



**Desarrollo de una aplicación Android para la obtención de alturas niveladas en tiempo real, por medio de posicionamiento N-TRIP, para la zona urbana del cantón Quito.**

Apolo Matamoros, Kevin José y García Guamangallo, Stephany Carolina

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y de Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y de Medio Ambiente

MSc. Leiva González, César Alberto

11 de julio de 2022



TESIS\_APOLO\_GARCÍA\_FINAL\_rev7\_copyleaks.pdf

Scanned on: 14:25 May 17, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	251
Words with Minor Changes	75
Paraphrased Words	120
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

Firma:

.....  
**Ing. Leiva González, César Alberto, MSc**  
**Director**



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: “**Desarrollo de una aplicación Android para la obtención de alturas niveladas en tiempo real, por medio de posicionamiento N-TRIP, para la zona urbana del cantón Quito**” fue realizado por los señores **Apolo Matamoros, Kevin Jose y García Guamangallo, Stephany Carolina**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 11 de julio de 2022**

Firma:

.....  
**Ing. Leiva González, César Alberto, MSc**

C. C. 1715416689



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Apolo Matamoros, Kevin Jose y García Guamangallo, Stephany Carolina**, con cédulas de ciudadanía n° 1726783929 y 1726631920, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Desarrollo de una aplicación Android para la obtención de alturas niveladas en tiempo real, por medio de posicionamiento N-TRIP, para la zona urbana del cantón Quito"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 27 de junio de 2022**

**Apolo Matamoros Kevin Jose**

C.C: 1726783929

**García Guamangallo Stephany Carolina**

C.C.: 1726631920



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente**

**Autorización de Publicación**

Nosotros **Apolo Matamoros, Kevin Jose y García Guamangallo, Stephany Carolina**, con cédulas de ciudadanía n° 1726783929 y 1726631920, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Título: : "Desarrollo de una aplicación Android para la obtención de alturas niveladas en tiempo real, por medio de posicionamiento N-TRIP, para la zona urbana del cantón Quito"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 27 de junio de 2022**



.....

**Apolo Matamoros Kevin Jose**

C.C: 1726783929



.....

**García Guamangallo Stephany Carolina**

C.C.: 1726631920

### **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro ,primeramente, a Dios y a mi mama Lennis Matamoros por saber guiarme en el transcurso de este largo y arduo camino dándome las pautas necesarias para que no desfallezca en el intento para lograr llegar a mi objetivo, a mi padre Oswaldo Apolo quien con pocas palabras me supo guiar en mi vida para saber lo que está bien y lo que no, también dedico este logro a mis hermanos Edison Apolo e Irina apolo quienes siempre fueron mi modelo a seguir dándome un buena imagen de ellos y cumpliendo su papel como hermanos mayores dándome siempre el mejor ejemplo, queriendo siempre ser como ellos teniendo el anhelo de poder lograr más logros académicos. Les dedico este logro y espero poder dedicarles muchos logros más para que se sientan orgullosos de mi

-Kevin Jose-

Mi intención no es dedicar este último papel si no mi vida académica, mis logros y fracasos, desvelos y borracheras, todo aquello que haya contribuido a que hoy día este aquí. Gracias mamá por apoyarme incondicionalmente, nunca me dijiste que no cuando se debía a aspectos académicos, nunca me presionaste ni regañaste solo impulsaste, nunca olvidare esta frase que me dijiste en la escuela “si no quieres hacer los deberes no los hagas, anda mejor a dormir”, ahí aprendí lo que es la responsabilidad y entendí que somos dueños de nuestro propio destino. Un objetivo se lo alcanza por medio del conjunto de esfuerzos y esos sacrificios los hacemos porque hay alguien que nos motiva o inspira y gracias a Dios a mi ese tipo de ejemplos no me han faltado empezando por mi abuelo Manuel Guamangallo, tremendo ejemplar de profesional al cual aspiro algún rato alcanzar, seguidos por mis profesores, amigos y futuros colegas. Quiero hacer un apartado para mencionar a mi colega Christian Sánchez que es la persona que me ha acompañado desde el primer día de clases en esta emblemática institución y espero que me siga guiando como lo ha hecho hasta ahora.

**-Stephany Carolina-**

## Agradecimientos

Todos hemos escuchado que la universidad no es cuestión de velocidad si no de resistencia y pues nosotros lo hemos corroborado, es la relación más toxica que hemos tenido, aunque nos haya hecho llorar ahí hemos seguido, pero bueno como dicen lo que vale la pena cuesta lágrimas y sangre, aunque no lo crean en las giras si la ha habido, dejaremos de divagar, pero si es emocionante y nostálgico saber que ha culminado una etapa de nuestra vida, porque la universidad se ha convertido en nuestro segundo hogar la que nos ha proporcionado momentos maravillosos y tediosos, por la cual hemos tenido la oportunidad de conocer a personas magnificas que siempre han compartido su conocimiento que son aquellas a las que les agradecemos este momento, la familia CIGMA porque no hay otro sustantivo que describa de mejor manera el papel que juegan en nuestras vidas. También agradecemos a nuestros familiares que nos han acompañado en esta travesía incentivándonos a luchar por la aclamada ingeniería, nos demoraríamos en especificar persona por persona a la cual correspondemos este logro, pero cada uno de ustedes sabe que su nombre se encuentra en este documento porque sin su apoyo no estaríamos aquí y sin más que decir citando a Snoop Dogg

“Last but not least, I wanna thank me

I wanna thank me for believing in me

I wanna thank me for doing all this hard work

I wanna thank me for having no days off

I wanna thank me for, for never quitting”

**- Kevin Apolo y Stephany García -**



## Tabla de Contenidos

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla de Contenidos .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>17</b>
Aspectos Generales.....	17
Planteamiento del Problema de Investigación .....	17
Antecedentes .....	18
Justificación e Importancia.....	19
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos Específicos.....	20
Descripción General del Trabajo .....	20
<b>Capítulo II.....</b>	<b>23</b>
<b>Conceptos y generalidades .....</b>	<b>23</b>
Geodesia .....	23
Geodesia Física.....	23
Geodesia Geométrica.....	24
Geodesia Satelital.....	25
Sistemas Geodésicos de Referencia.....	26
Sistemas de Referencia Geocéntricos .....	26
Marcos de Referencia Geocéntricos.....	26
Superficies de referencia .....	27
Superficie Topográfica (Superficie física de la Tierra).....	27
Geoide.....	27
Elipsoide.....	28

	10
Cuasigeoide.....	28
Teluroide.....	28
Relación entre la superficie terrestre el geoide y el elipsoide.....	29
Ondulación Geoidal.....	30
Modelo gravimétrico mundial 2008 (EGM08).....	31
Sistemas de Alturas .....	31
Altura Nivelada.....	31
Altura Ortométrica .....	32
Altura Elipsoidal .....	33
Altura Normal.....	33
Relación entre alturas con sus respectivas superficies de referencia.....	34
Sistemas de Referencia para Ecuador .....	34
Red de Control Básico Horizontal.....	35
Red de Control Básico Vertical .....	36
Métodos de Nivelación .....	36
Nivelación Geométrica.....	36
Nivelación Trigonométrica .....	38
Nivelación GPS .....	38
Métodos de posicionamiento GNSS.....	40
Introducción.....	40
Método Estático.....	41
Método Estático Rápido .....	41
Método Cinemático .....	42
Método RTK (Real Time Kinematic).....	42
Método N-TRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) .....	43
Android Studio.....	44
Programación en Java orientado a objetos .....	45
Programación en HTML.....	46
<b>Capítulo III.....</b>	<b>47</b>
<b>Desarrollo.....</b>	<b>49</b>
Recopilación de datos.....	49
Modelo EGM 08 .....	49
Red de Control Básico Vertical .....	53

	11
Shape del cantón Quito .....	55
Posicionamiento GNSS .....	56
Posicionamiento GNSS en las placas de la red de control básico vertical IGM mediante el método estático rápido .....	56
Procesamiento de los datos GNSS, en gabinete .....	59
<b>Desarrollo de la aplicación Android Para la obtención de puntos nivelados .....</b>	<b>63</b>
Generación del código fuente de la aplicación, con los datos obtenidos en el posicionamiento GNSS y el modelo de ondulación geoidal EGM08. ....	67
Diseño de la interfaz de la aplicación móvil.....	72
Compilación del código fuente y pruebas .....	74
Ejecución de la aplicación y su interfaz final.....	76
<b>Validación de la aplicación mediante posicionamiento GNSS por medio del protocolo NTRIP .....</b>	<b>77</b>
Elaboración del plan de muestreo de las placas que componen la red de control vertical IGM.....	77
Posicionamiento GNSS-NTRIP y ejecución de la aplicación. ....	78
Determinación de alturas referidas al nivel medio del mar en tiempo real, mediante la aplicación desarrollada. ....	81
<b>Análisis estadístico para la determinación de precisiones .....</b>	<b>82</b>
Cuadro comparativo de diferencias entre alturas niveladas con nivelación geométrica (IGM) y nivelación GPS obtenida por medio de la aplicación .....	82
Determinación de exactitud posicional vertical de la aplicación RT-VPP .....	83
Análisis de error en función de la distancia .....	86
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>94</b>
<b>Análisis de resultados de la investigación .....</b>	<b>94</b>
<b>Capítulo V .....</b>	<b>95</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>95</b>
Conclusiones .....	95
Recomendaciones.....	96
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>97</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>101</b>

