ortométrica en el procesamiento se realizó en MAGN SIRGAS PRO 4.

También se realizó la ubicación del aeropuerto Vanguardia, teniendo en cuenta que es elemento principal del proyecto.

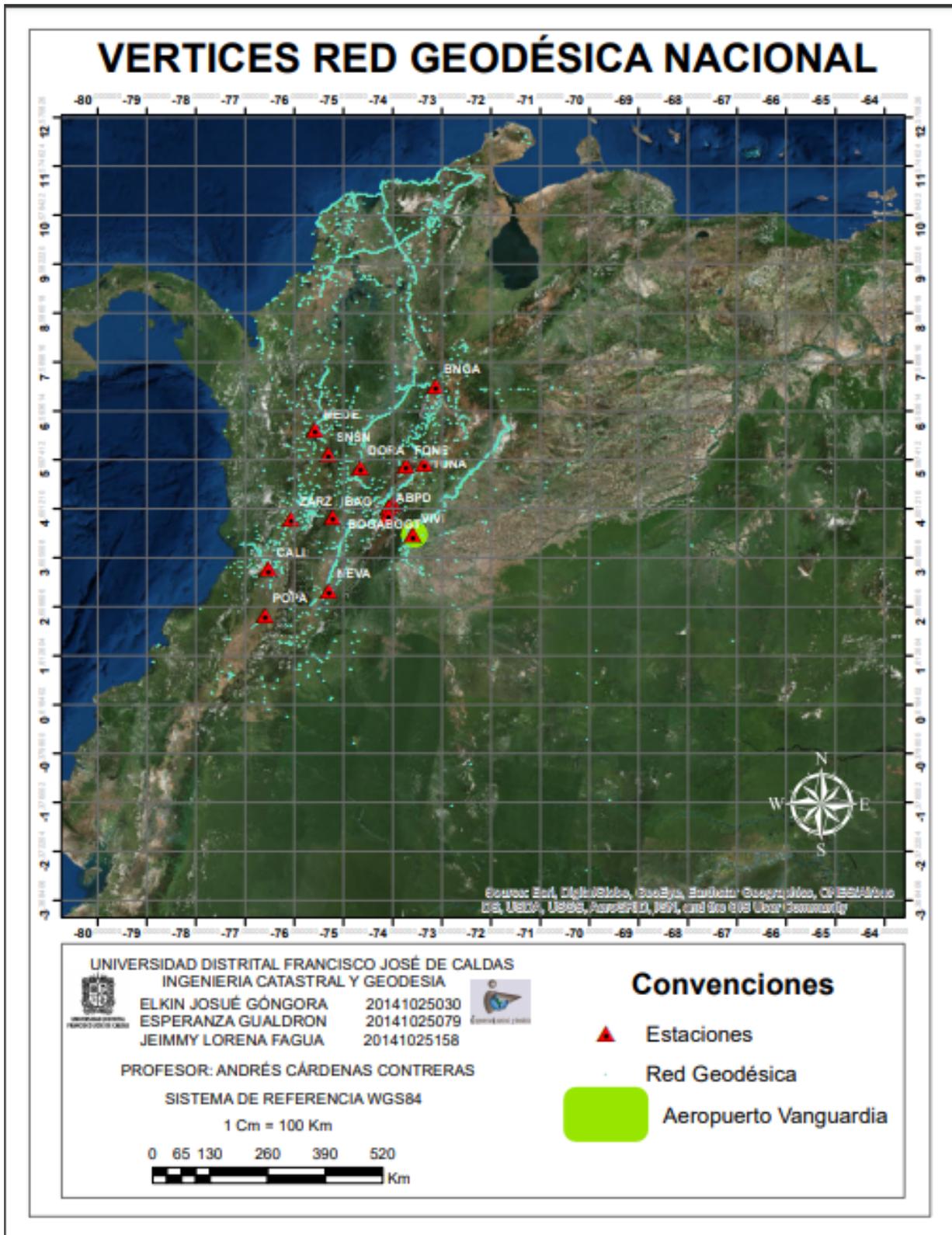


Figura 6-2: Ubicación de estaciones permanentes

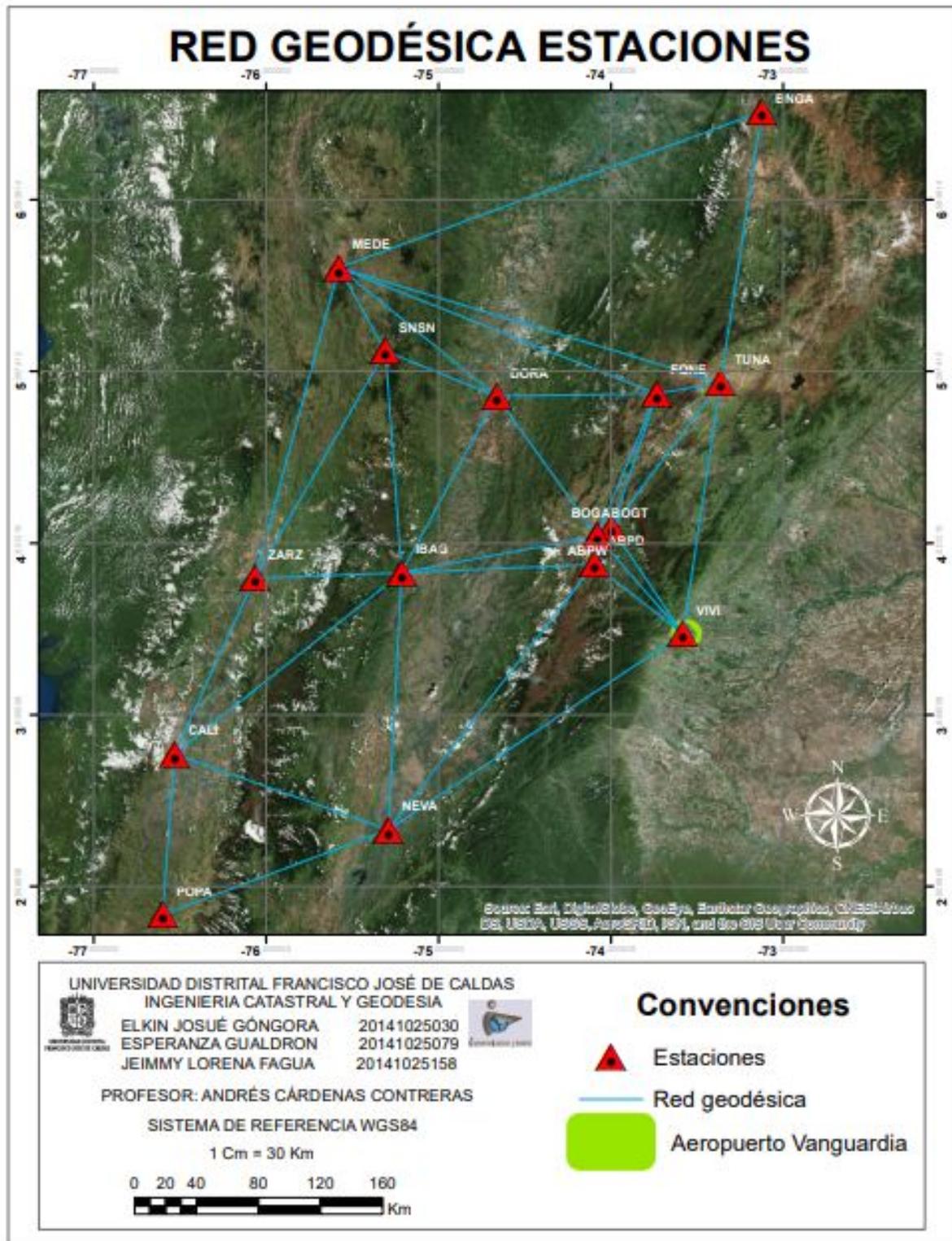


Figura 6-3: Ubicación de estaciones permanentes y vertices red geodésica nacional

Fecha	19 de julio de 2018												
Vertice	Proporcionado por IBGE												
	Coord. Geográficas						Sigmas			Altura de la antena	UTM		
	φ			λ			h	φ	λ		h	Nortes	Estes
	°	'	"	°	'	"	m	m	m	m	m	m	
ABPD	4	28	35,6337	-74	5	55,92410	2958,36	0,001	0,003	0,006	0,097	494866,391	599973,689
ABPW	4	41	22,4453	-73	59	42,4137	2837,07	0,002	0,008	0,012	0	518429,702	611452,383
BNGA	7	6	17,592	-73	7	25,4745	959,5	0,001	0,002	0,004	0,15	785763,525	707224,052
BOGA	4	38	19,2483	-74	4	47,8171	2609,81	0,001	0,002	0,004	1,511	512791,025	602049,871
BOGT	4	38	24,2596	-74	4	51,3817	2576,25	0,001	0,004	0,007	0,061	512944,773	601939,835
CALI	3	22	32,8291	-76	31	57,2388	1027,49	0,001	0,003	0,005	0,14	373264,211	329737,531
DORA	5	27	13,837	-74	39	47,9294	204,47	0,001	0,002	0,005	0,146	602842,251	537296,493
GQNE	5	28	2,4325	-73	44	5,3118	2602,02	0,001	0,002	0,004	0,155	604471,448	640159,144
IBAG	4	25	40,9566	-75	12	53,0058	1216,07	0,001	0,002	0,005	0,138	489445,072	476177,402
MEDE	6	11	57,8617	-75	34	44,1024	1553,46	0,001	0,003	0,005	0,103	685282,059	435954,14
NEVA	2	56	14,2782	-75	17	34,9143	472,68	0,001	0,002	0,004	0,188	324666,971	467435,313
POPA	2	26	35,207	-76	36	4,3422	1782,19	0,001	0,002	0,004	0,187	270145,108	321963,467
SNSN	5	42	54,2469	-75	18	30,0049	2550,72	0,001	0,002	0,004	0,173	631716,938	465859,331
TUNA	5	31	52,7801	-73	21	49,9752	2831,84	0,001	0,002	0,004	0,139	611646,438	681241,212
VIVI	4	4	28,7779	-73	35	2,3786	407,22	0,002	0,006	0,008	0,152	450518,07	657186,334
ZARZ	4	23	47,6653	-76	4	3,2446	954,47	0,001	0,002	0,004	0,138	486047,664	381546,837