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Tiempo de posicionamiento FAST STATIC, en función de la distancia a la base QUI 1-REGME .....	58
<b>Tabla 2.</b> Configuración del proyecto en TBC para el procesamiento de datos .....	59
<b>Tabla 3.</b> Análisis del error de la app RT-VPP en puntos IGM .....	83
<b>Tabla 4.</b> Cálculo de RMSEz con los puntos obtenidos con NTRIP, para la precisión .....	84
<b>Tabla 5.</b> Exactitud vertical por escalas.....	86
<b>Tabla 6.</b> Exactitud vertical respecto a la base norte IV-L3-4A.....	88
<b>Tabla 7.</b> Exactitud vertical respecto a la base sur IX-L3-5A-AJ.....	91
<b>Tabla 8.</b> Comparación de las exactitudes de las alturas niveladas respecto a la distancia de su base.....	92

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Zona de estudio de la investigación - Cantón Quito .....	21
<b>Figura 2.</b> Superficie de referencia de la geodesia física (Geoide) .....	24
<b>Figura 3.</b> Superficie de referencia de la geodesia geométrica (Elipsoide).....	25
<b>Figura 4.</b> Superficie de referencia, Teluroide .....	29
<b>Figura 5.</b> Relación entre superficie topográfica, geoide y elipsoide.....	30
<b>Figura 6.</b> Ondulación Geoidal .....	30
<b>Figura 7.</b> Alturas niveladas .....	32
<b>Figura 8.</b> Relación entre alturas.....	34
<b>Figura 9.</b> Esquema del método de nivelación trigonométrica .....	38
<b>Figura 10.</b> Flujo del funcionamiento del protocolo NTRIP.....	43
<b>Figura 11.</b> Esquema de la metodología de la investigación.....	47
<b>Figura 12.</b> Interfaz de la página oficial de la NGA, para descarga de la aplicación con el modelo EGM 08 .....	50
<b>Figura 13.</b> Mallado de extracción de datos EGM -08 .....	50
<b>Figura 14.</b> Archivo INPUT .....	51
<b>Figura 15.</b> Ejecución del programa para la obtención de la ondulación geoidal .....	51
<b>Figura 16.</b> Archivo OUTPUT, generado por el programa.....	52
<b>Figura 17.</b> Interpolación lineal con triangulación del modelo EGM-08.....	53
<b>Figura 18.</b> Puntos pertenecientes a la Red de Control Básico Vertical, usados en la investigación .....	54
<b>Figura 19.</b> Zona de intervención (Shape de la zona urbana del cantón Quito) .....	55
<b>Figura 20.</b> Puntos de posicionamiento GNSS en el distrito metropolitano de Quito - Zona Urbana.....	57
<b>Figura 21.</b> Posicionamiento GNSS.....	59
<b>Figura 22.</b> Información de la base GNSS.....	60
<b>Figura 23.</b> Editor de sesiones-constelación GPS.....	61
<b>Figura 24.</b> Puntos de posicionamiento GNSS seleccionados para la elaboración de la App .....	61
<b>Figura 25.</b> Creación de un nuevo proyecto en Android Studio .....	63
<b>Figura 26.</b> Diseño de interfaz de la app.....	64
<b>Figura 27.</b> Parte lógica del programa en Android Studio, donde se usará el lenguaje Java.....	64
<b>Figura 28.</b> Instalación de la virtualización de un dispositivo para la ejecución de la app.....	65

<b>Figura 29.</b> Activación del modo desarrollador en el dispositivo Android, para la compilación del código.....	66
<b>Figura 30.</b> Ingreso de la base de datos obtenidos en campo .....	68
<b>Figura 31.</b> Parte lógica de la aplicación.....	70
<b>Figura 32.</b> Interfaz preliminar de la aplicación móvil .....	73
<b>Figura 33.</b> Código xml de la interfaz que se va a mostrar en el dispositivo de la aplicación.....	74
<b>Figura 34.</b> Compilación del código fuente .....	74
<b>Figura 35.</b> Resultado de la compilación y notificación de errores dentro del código.....	75
<b>Figura 36.</b> Versión Final de la aplicación, punto de rastreo fuera de la zona de estudio .....	76
<b>Figura 37.</b> Diseño del icono .....	76
<b>Figura 38.</b> Apariencia de la aplicación instalada en un dispositivo móvil .....	77
<b>Figura 39.</b> Puntos de posicionamiento GNSS-NTRIP en el distrito metropolitano de Quito - Zona Urbana.....	77
<b>Figura 40.</b> Registro de usuario para el acceso al servicio NTRIP.....	79
<b>Figura 41.</b> Ejemplo de características presentes para la medida del punto .....	80
<b>Figura 42.</b> Ejemplo de obstáculos en campo que no permiten una solución fija.....	81
<b>Figura 43.</b> Validación de la aplicación RT-VPP.....	81
<b>Figura 44.</b> Base norte IV-L3-4A para el cálculo de errores .....	87
<b>Figura 45.</b> Errores en relación a la distancia – Base Norte.....	88
<b>Figura 46.</b> Base sur IX-L3-5A-AJ para el cálculo de errores.....	89
<b>Figura 47.</b> Errores en relación a la distancia – Base Sur .....	92
<b>Figura 48.</b> Grafica comparativa de exactitud en función de la distancia.....	93

## Resumen

Debido al gran avance tecnológico motivado por el “Internet de las cosas” y el desarrollo de aplicaciones, se ha simplificado varias tareas y eso también involucra las ciencias geoespaciales. La determinación de las alturas referidas al nivel medio del mar en el Ecuador se las ha obtenido por medio de nivelación geométrica, la cual es muy precisa pero no es viable para varios proyectos de ingeniería debido al tiempo requerido, su alto costo y dificultad al ejecutar. La interacción entre los smartphones y los métodos de posicionamiento GPS (Global Positioning System), que trabajan en conjunto con el internet han permitido el desarrollo de la presente investigación que propone la generación de una aplicación Android, que facilita la obtención de alturas niveladas en tiempo real de puntos de forma precisa. En esta investigación se trabajó con NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol) y la IDE (Integrated Development Environment) de Android Studio, para obtener alturas de acuerdo al plano de referencia oficial del Ecuador, que es el nivel medio del mar. La nivelación GPS se la realizó sobre las placas de la Red de Control Básico Vertical del Ecuador localizadas en la zona urbana de Quito, datos usados como insumo para el desarrollo del aplicativo que en conjunto con un análisis de distancias e interpolación de datos de ondulación Geoidal del modelo EGM08 (Earth Gravitational Model 2008), da como resultado un algoritmo que brinda una altura oficial. Para la validación se utilizó el posicionamiento NTRIP. La determinación de la exactitud posicional de la investigación se la obtuvo gracias a la metodología propuesta por la NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy), que indica que la aplicación RT-VPP (Real Time Vertical Precise Positioning) tiene una exactitud de 11 cm.

*Palabras clave:* NTRIP, nivelación, posicionamiento, aplicación.

### **Abstract**

Due to the great technological progress motivated by the "Internet of Things" and the development of applications, several tasks have been simplified and this also involves geospatial sciences. The determination of heights referred to mean sea level in Ecuador has been obtained by means of geometric levelling, which is very accurate but not feasible for several engineering projects due to the time required, its high cost and difficulty to execute. The interaction between smartphones and GPS (Global Positioning System) positioning methods, which work in conjunction with the internet, have allowed the development of this research, which proposes the generation of an Android application that facilitates obtaining accurate leveled heights in real time. In this research we worked with NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) and the IDE (Integrated Development Environment) of Android Studio, to obtain heights according to the official reference plane of Ecuador, which is the mean sea level. The GPS levelling was performed on the plates of the Basic Vertical Control Network of Ecuador located in the urban area of Quito, data used as input for the development of the application that together with an analysis of distances and interpolation of Geoidal wavelet data from the EGM08 model (Earth Gravitational Model 2008), results in an algorithm that provides an official height. NTRIP positioning was used for validation. The determination of the positional accuracy of the research was obtained thanks to the methodology proposed by the NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy), which indicates that the RT-VPP (Real Time Vertical Precise Positioning) application has an accuracy of 11 cm.