Figura 6-4: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018

MAGNA SIRGAS PRO						
Geocéntricas			Gauss-Kruger			
X	Y	Z	Norte	Este	Origen	Plancha
m	m	m	m	m		
1742983,29	-6118331,49	494730,457	986770,595	997629,43	Central	246-II-D-2
1753507,18	-6113239,05	518210,364	1010325,29	1009141,45	Central	228-III-A-4
1837762,07	-6057811,18	783764,655	1277534,03	1105367,52	Central	120-II-B-1
1744517,2	-6116051,05	512580,825	1004697,46	999729,122	Central	227-IV-D-4
1744398,92	-6116037,05	512731,602	1004851,4	999619,26	Central	227-IV-D-4
1483099,76	-6193060,23	373123,983	865063,907	1060559,13	Oeste	300-I-C-1
1679425,18	-6123536,87	602182,182	1094872,14	935080,525	Central	188-IV-B-4
1779063,76	-6097672,88	603896,64	1096344,17	1037976,91	Central	190-IV-A-2
1623166,61	-6149837,65	489244,089	981501,744	873772,811	Central	244-II-D-4
1579608,38	-6142783,88	684352,535	1177524,03	833816,075	Central	N/A
1617259,93	-6161575,11	324674,592	816633,62	864854,936	Central	323-IV-A-2
1477067,41	-6200659,06	270141,214	761924,027	1052974,41	Oeste	342-IV-D-4
1610262,15	-6141593,92	631167,132	1123873,97	863651,182	Central	167-IV-C-4
1818373,17	-6085596,9	610964,914	1103456,61	1079075,05	Central	191-I-D-3
1798110,66	-6103160,65	450209,497	942344,558	1054800,45	Central	266-II-D-4
1531451,9	-6173322,96	485753,725	978000,803	1112103,15	Oeste	242-IV-B-1

Figura 6-5: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018

MAGNA SIRGAS PRO				
Planas cartesianas			N°	H
Norte	Este	Origen		
m	m			
86762,123	97633,494	BOGOTÁ 2011	27,3	2931,06
110327,488	109147,839	BOGOTÁ 2011	26,7	2810,37
377605,103	205374,532	BOGOTÁ 2011	1100	-140,5
104696,475	99732,304	BOGOTÁ 2011	26,2	2583,61
104850,459	99622,379	BOGOTÁ 2011	26,2	2550,05
-34561,643	-172918,81	BOGOTÁ 2011	2900	-1872,51
194895,601	35049,412	BOGOTÁ 2011	18,6	185,87
196381,232	137985,426	BOGOTÁ 2011	25,6	2576,42
81484,443	-26263,893	BOGOTÁ 2011	27,4	1188,67
277514,606	-66248,022	BOGOTÁ 2011	26,6	1526,86
-83416,802	-35170,656	BOGOTÁ 2011	23,3	449,38
-137712,537	-180773,991	BOGOTÁ 2011	32,3	1749,89
223879,193	-36402,664	BOGOTÁ 2011	26,9	2523,82
203494,621	179097,379	BOGOTÁ 2011	25,9	2805,94
42325,855	154830,685	BOGOTÁ 2011	17,1	390,12
78204,711	-120967,394	BOGOTÁ 2011	29,8	924,67

Figura 6-6: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 19 de julio de 2018

Fecha	5 de septiembre de 2018												
Vertice	Proporcionado por IBGE												
	Coord. Geográficas						Sigmas			Altura de la antena	UTM		
	φ			λ			h	φ	λ		h	Nortes	Estes
	°	'	"	°	'	"	m	m	m	m	m	m	m
ABPD	4	28	35,634	-74	5	55,9242	2.958,36	0,001	0,003	0,005	0,097	494866,391	599973,686
ABPW	4	41	22,445	-73	59	42,414	2837,08	0,002	0,005	0,01	0	518429,705	611452,386
BNGA	7	6	17,5920	-73	7	25,4746	959,50	0,001	0,003	0,004	0,15	785763,525	707224,049
BOGA	4	38	19,2482	-74	4	47,8171	2.609,80	0,001	0,002	0,004	1,511	512791,022	602049,871
BOGT	4	38	24,2596	-74	4	51,3816	2.576,24	0,001	0,003	0,006	0,061	512944,773	601939,838
CALI	3	22	32,8292	-76	31	57,2338	1.027,49	0,001	0,002	0,004	0,14	373264,214	329737,531
DORA	5	27	13,8369	-74	39	47,9293	204,47	0,001	0,003	0,006	0,146	602842,248	537296,496
FQNE	5	28	02,4325	-73	44	05,3118	2.602,02	0,001	0,003	0,004	0,155	604471,448	640159,144
IBAG	4	25	40,9567	-75	12	53,0059	1.216,09	0,001	0,002	0,004	0,138	489445,075	476177,399
MEDE	6	11	57,8516	-75	34	44,1025	1.553,46	0,001	0,003	0,006	0,103	685282,056	435954,137
NEVA	2	56	14,2781	-75	17	34,9143	472,68	0,001	0,002	0,004	0,188	324666,968	467435,313
POPA	2	26	35,2072	-76	36	04,3422	1.782,19	0,001	0,002	0,004	0,187	270145,114	321963,467
SNSN	5	42	54,2470	-75	18	30,0042	2.550,72	0,001	0,002	0,004	0,173	631716,941	465859,334
TUNA	5	31	52,7800	-73	21	49,9752	2.831,85	0,001	0,002	0,004	0,139	611646,435	681241,212
VIVI	4	4	28,7778	-73	35	02,3785	407,23	0,002	0,007	0,008	0,152	450518,067	657186,337
ZARZ	4	23	47,6653	-76	4	03,2447	954,47	0,001	0,002	0,004	0,138	486047,664	381546,834

Figura 6-7: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018

MAGNA SIRGAS PRO						
Geocéntricas			Gauss-Kruger			
X	Y	Z	Norte	Este	Origen	Plancha
m	m	m	m	m		m
1742983,28	-6118331,49	494730,457	986770,595	997629,43	Central	246-II-D-2
1753507,18	-6113239,06	518210,368	1010325,29	1009141,45	Central	228-III-A-4
1837762,07	-6057811,18	783764,655	1277534,03	1105367,52	Central	120-II-B-1
1744517,2	-6116051,04	512580,821	1004697,46	999729,122	Central	227-IV-D-4
1744398,92	-6116037,04	512731,601	1004851,4	999619,26	Central	227-IV-D-4
1483099,91	-6193060,2	373123,986	865063,907	1060559,13	Oeste	300-I-C-1
1679425,18	-6123536,87	602182,179	1094872,14	935080,525	Central	188-IV-B-4
1779063,76	-6097672,88	603896,64	1096344,17	1037976,91	Central	190-IV-A-2
1623166,61	-6149837,67	489244,094	981501,744	873772,811	Central	244-II-D-4
1579608,38	-6142783,91	684352,226	1177524,03	833816,075	Central	N/A
1617259,93	-6161575,11	324674,589	816633,62	864854,936	Central	323-IV-A-2
1477067,41	-6200659,06	270141,22	761924,027	1052974,41	Oeste	342-IV-D-4
1610262,17	-6141593,92	631167,135	1123873,97	863651,182	Central	167-IV-C-4
1818373,18	-6085596,91	610964,912	1103456,61	1079075,05	Central	191-I-D-3
1798110,66	-6103160,66	450209,495	942344,558	1054800,45	Central	266-II-D-4
1531451,89	-6173322,96	485753,725	978000,803	1112103,15	Oeste	242-IV-B-1

Figura 6-8: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018

MAGNA SIRGAS PRO				
Planas cartesianas			N*	H
Norte	Este	Origen		
m	m			
86762,123	97633,49	BOGOTÁ 2011	27,3	2931,06
110327,492	109147,842	BOGOTÁ 2011	26,7	2810,38
377605,103	205374,529	BOGOTÁ 2011	1100	-140,5
104696,472	99732,304	BOGOTÁ 2011	26,2	2583,6
104850,459	99622,382	BOGOTÁ 2011	26,2	2550,04
-34561,64	-172918,655	BOGOTÁ 2011	2900	-1872,51
194895,597	35049,415	BOGOTÁ 2011	18,6	185,87
196381,232	137985,426	BOGOTÁ 2011	25,6	2576,42
81484,446	-26263,896	BOGOTÁ 2011	27,4	1188,69
277514,296	-66248,026	BOGOTÁ 2011	26,6	1526,86
-83416,805	-35170,656	BOGOTÁ 2011	23,3	449,38
-137712,531	-180773,991	BOGOTÁ 2011	32,3	1749,89
223879,196	-36402,642	BOGOTÁ 2011	26,9	2523,82
203494,618	179097,379	BOGOTÁ 2011	25,9	2805,95
42325,852	154830,688	BOGOTÁ 2011	17,1	390,13
78204,711	-120967,397	BOGOTÁ 2011	29,8	924,67

Figura 6-9: Datos obtenidos a partir del procesamiento en IBGE para el 4 de septiembre de 2018

6.2. Topex Poseidon

Como se comentó en el anterior capítulo tras el modelamiento en Surfer se pudieron obtener los siguientes resultados con los datos de altimetría del portal TOPEX POSEIDON.