*Keywords:* NTRIP, leveling, positioning, application.



## Capítulo I

### Aspectos Generales

#### Planteamiento del Problema de Investigación

Los métodos de nivelación tradicional no son viables para varios proyectos de ingeniería debido al alto tiempo que se requiere, su alto costo y dificultad al ejecutarlos; gracias a los avances tecnológicos y el modelamiento de los datos, el posicionamiento GNSS (Global Navigation Satellite System) es un método eficaz para la determinación de alturas de puntos, de forma rápida y precisa. No obstante, al estar referido a una superficie geométrica (elipsoide de revolución) es necesario realizar una corrección que permita obtener alturas referidas al datum vertical oficial del Ecuador, que con respecto al artículo 18 de la Ley de la Cartografía Nacional, se encuentra en la Libertad ubicado en la provincia de Santa Elena.

El internet y sus aplicaciones han crecido exponencialmente en los últimos años, las redes de comunicación móviles han permitido ampliar la disponibilidad del mismo, sin la necesidad de conexiones alámbricas, facilitando la accesibilidad. La mayoría de las aplicaciones transmiten su información a través del Protocolo de Internet (IP), el cual ha permitido el avance de las tecnologías geoespaciales que por medio del protocolo NTRIP el cual se basa en la transferencia de hipertexto (HTTP), esta mejora el flujo de datos GNSS y correcciones en tiempo real.

La implementación del internet para la transmisión de correcciones NTRIP permiten posicionamiento preciso en tiempo real, pero aun así es necesario un post procesamiento para la obtención de una altura referida al datum vertical oficial, lo cual entorpece la agilidad de los datos obtenidos.

La presente investigación facilita a los proyectos de nivelación, disminuyendo significativamente los costos de logística, técnico, administrativos, así como temporales.

## Antecedentes

El GPS NAVSTAR (Navigation System with Time And Ranging Global Positioning System), comúnmente conocido como GPS, es un sistema de navegación global basado en satélites que suministra información de posicionamiento tridimensional referido a un elipsoide que es una superficie de carácter geométrico, dando como producto coordenadas tridimensionales  $X, Y, Z$  que se pueden transformar en longitud  $\lambda$ , latitud  $\phi$  y altura elipsoidal  $h$ , conviene subrayar que la determinación de coordenadas espaciales se las puede realizar en cualquier parte del planeta, sin importar que estos puntos sean fijos o se encuentren en movimiento, al igual que no influye el momento del día en el que se lo realice. La altura procedente de una solución GPS siendo esta una superficie geométrica que para la mayoría de los propósitos prácticos no es factible, las alturas utilizadas son aquellas relacionadas con el campo de gravedad en lugar del elipsoide, como la altura ortométrica que está referida al geoide que es una superficie teórica alusiva al nivel medio del mar (Seeber, 2003)

La altura ortométrica al ser referidas a un Datum Vertical se las han llamado alturas niveladas, en el Ecuador el Datum vertical oficial esta materializado por el mareógrafo “La Libertad” ubicado en la península de Santa Elena, el cual representa el nivel medio del mar en esa posición geográfica y en una determinada época, por lo que se considera un geoide local. El Datum calculado fue aplicado y referido a las cotas que el Instituto Geográfico Militar (IGM) materializo a lo largo del país en los principales ejes viales, por medio de la nivelación geométrica, creando la red de control vertical del Ecuador (Tierra & Acurio, MODELO NEURONAL PARA LA PREDICCIÓN DE LA ALTURA GEOIDAL LOCAL EN EL ECUADOR, 2016).

Cárdenas & Enríquez en el año de 2019 reaizaron un primer trabajo indicando que la nivelación GPS permite obtener errores menores a los 15 cm en la determinación de alturas al nivel medio del mar, a distancias entre 8 – 14 km en la zona oriental y costera del Ecuador

continental, que concuerda con el mapa de gradiente de ondulación geoidal donde las variaciones bajas se ubican en la región costa y oriente, mientras que las estribaciones del callejón interandino tienen una mayor variación, por ende para obtener ese nivel de errores se tuvieron distancia entre 3.8 - 8.9 km.

Gracias a la implementación del servidor caster del IGM mediante la resolución IGM-IGM-2020-0095-R, que declara de uso público y gratuito la distribución del stream de correcciones diferenciales GNSS en tiempo real, a través del protocolo NTRIP (IGM, 2020). Es posible presentar una opción eficaz y económica frente a los servicios de corrección en tiempo real ya que la navegación GNSS tradicional transmite vía radio, donde la topografía del terreno y los elementos antrópicos y naturales afectan de mayor manera la transmisión de los datos.

### **Justificación e Importancia**

La presente investigación es de importancia, debido a que al realizar proyectos geoespaciales o de ingeniería es necesario tener el conocimiento de la superficie topográfica en sus tres dimensiones. La medición GNSS da una coordenada tridimensional X, Y, Z que se pueden transformar en longitud  $\lambda$ , latitud  $\phi$  y altura elipsoidal. La altura procedente de una solución GNSS es geométrica, sin embargo, las alturas requeridas deben estar referidas al Datum vertical oficial del Ecuador y los métodos tradicionales utilizados son nivelación geométrica y trigonométrica, que involucran cuantiosos recursos técnicos, temporales y económicos.

Por lo expuesto, es necesario implementar un método no tradicional que sea eficaz, accesible y preciso, que saque ventaja de las nuevas técnicas geoespaciales como el NTRIP y el uso masivo de las aplicaciones móviles, que permita el posicionamiento vertical en tiempo real y referido al datum vertical oficial del Ecuador.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Desarrollar una aplicación Android para la obtención de alturas niveladas en tiempo real, por medio de posicionamiento NTRIP, para la zona urbana del cantón Quito.

### ***Objetivos Específicos***

- Recopilar geo-información respecto a puntos geodésicos, en la ciudad de Quito.
- Realizar el posicionamiento GNSS, estático rápido de las placas de la Red de Control Básico Vertical del IGM en la ciudad de Quito.
- Desarrollar una aplicación móvil en el entorno de Android Studio por medio del lenguaje de programación de JAVA que interactúe con los datos del posicionamiento NTRIP y aplique el método de nivelación GNSS, para obtener la elevación de los puntos.
- Validar estadísticamente los resultados de la aplicación generada, a partir de posicionamiento NTRIP sobre placas de control vertical del IGM en la ciudad de Quito.

## **Descripción General del Trabajo**

El proyecto de investigación propuso el desarrollo de una aplicación Android para la obtención de alturas referidas al Datum vertical del Ecuador en tiempo real, por medio del método de nivelación GPS aplicando el protocolo NTRIP. Se ejecuto en la zona urbana del cantón Quito (ver *Figura. 1*) aplicando la resolución matemática de la ondulación geoidal del modelo EGM08. Se realizó la toma de mediciones GNSS sobre las placas de nivelación del IGM localizadas en la zona de estudio; los datos georreferenciados fueron la base del código fuente de la aplicación Android para el cálculo de la altura nivelada. Adicionalmente se validó la

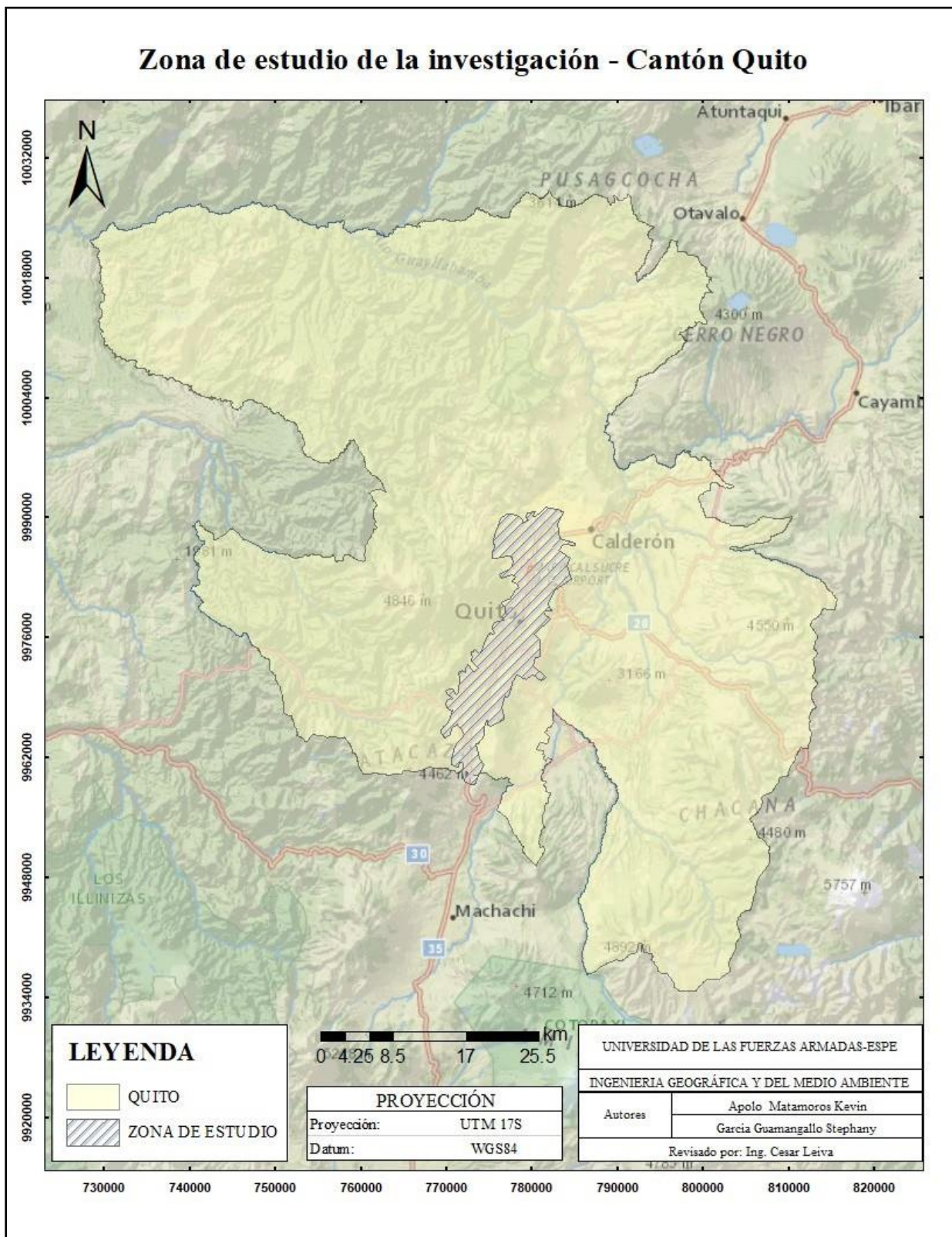
aplicación a través del posicionamiento in-situ sobre placas de control vertical que no fueron utilizadas en la base de datos de programación.

La aplicación se la realizó en Android Studio, esta IDE trabaja con el lenguaje de programación JAVA y KOTLIN; la codificación está orientada a objetos, de tal manera que se puede simplificar la estructura del código y tiene la apertura de ser modificada en cualquier momento. El objetivo de la aplicación es obtener una altura nivelada de manera instantánea con el ingreso de una coordenada en el sistema de referencia WGS84 (World Geodetic System 1984), proyección UTM (Universal Transverse Mercator) zona 17 Sur.

**Figura 1.**

*Zona de estudio de la investigación - Cantón Quito*

### Zona de estudio de la investigación - Cantón Quito



## Capítulo II

### Conceptos y generalidades

#### Geodesia

Siguiendo la definición clásica de Helmert (1880) es la ciencia que se encarga de determinar la forma y representar la superficie terrestre, mientras que Bruns (1878) planteó que el objetivo fundamental de la geodesia es la determinación del potencial gravitatorio, estos dos conceptos rigen a la ciencia interdisciplinaria. En la actualidad la geodesia es la ciencia que estudia la forma, dimensiones y campo gravitatorio externo de la Tierra o parte de ella, en un espacio tridimensional que varía con el tiempo (Jorge Moya; Bepsy Cedeño, 2017).

#### **Geodesia Física**

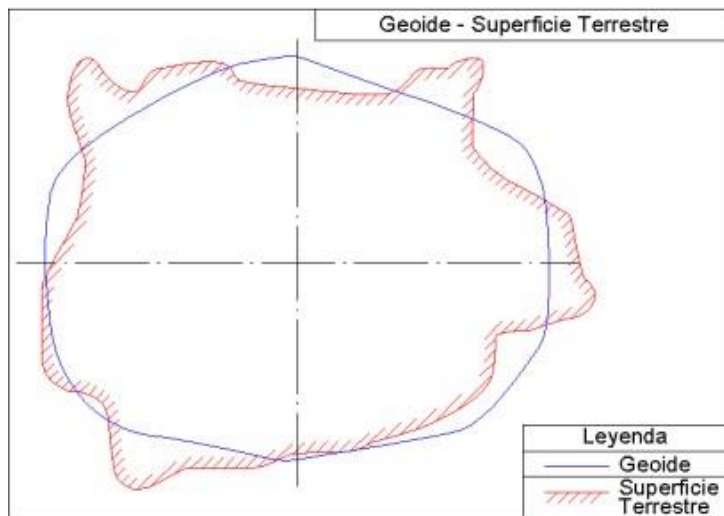
Esta se basa en las teorías físicas como son las leyes de la gravitación, la propagación de las ondas electromagnéticas y la mecánica del movimiento de los cuerpos, para el estudio de la forma de la tierra y su campo gravitatorio, cuyos objetivos principales son el estudio de los problemas de reducción y de desviación de la vertical y los cálculos del potencial de la fuerza de gravedad terrestre, partiendo de mediciones gravimétricas. (Espinosa, 2009).

La imposibilidad de expresar la forma de la Tierra mediante un modelo matemático sencillo, fue la razón de la implementación de un cuerpo matemático abstracto denominado geoide, que es la superficie de referencia de la geodesia física (ver *Figura 2*). El concepto fue propuesto por Listing (1873) "Superficie equipotencial o de nivel del campo de gravedad terrestre que coincida con la superficie media de mares y océanos en reposo idealmente extendida bajo los continentes" cabe recalcar que esta definición implica que se tome como constante al potencial de gravedad y, que la dirección de la gravedad en cualquier punto es perpendicular al geoide, por dicha razón Molodensky desarrollo una teoría con el objeto de estudiar la forma real de la Tierra a partir de mediciones reales realizadas en la superficie,

despreciando hipótesis sobre su estructura interna, definiendo una superficie auxiliar llamada cuasigeoide la cual es posible de determinar (Lopez S. , 1996).

## Figura 2.

*Superficie de referencia de la geodesia física (Geoide)*



Fuente: (Fernández, 2001)

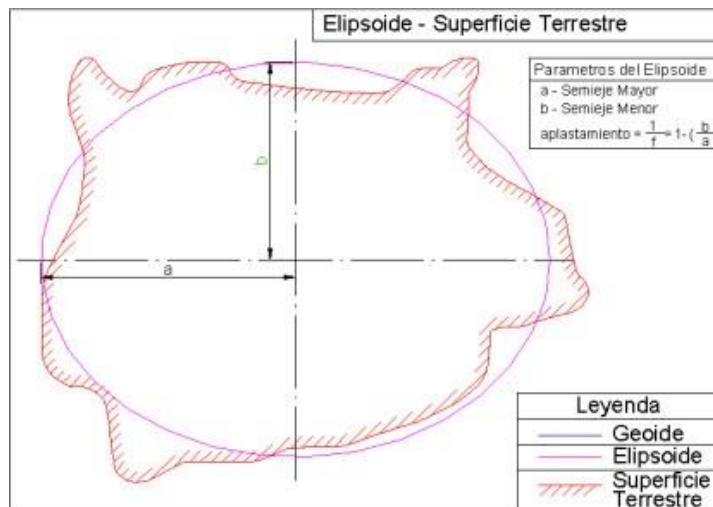
## **Geodesia Geométrica**

Esta rama de la geodesia que tiene como objetivo proporcionar un armazón o estructura geométrica precisa para el apoyo de los levantamientos topográficos, emplea el elipsoide de revolución como superficie de referencia, midiendo ángulos y distancias, y resolviendo triángulos elipsoidales, proporcionando principalmente coordenadas de puntos en su superficie (Rapp, 1991). A la Tierra se la representa con un elipsoide ligeramente achatado en los polos que gira alrededor de su eje menor (ver *Figura 3*). Un cálculo actual del radio ecuatorial (a) de la Tierra es de 6378137 m y el achatamiento (b) es aproximadamente  $1/298.257$ , lo que significa una diferencia de 21.7 km. entre el radio ecuatorial y el radio polar (Rapp, 1991).