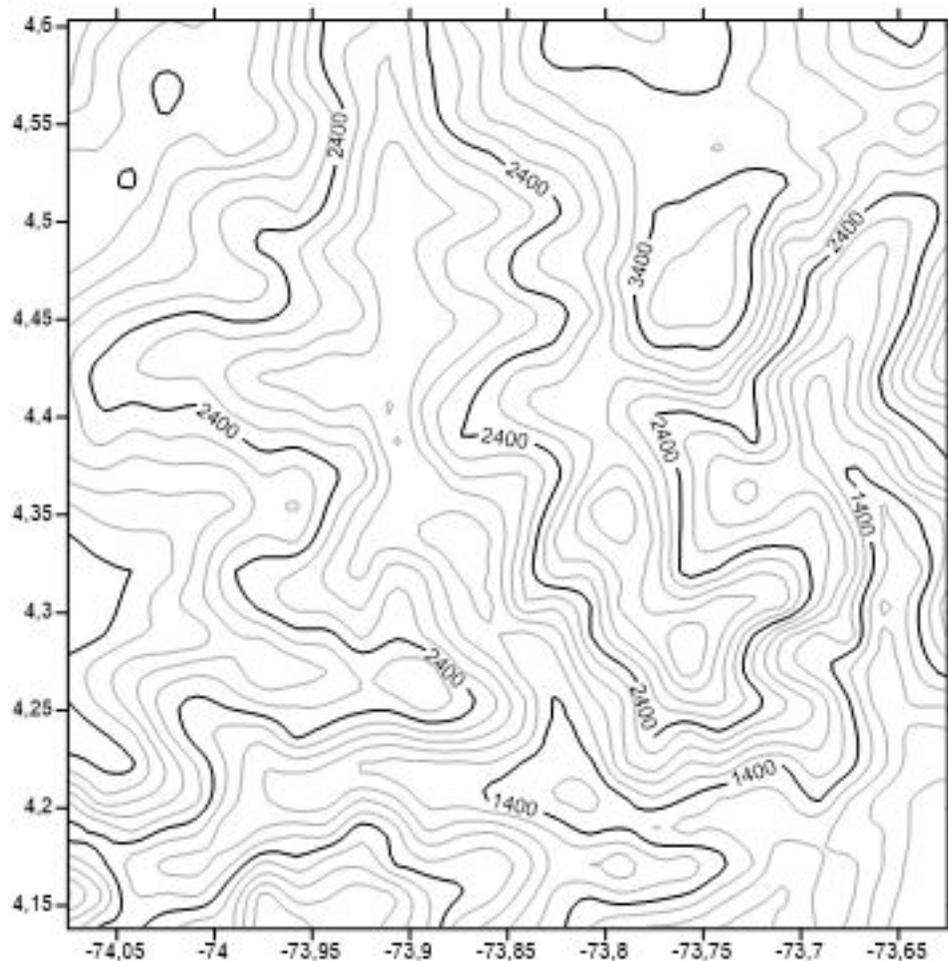


Figura 6-10: Mapa de elevación o curvas de nivel de la zona de estudio

A partir de los datos de Topex poseidon que corresponden a una grilla de puntos con su respectiva latitud longitud y elevación, se pueden tratar en Surfer para generar una interpolación que permita producir un mapa de contornos o elevación basándose en las curvas de nivel generadas.

Un mapa de contorno es una representación bidimensional de datos tridimensionales. Las primeras dos dimensiones son las coordenadas X e Y. La tercera dimensión (Z) está representada por líneas de igual valor. El espaciado relativo de las líneas de contorno indica la pendiente relativa de la superficie. El área entre dos líneas de contorno contiene solo nodos

de rejilla que tienen valores Z dentro de los límites definidos por los dos contornos que los rodean. La diferencia entre dos líneas de contorno se define como el intervalo de contorno. De este mapa se puede observar que la zonas occidental y central al norte poseen alturas que rondan los 2400 metros sobre el nivel del mar, además que en la zona nororiental posee alturas de alrededor de 3400 metros sobre el nivel del mar, que corresponde al parque nacional Chingaza.

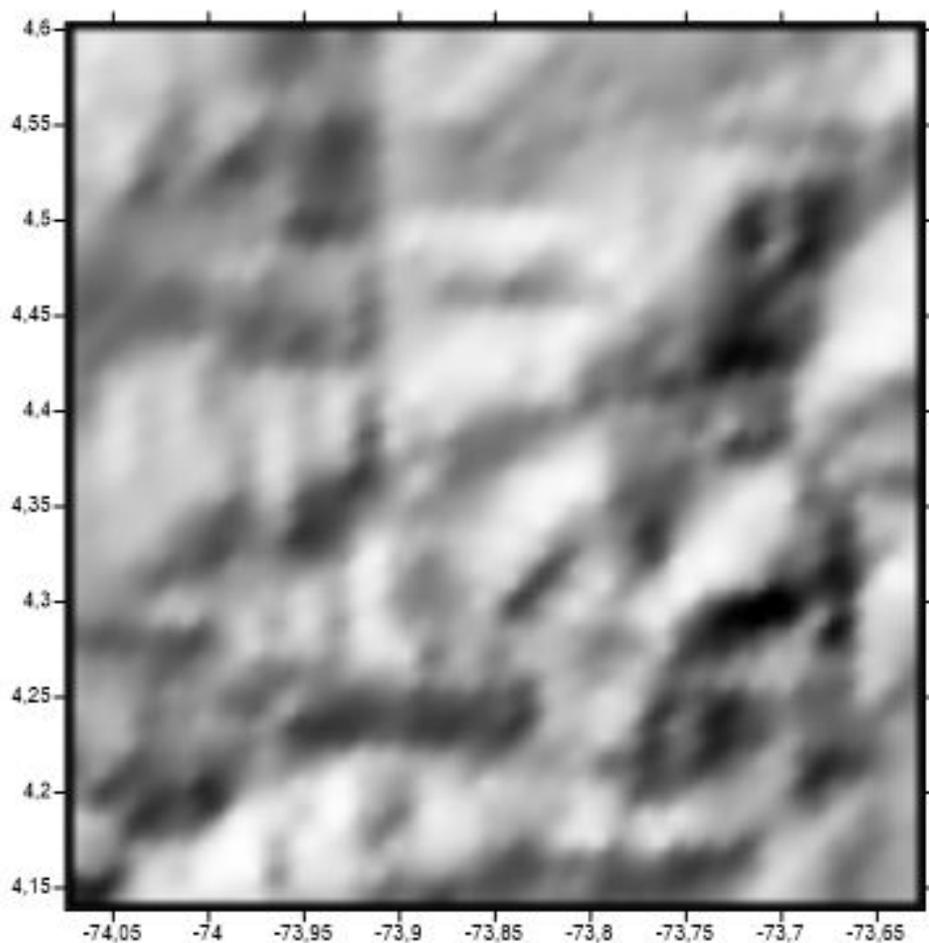


Figura 6-11: Mapa de sombreado de relieve de la zona de estudio

Este mapa de Relieve sombreado es un mapa de trama basado en archivos de cuadrícula. El mapa utiliza colores para indicar la orientación local de la superficie relativa a la dirección de la fuente de luz definida que en este caso por la obtención de los datos es perpendicular al terreno. Surfer determina la orientación de cada celda de la grilla y calcula la reflectancia de una fuente de luz puntual en la superficie de la grilla. En este caso la fuente de luz puede considerarse como el sol que brilla en sobre la superficie topográfica. Las partes de la super-

ficie que están alejadas de la fuente de luz reflejan menos luz hacia el observador y, por lo tanto, aparecen más oscuras.

Como los valores de reflectancia del mapa varían de cero a uno. Un valor de reflectancia de cero significa que no se refleja luz hacia el espectador. Un valor de reflectancia de uno significa que toda la luz incidente se refleja hacia el espectador.

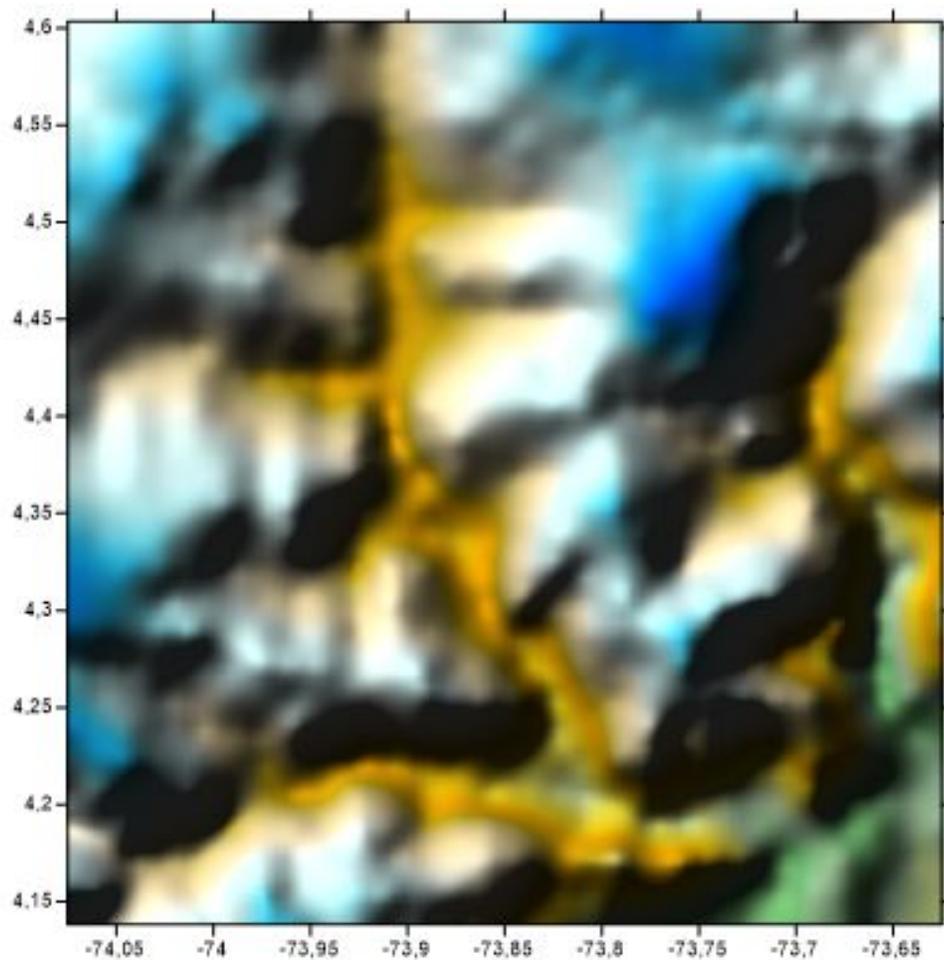


Figura 6-12: Imagen mapa de la zona de estudio

Este imagen mapa es un mapa de trama basado en archivos de cuadrícula. Representa valores Z (elevaciones) con colores. Las regiones sin información se muestran con color negro, adicionalmente, la opción de sombreado de Hill se habilitó para mejorar el contraste y la visualización.

En el imagen mapa se definen muchas zonas sin información es por eso que se hace necesaria la interpolación de información, por otra parte los colores azules o fríos indican mayores

alturas y los colores cálidos o colores tierra indican planicies o menores alturas. Se puede observar el cambio abrupto de alturas que se presenta de occidente (zonas con mayor altura) a oriente (zonas de menor altura) que corresponde el cambio de la cordillera a los llanos orientales.

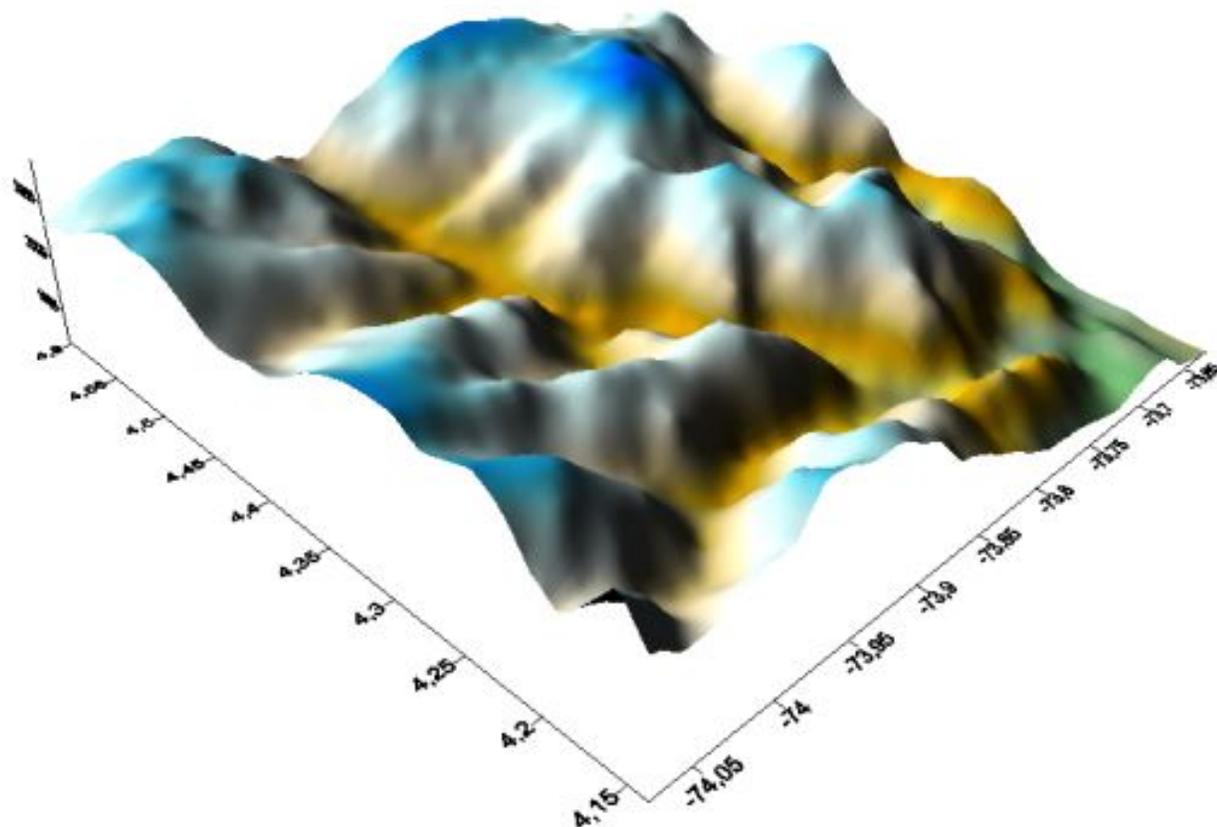


Figura 6-13: Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio

Finalmente, el último resultado obtenido es el modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio que nos indica la cordillera y como se mencionó anteriormente el cambio abrupto de alturas de la cordillera a los llanos, al igual que en el imagen mapa los colores azules o fríos indican mayores alturas y los colores cálidos o colores tierra indican planicies o menores alturas.

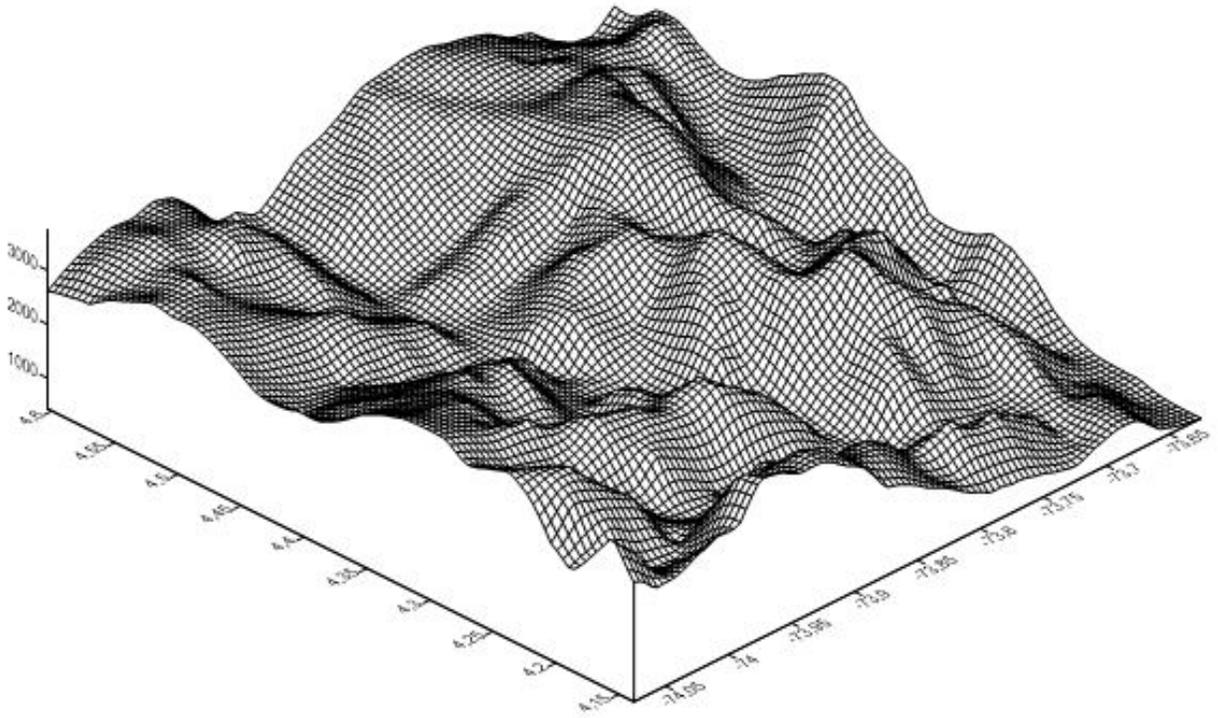


Figura 6-14: Estructura del Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio

Este Modelo digital de elevación (MDE) se realizó con el comando "3D Surface" que se usa para crear un renderizado sombreado tridimensional a partir de un archivo de cuadrícula. La altura de la superficie corresponde al valor Z del nodo de grilla asociado. Las cuadrículas más densas muestran mayores detalles en la superficie. El color se puede usar para mostrar los valores Z en las superficies.

Análogamente, como se realizó el mismo procedimiento para los datos de gravimetría específicamente los datos de gravedad, se obtuvieron los mismos resultados que en los datos de topografía.