**Figura 3.**

*Superficie de referencia de la geodesia geométrica (Elipsoide)*



Fuente: (Fernández, 2001)

### ***Geodesia Satelital***

Comprende la observación y técnicas informáticas que permiten la determinación de soluciones de los problemas geodésicos mediante el uso de mediciones precisas hacia, desde o entre satélites artificiales. Hoy en día, a la geodesia se la estudia de una manera más funcional que resolutiva a paradigmas teóricos. Trata el problema de la forma y dimensiones de la Tierra en un sistema de referencia cartesiano tridimensional, en el que el elipsoide es su superficie de referencia y en este se recalcula las coordenadas geográficas (Seeber, 2003).

Para la aplicación de la geodesia satelital es necesario conocer los movimientos de los satélites bajo la influencia de todos los actores o fuerzas, así como la descripción de las posiciones de los mismos y de las estaciones terrestres en marcos de referencia adecuados (Seeber, 2003).

### **Sistemas Geodésicos de Referencia**

Es una definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación.

La geodesia se basa en dos sistemas de referencia con sus correspondientes marcos de referencia, el que se considera fijo en el espacio y el fijo en la Tierra, el primero es el Sistema de Referencia Celeste (CRS) con su Marco de Referencia Celesta (CRF) y el otro corresponde al Sistema de Referencia Terrestre (TRS) con su Marco de Referencia Terrestre (TRF). Esta nomenclatura, ha sido adoptada por la Asociación Internacional de Geodesia (AIG) y por la Unión Astronómica Internacional (IAU) (Martín, 2020).

### ***Sistemas de Referencia Geocéntricos***

Se basa en ejes de coordenadas fijos sobre la Tierra, es decir que giren con ella, se lo conoce como geocéntrico debido a que el origen de la tripleta es el centro de masas terrestre, incluyendo la atmosfera y los océanos. La tripleta está conformada por los ejes coordenados (X, Y, Z), donde Z coincide con el eje de rotación de la Tierra, Y contenido en el plano ecuador y perpendicular al eje X el cual se sitúa en dirección del plano del Meridiano de Greenwich (Furones, 2011).

### ***Marcos de Referencia Geocéntricos***

Es la materialización de un sistema de referencia convencional a través de observaciones, que son la determinación de una serie de coordenadas dadas por estaciones que se encuentran distribuidas por todo el planeta.

El ITRF (International Terrestrial Reference Frame), establecido y mantenido por la IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service), es la materialización de un sistema de referencia geocéntrico cuya escala se basa en el metro. El ITRF está formado por coordenadas cartesianas y velocidades obtenidas mediante la combinación de diferentes

técnicas de observación como son: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Stellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging), GNSS y DORIS (Dopper Orbitography and Radiopositioning Integrate by Satellite) (Furones, 2011).

## **Superficies de referencia**

### ***Superficie Topográfica (Superficie física de la Tierra)***

Está definida como un fenómeno continuo que abarca la topografía y el fondo oceánico. Sobre esta superficie se realizan las observaciones geodésicas y en general basado en esta se efectúan los estudios científicos y civiles, ya que sobre esta se encuentran todos los objetos geográficos que pueden ser observados y medidos. Uno de los principales objetivos de la geodesia respecto a esta superficie es la determinación de alturas (Echevarría, 2019).

### ***Geoide***

El primer acercamiento fue propuesto por Gauss (1828) que lo define como, la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que coincide con el nivel medio de los océanos (Cogliano, 2006). El geoide es una representación matemática de la Tierra que está compuesta por una superficie equipotencial imaginaria que surge de la suposición que la superficie oceánica se encuentra en reposo y se prolonga por encima o por debajo de los continentes, como consecuente se crea una superficie en equilibrio respecto a las masas oceánicas sometidas a la acción gravitatoria y a la de la fuerza centrífuga ocasionado por el movimiento de la Tierra, de manera que la dirección de la gravedad es perpendicular en todos los puntos dados sobre este modelo. El mismo tiene en cuenta las anomalías gravimétricas y el achatamiento en los polos, dando como resultado una superficie irregular (ver *Figura 2*) (Rey, 1999).

### **Elipsoide**

Debido a la complejidad matemática del geoide se creó un modelo geométrico fácil de entender y de ejecutar cálculos sobre el mismo, facilitando el posicionamiento horizontal. Esta superficie regular se la obtiene al momento de hacer girar una elipse en torno a su eje menor. El elipsoide biaxial está definido por el semieje mayor (a), el semieje menor (b) y el achatamiento (f), (ver *Figura 3*) (Leiva, Araujo, & Bueñaño, 2017). Sobre esta superficie se miden las coordenadas Geográficas teniendo en cuenta que, para poder determinar dichas coordenadas, es necesario que la vertical del punto sea la misma para el elipsoide (normal) como para el geoide (Línea de plomada) (Sánchez J. L., 2013).

### **Cuasigeoide**

Según Zakatov (1997) citado por (Leiva, 2014) es una superficie auxiliar en el cálculo del geoide, es decir esta coincide en la parte líquida de la superficie terrestre y varía en la parte sólida del geoide cabe, recalcar que es menos de 2 metros esta variación.

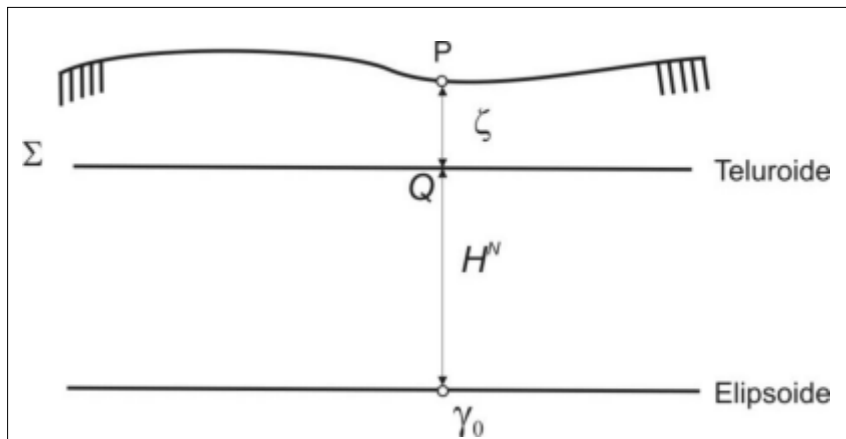
El cuasigeoide es una superficie no equipotencial que es muy próxima al geoide, en lugares poco elevados la diferencia entre el geoide y el cuasigeoide varía entre mm y cm. Su determinación no requiere de hipótesis geofísicas y está basado en el modelamiento matemático del campo de gravedad normal (Sanchez, 2017).

### **Teluroide**

Es una superficie semejante a la terrestre pero no es una de nivel debido a que por cada punto de este pasan diferentes esferopotenciales. Se define como la superficie formada por aquellos puntos Q, que poseen el mismo potencial normal que el del geopotencial en los diferentes puntos P de la superficie de la tierra (ver *Figura 4*) (Sanchez, 2017).

**Figura 4.**

Superficie de referencia, Teluroide



Nota: Llevando la altura normal hacia arriba desde el elipsoide, obtenemos el Teluroide.

Fuente: (Intracaso, 2006)

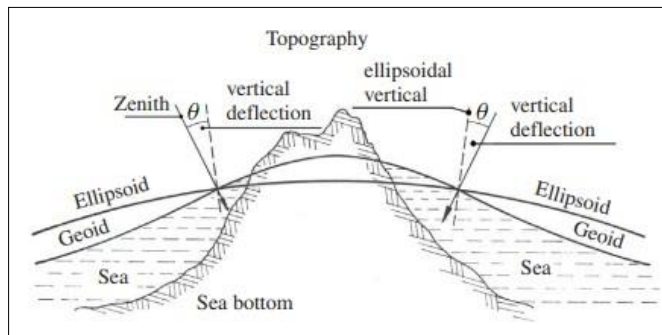
### **Relación entre la superficie terrestre el geoide y el elipsoide.**

La forma física de la Tierra es muy compleja y difícil de calcular, por ende, se creó la superficie geométrica que es el elipsoide rotacional que es liso y conveniente para cálculos matemáticos que simplifica la determinación de coordenadas horizontales, por otro lado, el modelo matemático geoide es el más adecuado para el cálculo de coordenadas verticales (alturas), que se define como esa superficie de nivel del campo de gravedad que mejor se ajusta al nivel medio del mar (Seeber, 2003).

La relación entre la superficie terrestre o topográfica, el geoide y elipsoide (ver *Figura 5*). es la separación vertical llamada ondulación geoidal que es aproximadamente igual a la diferencia entre la altura elipsoidal y la altura nivelada (nivel medio del mar) según la ecuación (4.1) (Leiva, 2014).