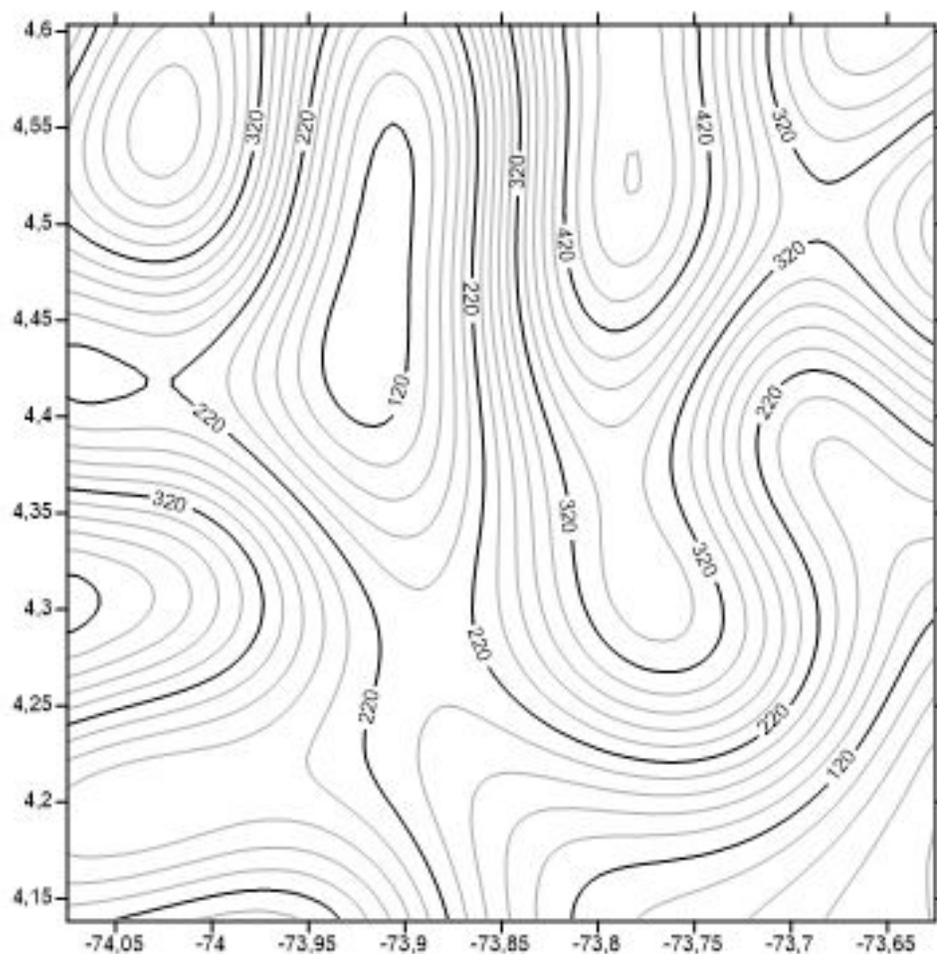


Figura 6-15: Mapa de elevación o curvas de nivel de la zona de estudio

De este mapa se puede observar que la zonas noroccidental y nororiental poseen mayores valores de presión de gravedad - gravimetría con valores máximos de 420 y 320 de los cuales se deben restar 100 unidades por la metodología presentada en el capítulo anterior.

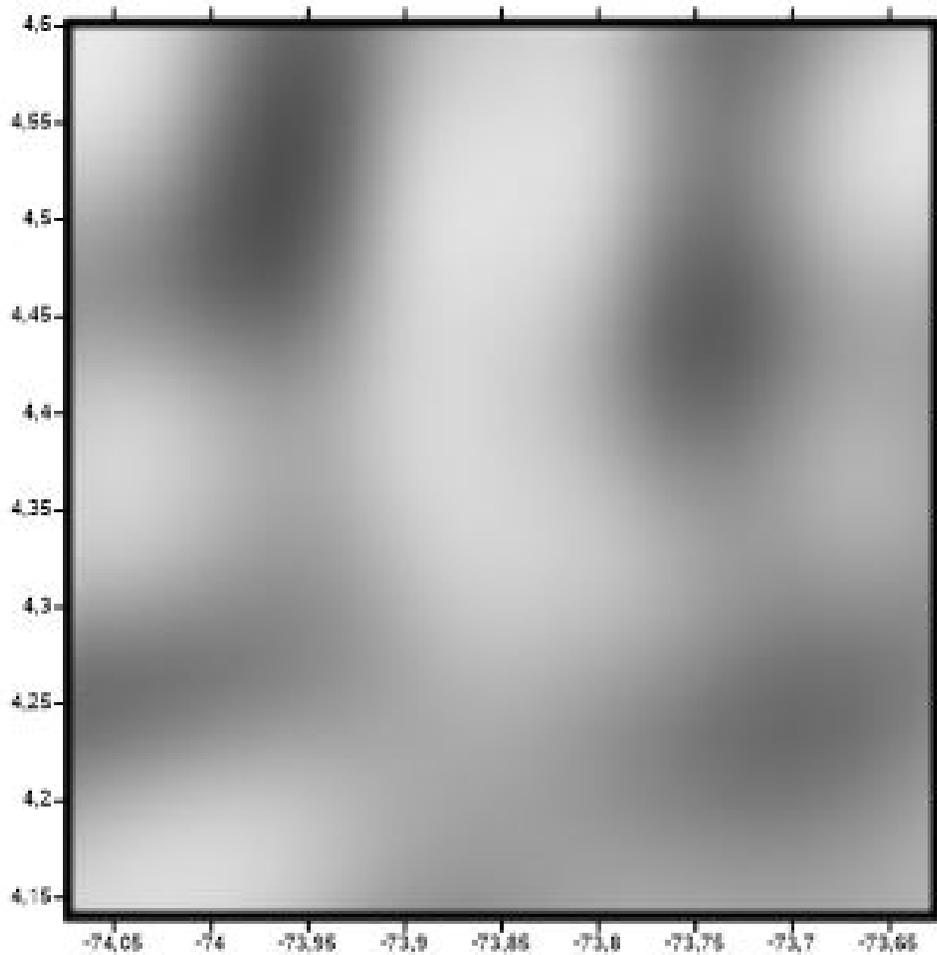


Figura 6-16: Mapa de sombreado de relieve de la zona de estudio

Este mapa de Relieve sombreado es un mapa de trama basado en archivos de cuadrícula. La reflectancia de la fuente de luz puntual en la superficie de la grilla puede considerarse como el sol que brilla en sobre la superficie topográfica. En este caso, las partes de la superficie que están alejadas de la fuente de luz reflejan menos luz hacia el observador y, por lo tanto, aparecen más oscuras.

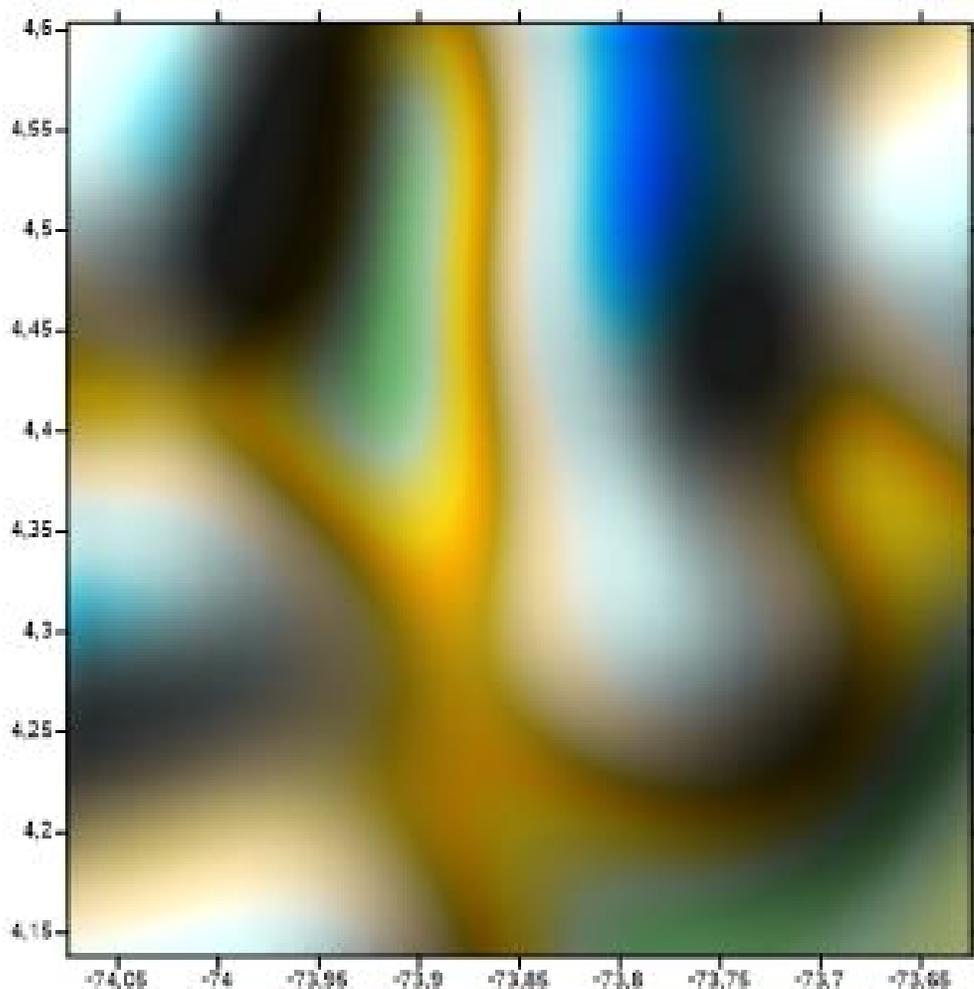


Figura 6-17: Imagen mapa de la zona de estudio

Este imagen mapa es un mapa de trama basado en archivos de cuadrícula, aquí las alturas que representan el valor Z del mapa son identificables por colores. Las regiones sin información se muestran con color negro, adicionalmente, la opción de sombreado de Hill se habilitó para mejorar el contraste y la visualización.

En el imagen mapa se definen algunas zonas sin información especialmente en la zona norte, por otra parte los colores azules o fríos indican mayores alturas y los colores cálidos o colores tierra indican planicies o menores alturas.

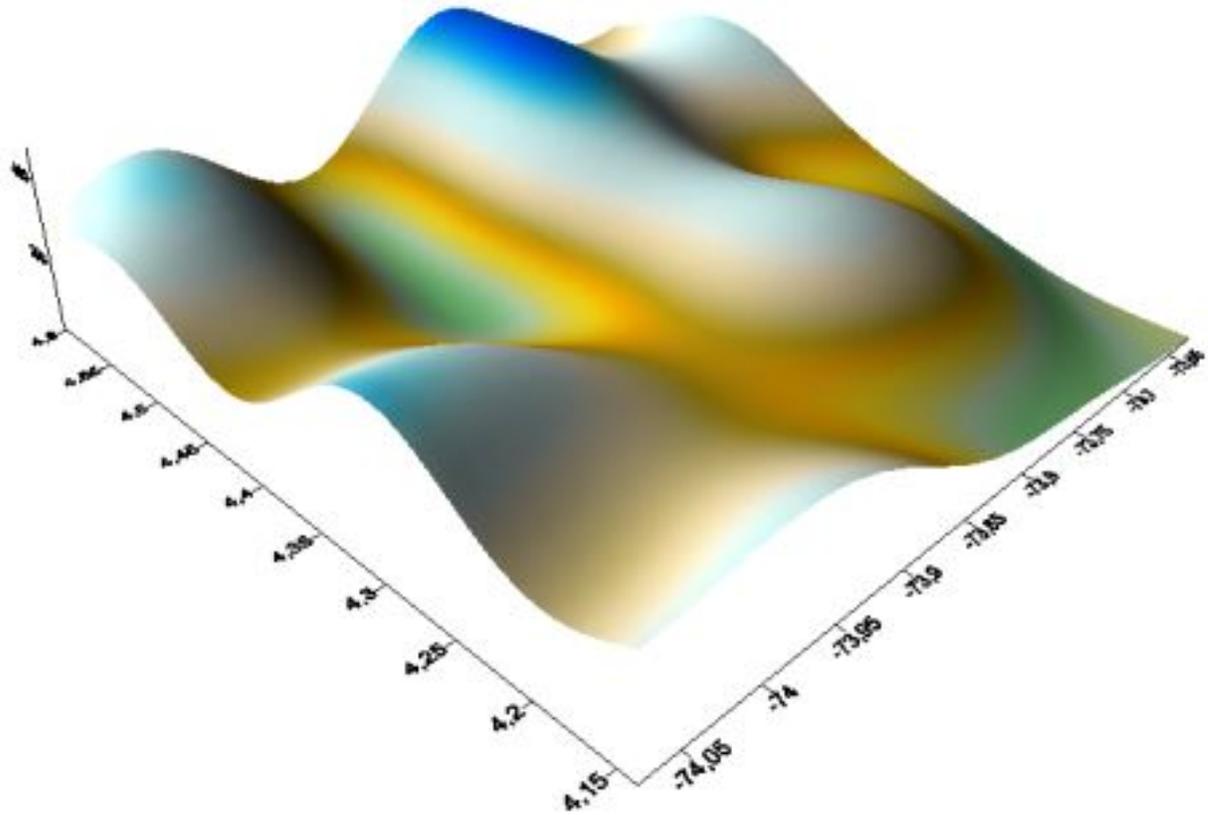


Figura 6-18: Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio

Finalmente, como se realizó el mismo procedimiento para los datos de gravimetría específicamente los datos de gravedad, el último resultado obtenido es el modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio que nos indica una mayor incidencia de los datos de gravimetría - gravedad sobre la zona central del modelo, al igual que en el imagen mapa los colores azules o fríos indican mayores alturas y los colores cálidos o colores tierra indican planicies o menores alturas.

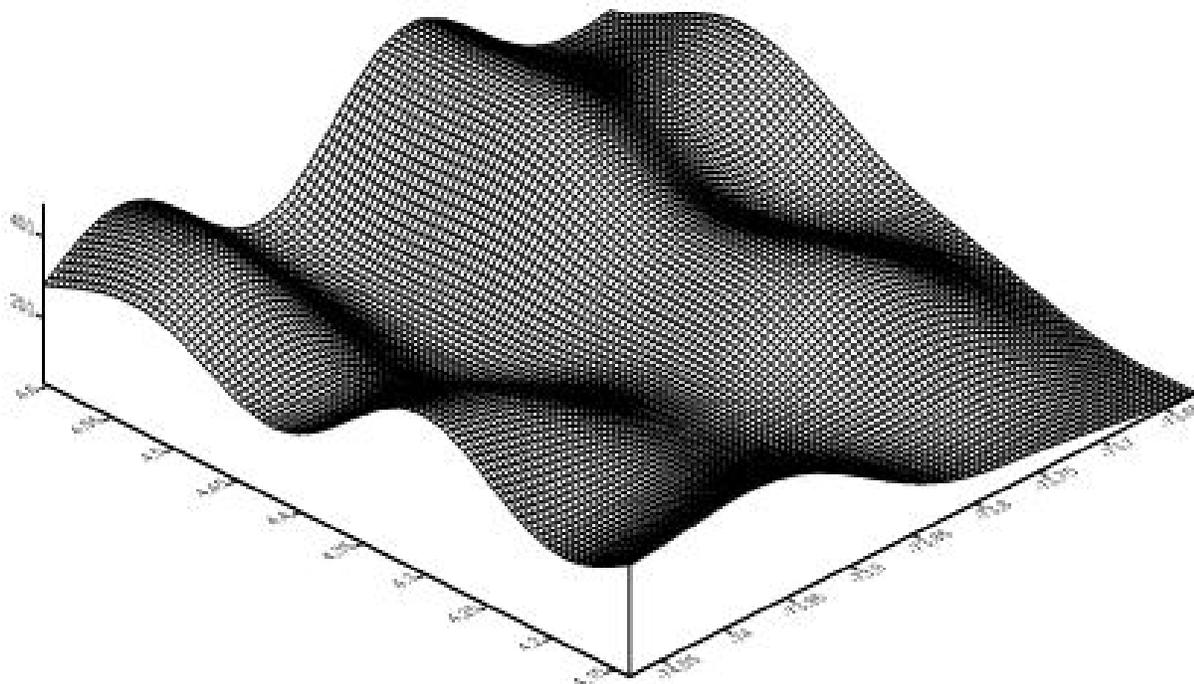


Figura 6-19: Estructura del Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio

Esta estructura del Modelo digital de elevación (MDE) es una representación tridimensional de un archivo de cuadrícula. Se crea conectando los valores Z a lo largo de las líneas de las constantes X e Y . Cada intersección XY se produce en un nodo de la cuadrícula y la altura del es proporcional al valor Z asignado a ese nodo. El número de columnas y filas en el archivo de cuadrícula determina el número de líneas X e Y dibujadas en la estructura alámbrica.

Aquí se muestra cualquier combinación de líneas X , líneas Y o líneas de contorno Z . En la estructura alámbrica, las líneas X corresponden a las columnas en el archivo de cuadrícula y las líneas Y corresponden a las filas en el archivo de cuadrícula. Los límites de la cuadrícula definen la extensión de la estructura alámbrica.

6.3. Cartografía básica

Como se comentó en el anterior capítulo tras el tratamiento, modelamiento y procesamiento en el software Arcgis se pudieron obtener los siguientes resultados con los datos de altimetría, vías, drenajes y división política del portal de datos abiertos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

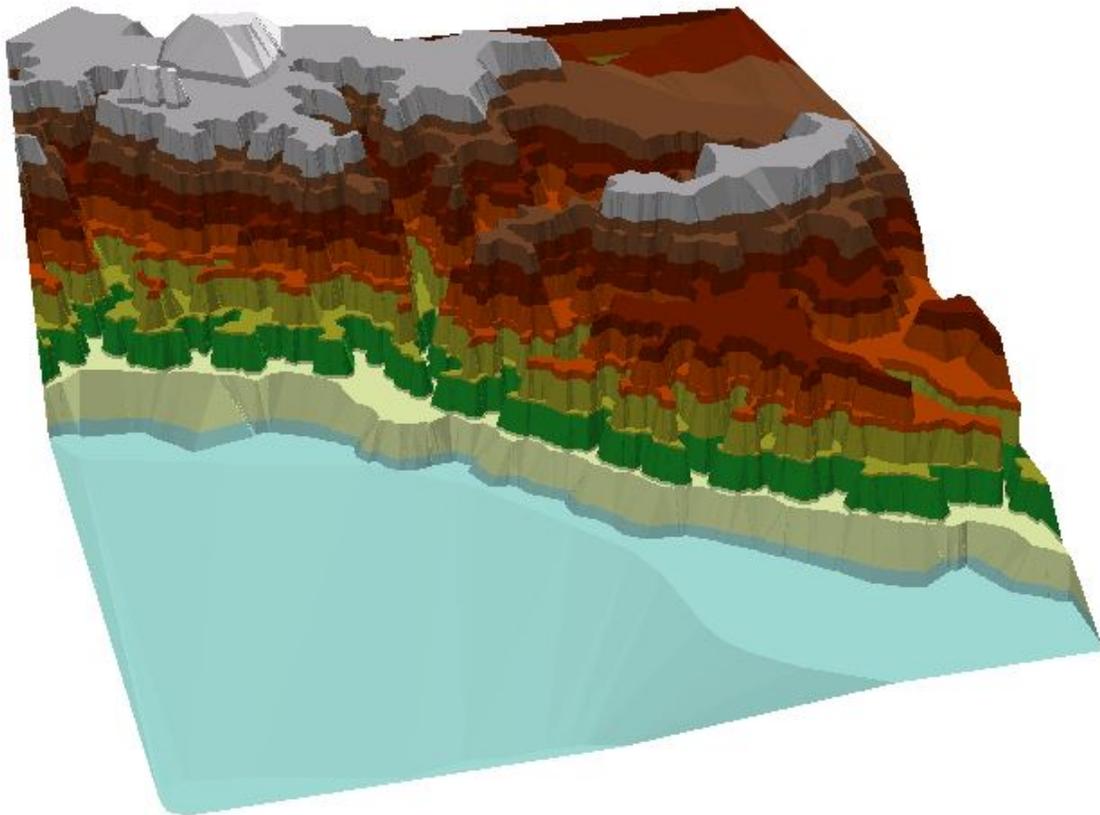


Figura 6-20: Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:500.000

Con este modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:500.000 se puede observar una especie de escalera en los laterales y en la zona central el descenso de la cordillera, las alturas o convenciones son presentadas a continuación, de menor altura a mayor altura:

Tabla 6-1: Alturas del modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:500.000

Color	Altura
Azul claro	200-650 m.s.n.m.
Beige	650-1050 m.s.n.m.
Verde oscuro	1050-1450 m.s.n.m.
Oro	1450-1850 m.s.n.m.
Naranja	1850-2300 m.s.n.m.
Vinotinto	2300-2750 m.s.n.m.
Café	2750-3150 m.s.n.m.
Gris	3150-3600 m.s.n.m.
Blanco	3600-4000 m.s.n.m.

Se puede observar que el punto más alto corresponde al páramo de suma'paz y sus alrededores que se superponen a la planicie de la ciudad de Bogotá que se representa con color Gris en la zona superior izquierda del modelo. Por otra parte, el otro color gris corresponde al páramo el nevado, el color azul representa la entrada al llano por el departamento del Meta, municipios de Villavicencio, Acacías y Restrepo.