**Figura 5.**

*Relación entre superficie topográfica, geode y elipsoide*



Fuente: (Seeber, 2003)

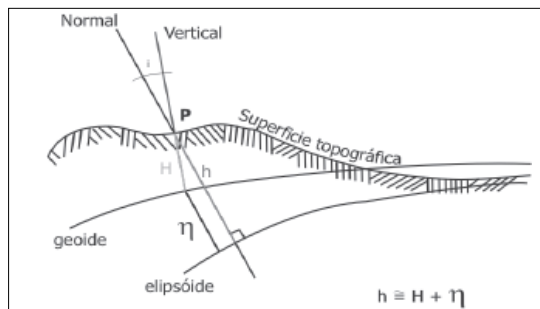
**Ondulación Geoidal**

La ondulación Geoidal ( $\eta$ ) es la diferencia entre el elipsoide y el geode, y se expresa matemáticamente como la ecuación (2.1), por la diferencia entre la altura elipsoidal ( $h$ ) y la altura ortométrica ( $H$ ) que en este estudio la tomaremos como la altura sobre el nivel medio del mar (ver *Figura 6*) (Leiva, 2014).

$$H = h - \eta \tag{2.1}$$

**Figura 6.**

*Ondulación Geoidal*



Fuente: (Leiva, 2014).

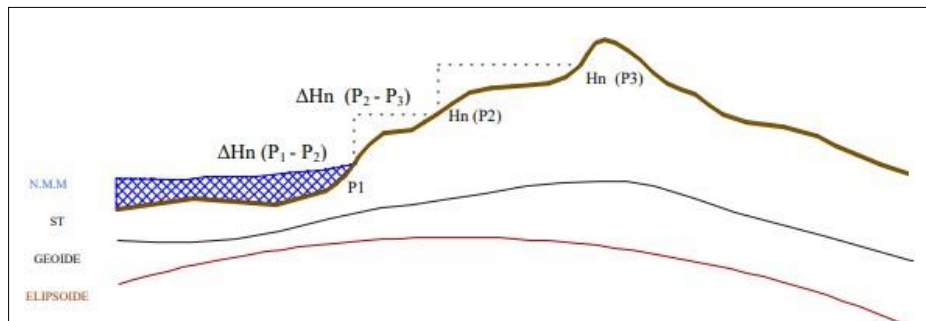
### **Modelo gravimétrico mundial 2008 (EGM08)**

Se trata de un modelo establecido para la transformación de alturas entre superficies. Actualmente, para el elipsoide WGS84 se utiliza el modelo EGM08 que contiene armónicos esféricos al grado y orden 2159, cuenta con coeficientes adicionales extendidos al grado 2190 y al orden 2159. El EGM08 incorpora anomalías de la gravedad, obtenidas cada 5' x 5' (9.26 x 9.26 km. aproximadamente), esto disminuye los efectos aleatorios durante el proceso de análisis armónico y también ayuda en la calibración de errores en la estimación del modelo (Tierra, 2009).

### **Sistemas de Alturas**

#### **Altura Nivelada**

Las alturas niveladas ( $H^n$ ) son aquellas que se obtienen de las redes de nivelación de un país y tienen como referencia un datum altimétrico en el cual se determina el nivel medio del mar (n.m.m), en el caso del Ecuador este se encuentra ubicado en la península de Santa Elena, el mareógrafo de la Libertad, para poder obtener este origen se necesita realizar mediciones dinámicas del océano, para que se pueda tomar en cuenta las diferentes variaciones estacionales que pueda presentar el mismo a lo largo de un tiempo. Una vez que se determina el datum vertical, se realiza un trabajo de nivelación hacia el interior del continente, con la finalidad de establecer puntos de control sobre la superficie topográfica, esto se logra mediante el cálculo de desniveles ( $\Delta H_n$ ) (ver *Figura 7*) (Sánchez J. L., 2013).

**Figura 7.***Alturas niveladas*

Fuente: (Sánchez J. L., 2013).

El cálculo de la altura nivelada ( $H^n$ ) se determina a partir de la ecuación (2.2), que se da de la diferencia entre la altura elipsoidal ( $h$ ) y el nivel medio del mar ( $\eta$ ).

$$H^n = h - \eta \quad (2.2)$$

**Altura Ortométrica**

La altura ortométrica es netamente física y se la define como la distancia vertical entre la superficie física de la Tierra y la superficie del geoide. Esta distancia se mide a lo largo de la línea de plomada, la cual es la curva que es tangencial a la dirección de la gravedad en cualquier punto, sin embargo, la línea de plomada no es recta debido a la gravedad que varía de acuerdo a las características de densidad local (Vaní, Santos, Tenzer, & Hernández, 2003).

Para calcular la altura ortométrica se necesita el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de plomada ( $\bar{g}$ ), pero este no puede ser medido, por lo tanto se lo debe estimar de acuerdo a la gravedad observada en la superficie terrestre (gradiente vertical de gravedad), aceptando alguna hipótesis referente a la distribución topográfica de la masa y densidad (Vaní, Santos, Tenzer, & Hernández, 2003); los números geopotenciales ( $C$ ) son divididos respecto a la gravedad media ( $\bar{g}$ ) como se indica en la ecuación (2.3).



$$H = \frac{C}{gg'} \quad (2.3)$$

Cabe recalcar que debido a estos inconvenientes en la determinación de la altura ortométrica, esta se la ha remplazado por la altura nivelada sobre el nivel medio del mar (n.m.m).

### ***Altura Elipsoidal***

Las alturas elipsoidales ( $h$ ) son medidas sobre la normal al elipsoide desde la superficie del mismo hasta un punto sobre la superficie terrestre (ver *Figura 6*). Es una altura geométrica y no se la puede aplicar a trabajos de ingeniería en los cuales se necesita realizar cálculos de alturas con aspecto físico, y se despeja de la ecuación (2.1), cabe recalcar que dicha formula no se cumple de manera estricta ya que las medidas respecto al geoide ( $H$ ) y las medidas con respecto al elipsoide ( $h$ ) no son paralelas, dando como resultado un error intrínseco, debido a que cada una esta medida respecto a la normal de su superficie de referencia, generando una desviación vertical que debido a su magnitud se lo puede despreciar para ciertos fines (Sánchez J. L., 2013).

### ***Altura Normal***

En un intento por disminuir los posibles defectos de las alturas ortométrica, Molodensky (1945- 1948) sugirió el uso de alturas normales. Las alturas normales ( $H^N$ ) están referidas a la superficie de referencia – cuasigeoide (ficticia) (Vaní, Santos, Tenzer, & Hernández, 2003).

La diferencia en el cálculo de las alturas normales respecto a las ortométricas es que, los números geopotenciales ( $C$ ) son divididos respecto a la media de la gravedad normal entre el cuasigeoide y el punto seleccionado ( $\gamma'$ ) ecuación (2.4), y se lo puede calcular sobre cualquier elipsoide referido (Leiva, 2014).

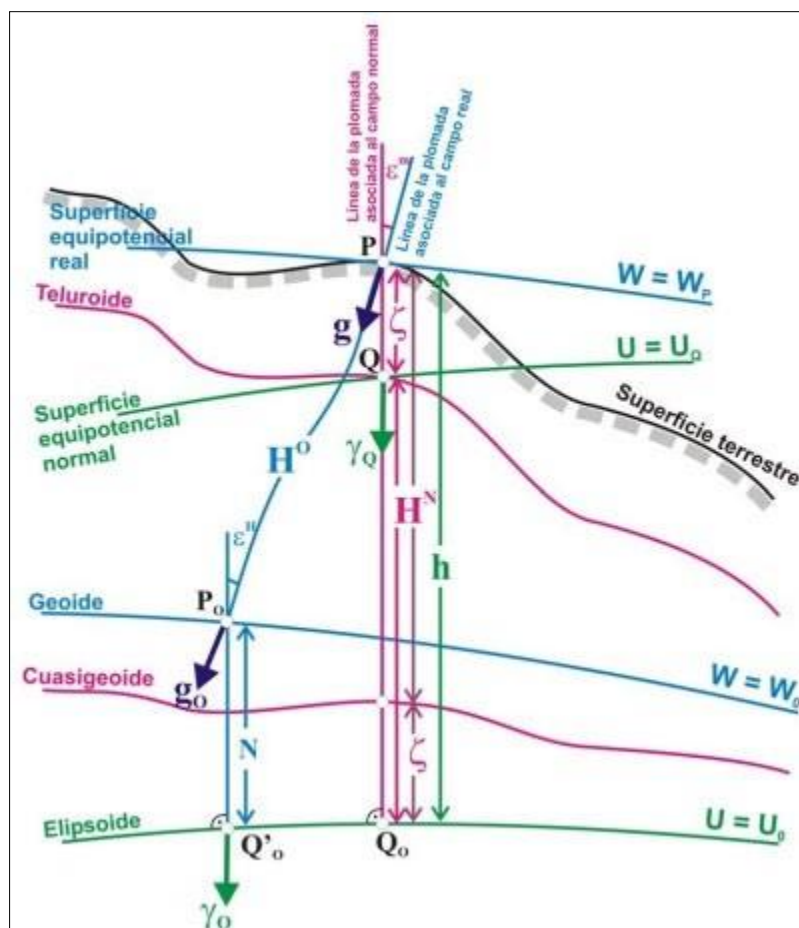
$$H^N = \frac{C}{\gamma'} \quad (2.4)$$

### Relación entre alturas con sus respectivas superficies de referencia

En la *Figura 8* se puede apreciar todas las alturas con sus respectivas superficies detalladas en el tema 4 y 5 del marco teórico.

#### Figura 8.

Relación entre alturas



Fuente: (Sánchez L. , 2002)

### Sistemas de Referencia para Ecuador

Las actividades tanto geodésicas como cartográficas deben desarrollarse sobre un Sistema de referencia para la consecuente localización de puntos que están dentro de la

superficie topográfica, dicho sistema se encuentra materializado por hitos o marcas físicas que están distribuidas en todo el territorio nacional.

Debido al avance tecnológico el Instituto Geográfico Militar, se propuso como meta proveer un Marco Geodésico acorde a las necesidades actuales, siendo así que entro a ser parte del Proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), de esta manera determinar la RENAGE (Red Nacional GPS del Ecuador) la cual esta enlazada al ITRS, sostenido por el IERS, dando como resultado una garantía de que siempre continuara actualizado de acuerdo a los requerimientos de georreferenciación del nuevo milenio (IGM, 2021).

Por otro lado, la REGME es el conjunto de varias estaciones GNSS de monitoreo continuo distribuidas por todo el territorio nacional estas se encuentran enlazadas a las constelaciones GPS+GLONASS, así mismo a la Red Nacional GPS y a la red Continental SIRGAS-CON, las estaciones de monitoreo continuo captan datos GPS los 365 días del año las 24 horas del día, abasteciendo de información para la realización de proyectos ingenieriles (Leiva, IGM, 2010).

### ***Red de Control Básico Horizontal***

Debido a los desplazamientos que se tenían en el anterior sistema de referencia PSAD56 con su datum ubicado en La Canoa – Venezuela, ha llegado a ser en un sistema sin utilidad para los fines actuales, por lo tanto, se ha recurrido hacer uso de un sistema de referencia geocéntrico el cual está conformado por la REGME, que tiene un conjunto de estaciones de monitoreo continuo ubicadas estratégicamente para que cada estación tenga un radio de cobertura de aproximadamente 50 km (Zurita, 2010). Mientras que la RENAGE es la red pasiva del Ecuador, está se encuentra conformada por 140 vértices siendo estos materializados por hitos y/o placas. Por los eventos ocurridos en abril del 2016 esta red perdió su consistencia debido a que sus coordenadas sufrieron afectación en su componente

horizontal, eventualmente por el crecimiento urbano y los rediseños estructurales de las ciudades muchas de las monumentaciones han sido destruidas (Rosas, 2020)

### ***Red de Control Básico Vertical***

En 1948 el IGM con el entonces IAGS, instaló un mareógrafo en la provincia de Santa Elena en la terminal petrolera de La Libertad, siendo este el dátum para referirse a las alturas, el IGM las traslado por nivelación geométrica estableciendo monumentaciones o placas en los principales ejes viales del país, para de esa manera lograr tener una red densificada de nivelación en todo el país y poder tener alturas de referencias en casi todas las ciudades del Ecuador.

Se realizaron diferentes anillos con líneas de nivelación desde el año 1990 hasta 2008, con observaciones de gravedad desde el 2003 hasta la actualidad, por lo tanto, las alturas obtenidas se encuentran desde los 2 msnm hasta los 3600 msnm (Cañizares, Tierra, & Leiva, 2015). La nivelación dada por el IGM es de carácter geométrico, con campañas de nivelación llevadas a cabo por el IGM, al momento de trasladar el sistema de referencia de PSAD56 a WGS84 se llevó a cabo una renivelación en todo el Marco de Referencia del país, por consecuente se hizo nivelaciones en los nuevos ejes viales del país, estableciendo una densificación de puntos para gravimetría sobre las líneas de nivelación y estableciendo 3 puntos de gravedad absoluta en ciudades del país como lo son Quito, Guayaquil y Quevedo (Zurita, 2010).

## **Métodos de Nivelación**

### ***Nivelación Geométrica***

La nivelación geométrica es un método el cual consiste en obtener desniveles entre dos puntos, para la aplicación de este método se necesita tener visuales horizontales y los instrumentos utilizados son el nivel de ingeniero y las regletas, la nivelación geométrica se

divide en: simple, si el nivel se determina con una sola observación y compuesta si conlleva un encadenamiento de observaciones (Avendaño & Vásquez, 2017), el procedimiento consiste en colocar el nivel en un punto equidistante de los dos puntos de los que se quiere conocer la elevación, y de esta manera realizar las lecturas con el nivel de ingeniero a las regletas graduadas. Para el arranque del trabajo se necesita tener una cota conocida, a la lectura de la regla en donde se conoce la cota se la denomina como vista atrás mientras que la cota que se desea conocer se la llama vista adelante, si se trata de una nivelación compuesta el procedimiento se repite haciendo un arrastre de cota hasta llegar al objetivo deseado en la línea de nivelación o anillo de nivelación (Villalba, 2015)

La nivelación geométrica se divide en dos métodos y estos mismos tiene sus subdivisiones según el método que se aplique esta son:

- Método de Nivelación Geométrica Simple
  - Método del punto medio: La estación se encuentra a la misma distancia entre las miras.
  - Método del punto extremo: La estación se ubica en el punto A y se observa hacia B, dándose la altura por la diferencia entre la lectura de la mira y la altura de la estación, con una precisión del orden del cm
  - Método de estaciones equidistantes: La estación primero se ubica en un punto E entre las miras, cerca del punto A para posteriormente situarse en un punto E' cerca de la mira B
- Método de nivelación Geométrica Compuesta
  - Línea de nivelación sencilla: Se aplica el método de punto medio para ir de un punto de partida hasta un punto objetivo.

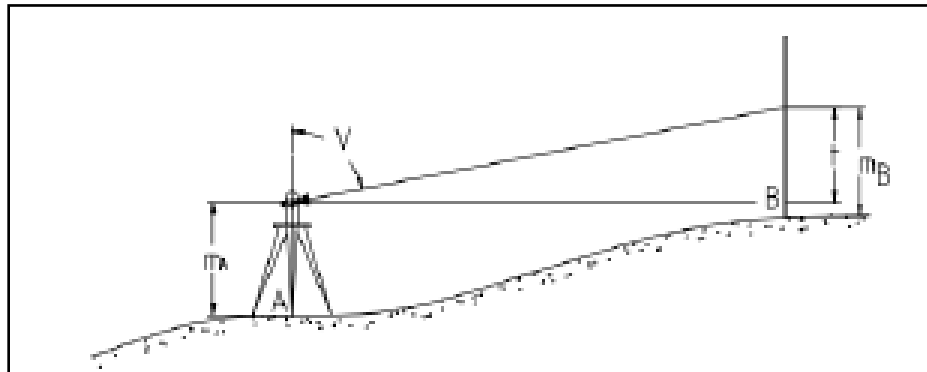
- Línea de nivelación doble: Se comienza con una línea de nivelación sencilla denominada de ida y al terminar se realiza la vuelta al mismo punto de partida (cerrada), o a un punto conocido, pero no el mismo de partida (abierta), conformando anillos de nivelación (Avendaño & Vásquez, 2017).

### ***Nivelación Trigonométrica***

Este método de nivelación altimétrica hace uso de las distancias y ángulos para así calcular el desnivel que existe en la superficie topográfica referente de un punto respecto a otro, este método hace uso de la función trigonométrica (seno) usadas del triángulo rectángulo que se forma entre los puntos observados, desde el prisma hasta la estación ver *Figura 9* (López, 2021).