Con este modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:100.000 se puede observar muchísimo mayor detalle en cuanto a la información altimétrica, pero al igual que con el análisis a escala 1:500.000 se presenta el escalamiento en la zona oriental de Bogotá y las planicies de los llanos.

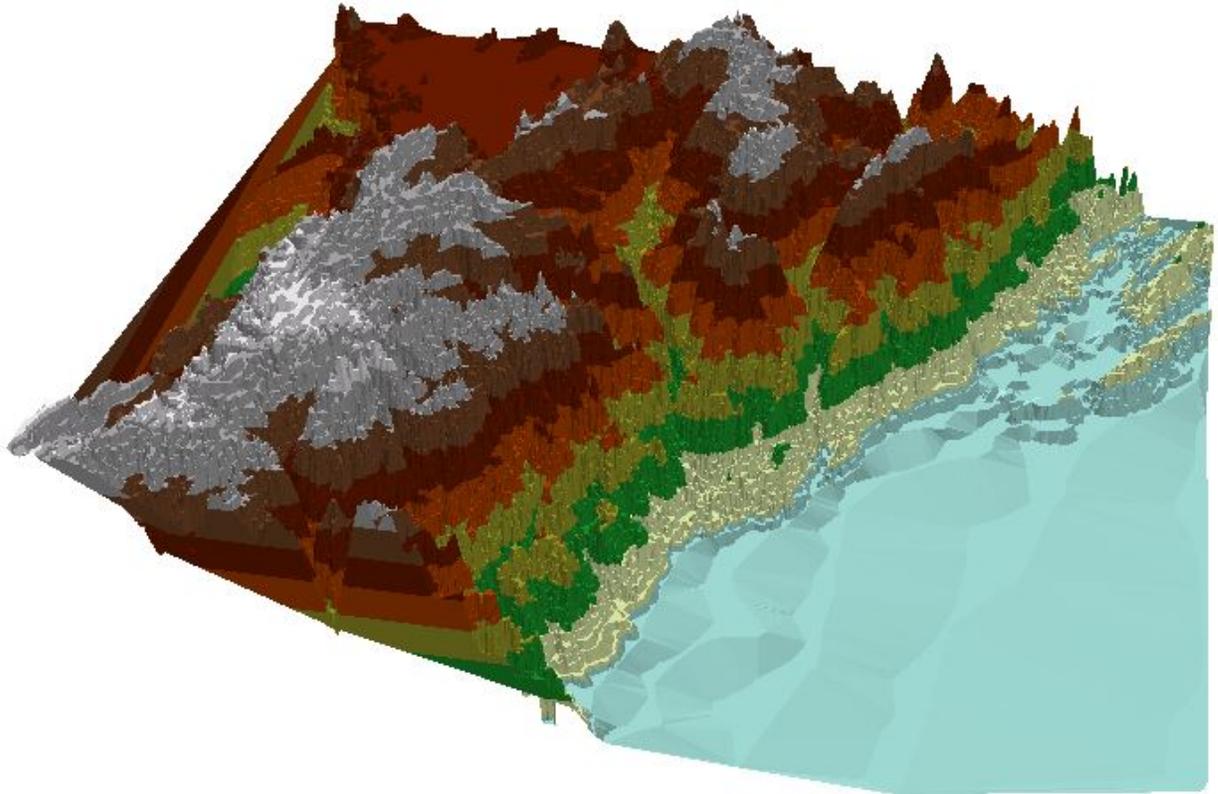


Figura 6-21: Modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:100.000

las alturas o convenciones son presentadas a continuación, de menor altura a mayor altura:

Tabla 6-2: Alturas del modelo digital de elevación (MDE) de la zona de estudio con información a escala 1:100.000

Color	Altura
Azul claro	200-650 m.s.n.m.
Beige	650-1100 m.s.n.m.
Verde oscuro	1100-1550 m.s.n.m.
Oro	1550-2000 m.s.n.m.
Naranja	2000-2450 m.s.n.m.
Vinotinto	2450-2950 m.s.n.m.
Café	2950-3350 m.s.n.m.
Gris	3350-3850 m.s.n.m.
Blanco	3850-4300 m.s.n.m.

Este modelo nos brinda muchísima más información que el anterior debido a la presencia de más curvas de nivel y que se asemeja mucho más a la realidad, se evidencian cambios muy bruscos de altura al descenso de la cordillera y que en el llano también se presentan cambios de altura a diferencia de el modelo con información a escala 1:500.000 que presenta el llano totalmente plano. Los lugares como picos máximos y descensos claves son igualmente identificables y corresponden con los que presenta el otro modelo.

A partir del Software Oasis Montaj que proporciona una forma poderosa de visualizar los datos, y permite combinar diferentes conjuntos de datos, de diferentes maneras, para hacer el mejor uso de todos los datos que se tienen disponibles.

En este Software se produce el siguiente mapa que evidencia la topografía de la zona se generó la interpolación con los datos de Topex Poseidon que muestra en escala de colores de calor las zonas más elevadas de color rojo e igualmente las zonas de menor elevación en azul.

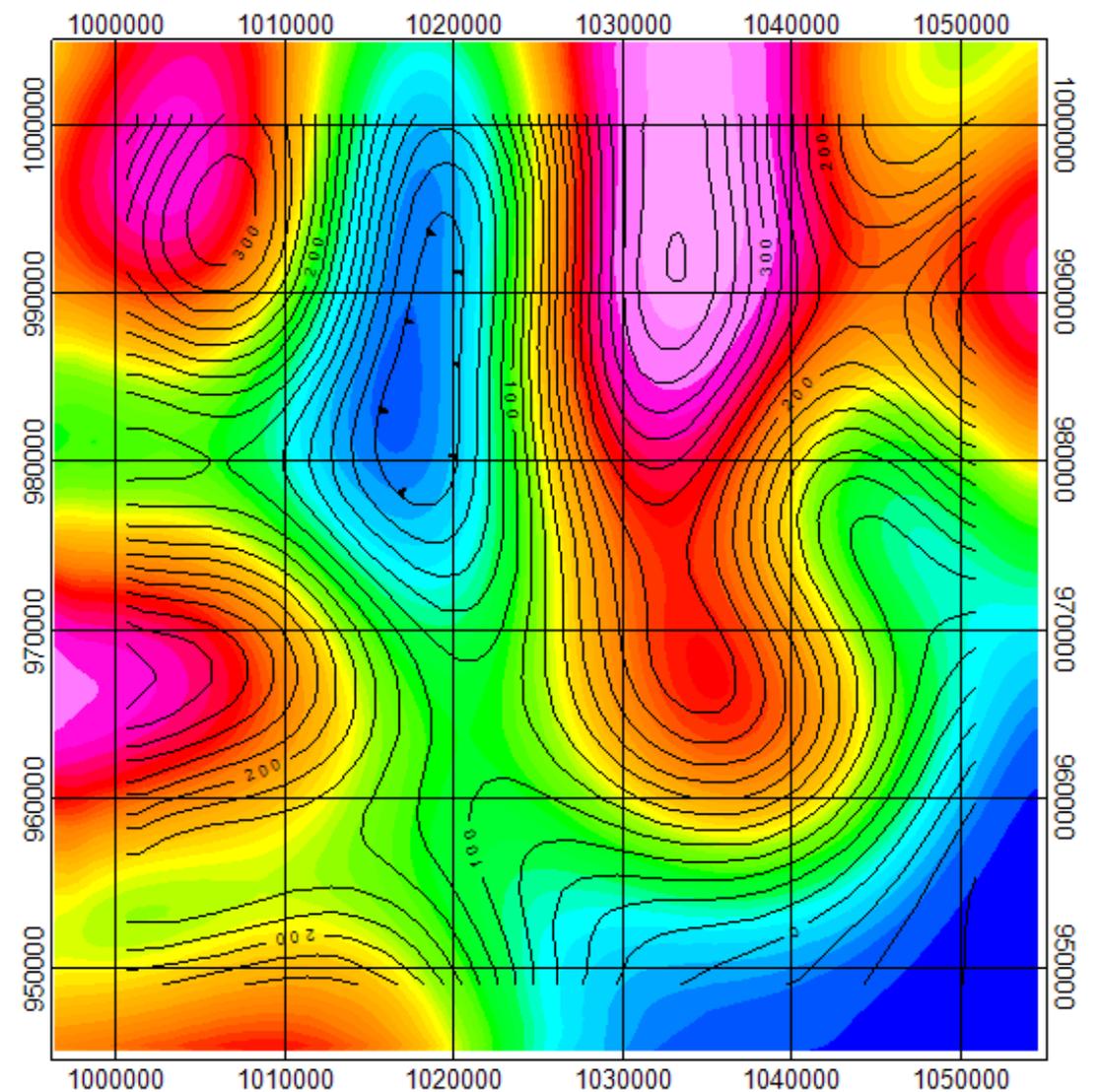


Figura 6-22: Mapa de Topografía de la zona de Estudio

A partir del Software Oasis Montaj también se realizó la interpolación de los datos de gravedad de la zona de estudio y se observan mayores valores en el centro de la zona y zona occidental, que corresponde a la zona de cordillera por el contrario al suroriente están los valores más bajos de gravedad que corresponden a la parte llana de la zona de estudio.

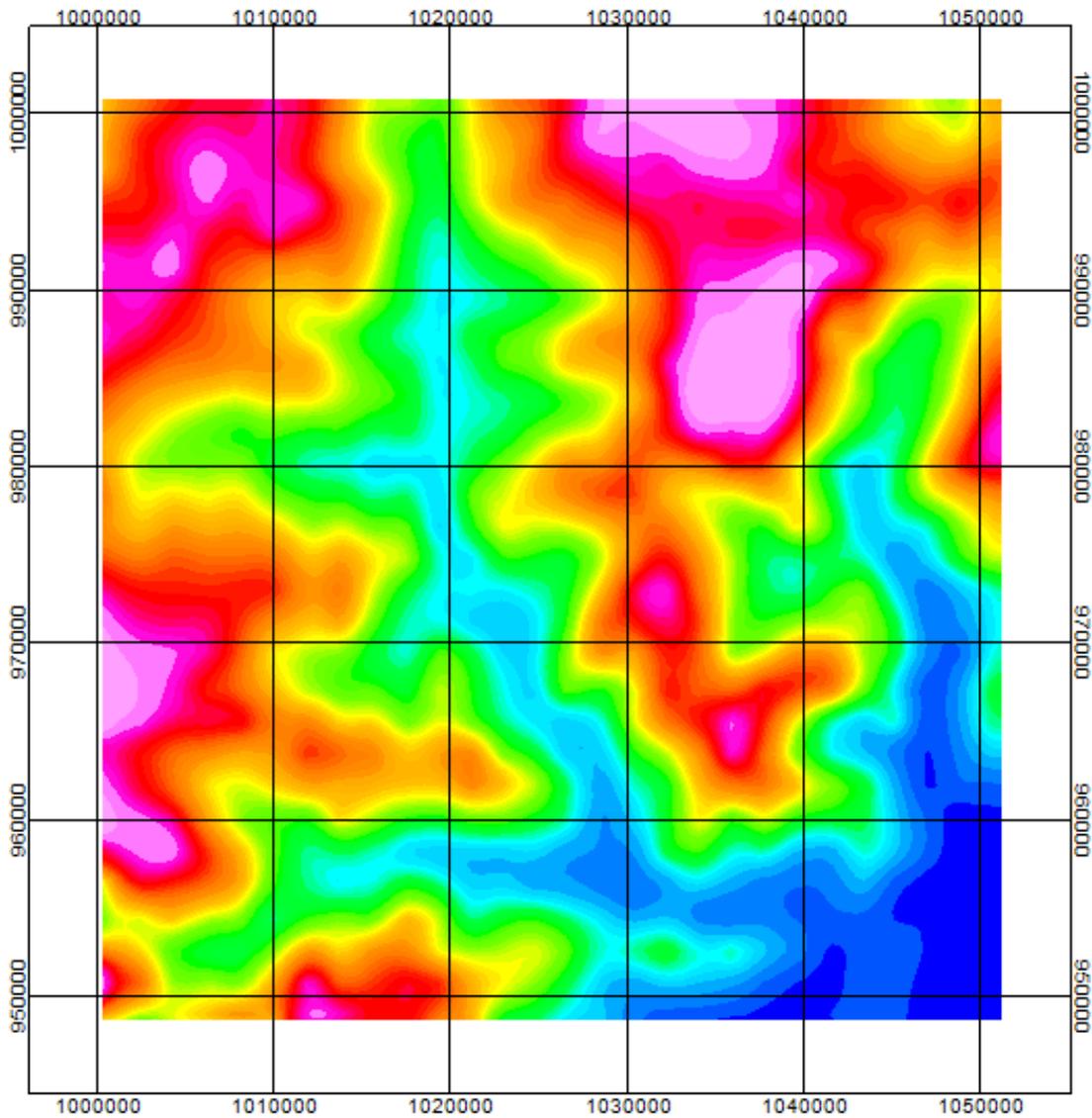


Figura 6-23: Mapa de Gravedad de la zona de Estudio

El poder en bruto que Oasis Montaj proporciona para crear y recrear cuadrículas de manera rápida y fácil, ajustar las barras de color, el recontorneado muchas veces no está disponible en ningún otro programa de software y para el caso de los mapas de curvas de nivel o elevación como es el caso del siguiente mapa permite un mejor manejo de la información.

Las curvas de nivel trabajadas en este mapa están a escala 1:100.000 y la interpolación es por defecto, es necesario aclarar que las zonas sin información no hacen parte de la interpolación por lo cual se representan en blanco.

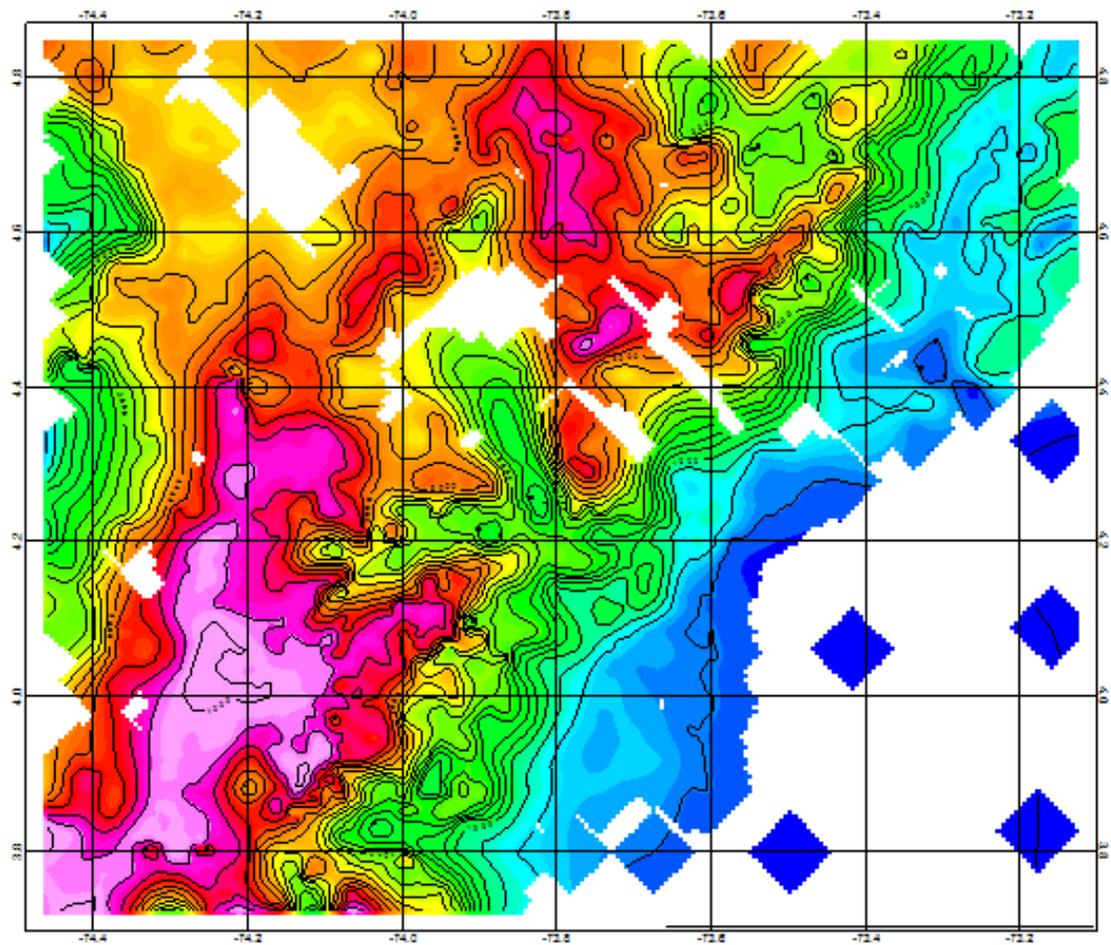


Figura 6-24: Topografía de la zona de Estudio

A partir del Software Oasis Montaj que proporciona una forma poderosa de visualizar los datos, y permite combinar diferentes conjuntos de datos, de diferentes maneras, para hacer el mejor uso de todos los datos que se tienen disponibles.

En este Software se produce el siguiente mapa que evidencia la topografía de la zona se generó la interpolación con los datos de Topex Poseidon que muestra en escala de colores de calor las zonas más elevadas de color rojo e igualmente las zonas de menor elevación en azul.

Bibliografía

[Acuña, 2008] Acuña, G. (2008). Introducción al posicionamiento gps de punto preciso (ppp): Fundamentos teóricos.

[CIRA, sf] CIRA (s.f.). Gps/navstar satellites. [urlhttp://www.cira.colostate.edu/cira/RAMM//hillger/](http://www.cira.colostate.edu/cira/RAMM//hillger/)

[Delgado Rodríguez, 1998] Delgado Rodríguez, C. (1998). Sistema satelital de navegación global diferencial para ayuda a la navegación marítima.

[Emilse,] Emilse, P. Sistema de navegación aérea. [urlhttp://www.pasionporvolar.com/sistemas-de-navegacion-aerea-cap-4/](http://www.pasionporvolar.com/sistemas-de-navegacion-aerea-cap-4/).

[Government, sf] Government, U. (s.f.). Global positioning system: Serving the world. [urlhttp://http://www.gps.gov/](http://http://www.gps.gov/).

[Holanda Blas, 1998] Holanda Blas, M., . B. O. J. (1998). Gps glonass, descripción y aplicaciones. [urlhttp://mayerwin.free.fr/telechargement/gnssGesp.pdf](http://mayerwin.free.fr/telechargement/gnssGesp.pdf).

[IBGE,] IBGE. Precise point positioning ppp. [urlhttps://ww2.ibge.gov.br/english/geociencias/geodesia](https://ww2.ibge.gov.br/english/geociencias/geodesia)

[Lemmens,] Lemmens, M. Estatus y características: Posicionamiento gnss.

[Molina Arévalo, 2012] Molina Arévalo, J. I. (2012). Sistema didáctico de posicionamiento global aplicado a la navegación aérea.

[Pérez Martínez, 2005] Pérez Martínez, F. (2005). El futuro sistema de galileo.

[Taborda, 2017] Taborda, Emmanuel., B. A. (2017). Procesamiento en entorno web de datos gnss aplicando metodología de punto preciso ppp.

[Universidad de Valladolid, sf] Universidad de Valladolid, D. d. (s.f.). Navegación gps. [urlhttp://www.isa.cie.uva.es/gps/](http://www.isa.cie.uva.es/gps/).