### **Figura 9.**

*Esquema del método de nivelación trigonométrica*



Fuente: (Avendaño & Vásquez, 2017)

### ***Nivelación GPS***

La nivelación geométrica se trata de un método muy costoso y que consume mucho tiempo operativo, la introducción de la nivelación por GPS o GNSS ha sido una revolución en

este sentido. La nivelación satelital ayuda a determinar alturas haciendo uso de un Elipsoide y un Geoide como superficies de referencia (Cuentas, Yáñez, & Faure, 2017).

Las nivelaciones GPS o GNSS, también presenta obstáculos como todos los demás métodos los cuales son las condiciones medio ambientales, la ionosfera y troposfera, los multi-path y la infraestructura que puedan obstruir la señal de los satélites con el receptor (Enríquez, Leiva, Cárdenas, Sánchez, & Toulkeridis, 2021)

A continuación, se desarrolla el modelo matemático en el que se apoya el método de nivelación GPS o GNSS.

Sean dos puntos P y Q, siendo Q un punto nivelado conocido, mediante las siguientes ecuaciones se puede obtener la altura sobre el nivel medio del mar para cada punto.

$$H_P = h_P - \eta_P \quad (2.5)$$

$$H_Q = h_Q - \eta_Q \quad (2.6)$$

Donde:

$H_P$ : Altura nivelada del punto móvil P

$h_P$ : Altura elipsoidal del punto móvil P

$\eta_P$ : Ondulación geoidal del punto móvil P

$H_Q$ : Altura nivelada del punto base Q

$h_Q$ : Altura elipsoidal del punto base Q

$\eta_Q$ : Ondulación geoidal del punto base Q

Realizando la diferencia de estas dos ecuaciones y despejando la altura nivelada del punto móvil P, se obtiene la siguiente ecuación base del método de nivelación satelital

$$H_P^n - H_{QQ}^n = h_P - h_{QQ} - \eta_P + \eta_{QQ} \quad (2.7)$$

$$H_P^n = H_{QQ}^n + \diamond h_P - h_{QQ} \diamond - (\eta_P - \eta_{QQ}) \quad (2.8)$$

Los datos necesarios para poner en marcha este modelo matemático se los obtiene de la siguiente manera; el punto base (Q), se obtiene con el posicionamiento estático rápido con el posicionamiento GNSS realizando las debidas correcciones en el post procesamiento, y la altura obtenida con el método geométrico por el IGM, mientras que el punto móvil (P) se obtiene con el posicionamiento NTRIP

## Métodos de posicionamiento GNSS

### *Introducción*

El GPS consiste de un conjunto de satélites artificiales orbitando a la tierra, este conjunto de satélites se los conoce como constelaciones, se debe tener un mínimo de 24 satélites artificiales, la constelación NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging), perteneciente al sistema GPS es propiedad del departamento de defensa Americana, mientras que la Unión Europea tiene su propia constelación con sus sistema de navegación llamado GALILEO, de la misma forma por parte de Rusia tiene a GLONASS. Estos satélites emiten señal hacia el receptor que está ubicado en la superficie terrestre dotándolo de información por medio de señales electromagnéticas (González, 2015).

Los métodos de posicionamiento GNSS varían según el movimiento que tenga el receptor que se encuentra en la superficie terrestre, se conoce como método estático cuando el receptor mantiene su posición durante un intervalo mayor a 20 minutos, mientras que los métodos cinemáticos se caracterizan por que el receptor se mantiene en movimiento, las coordenadas obtenidas en estos casos son en tiempo real en el que las coordenadas



corregidas se da en la observación, de la misma manera es cuando se utiliza el protocolo NTRIP, las correcciones se tienen mediante las estaciones de monitoreo continuo GNSS las que actúan como base, estas correcciones se dan por medio de internet y por redes IP móviles; o también se pueden tener en post proceso en gabinete después de las observaciones (Santecchia & Span, 2020).

### ***Método Estático***

El método estático consiste en la obtención de coordenadas precisas, de manera en que los receptores se mantienen en su misma posición por intervalos de tiempos largos para la grabación de datos en el campo, el intervalo de tiempo del registro de información va a depender mucho de la configuración geométrica de los satélites y las condiciones de obstrucción, así como la distancia entre el receptor y la base (Agüero, Montilla, & Valero, 2018). Para obtener líneas bases, las soluciones conseguidas y su precisión son directamente proporcionales al intervalo de tiempo de la medición, mientras más se prolongue el tiempo de la observación más reiteradas serán las soluciones (Peñafiel & Zayas, 2001), por este motivo se obtienen altas precisiones. Uno de los principales usos de este método es para: las observaciones de los vértices de una red geodésica, establecimiento de bases para replanteos, seguimiento de las deformaciones y los movimientos ocurridos en la superficie de la tierra, etc. (Lopez, Núñez, & Gómez, 2010).

### ***Método Estático Rápido***

Este método es una variante del método estático, a diferencia de que aquí el lapso de tiempo en que se van a grabar las observaciones va a ser menor (Lopez, Núñez, & Gómez, 2010). Las estaciones se van a mantener en la misma posición dependiendo: la distancia con la base, el número de satélites y el intervalo en el que va a grabar los datos siendo este de 1 segundo a 60 segundos. El tiempo que se va a mantener el receptor estático va a ser de 5 a 10

minutos esto para distancias de líneas base inferiores a 5 km, alcanzando de esta manera una alta precisión en las observaciones (Peñafiel & Zayas, 2001)

### ***Método Cinemático***

El método cinemático consiste esencialmente en que el receptor de referencia se estaciona siempre de manera estática denominado base, mientras que el otro receptor denominado móvil o rover se mueve.

Para iniciar este método se necesita aplicar el método estático, o partir de un punto con coordenadas conocidas de tal manera hay que realizar una inicialización para resolver las ambigüedades y así obtener precisiones al centímetro, la técnica para poder resolver las ambigüedades mientras se realiza el método cinemático se la denomina OTF (On The Fly), esta inicialización trata en ubicar el móvil en un punto para determinarlo con respecto a la base y de esta forma arrancar con el método cinemático (Aduviri, Tito Loza, & Delgado , 2013)

En este método la base monitorea continuamente, mientras que el móvil se puede mantener constantemente en movimiento, podría incluso estar dentro de un vehículo en movimiento en forma de un navegador. Esta técnica es ampliamente usada para la determinación de trayectoria de objetos en movimiento, levantamiento de ejes viales, medición de perfiles, así como levantamientos hidrográficos y batimetría, gracias a su rapidez los levantamientos conllevan menos tiempo de realización y logística (Peñafiel & Zayas, 2001).

### ***Método RTK (Real Time Kinematic)***

El método de posicionamiento RTK se basa en realizar una inicialización OTF, por lo tanto, es necesario fijar las ambigüedades, este método se basa en un cinemático en el que el procesado de las señales es en tiempo real. Para realizar las observaciones se necesitan de dos equipos, una base y el móvil, estos se comunican por ondas de radio, el móvil almacena los datos en una colectora, por medio de un software especializado calcula el vector que une a

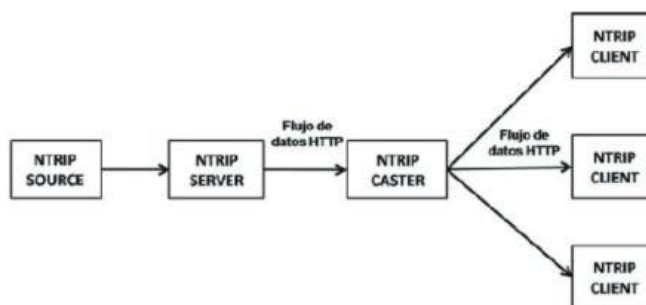
los dos receptores siendo así que se obtiene los puntos en tiempo real. Para trabajar con RTK la distancia entre la base y el móvil debe ser no mayor de los 10 a 15 km, por lo que receptores usan frecuencia de radio y por otro lado los errores ionosféricos (Lopez, Núñez, & Gómez, 2010)

### ***Método N-TRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)***

NTRIP es la transmisión de correcciones diferenciales en formato RTCM, a través de protocolos de transferencia de hipertexto (HTTP). Este sistema está conformado básicamente por tres elementos los cuales son: **NTRIP Source** en este elemento es donde se da el origen de la información de las correcciones diferenciales en RTCM, por medio de un receptor GNSS el cual tiene la singularidad de poder transmitir vía HTTP al servidor, ese servidor debe tener acceso a internet, **NTRIP Caster** este es un elemento transmisor siendo su función la de difundir las correcciones GNSS calculadas y **NTRIP Client** este es el elemento final ya que el receptor es el que recibe las correcciones diferenciales para realizar el Posicionamiento Preciso de un Punto (PPP) en tiempo real (Briceño, 2009)

### **Figura 10.**

*Flujo del funcionamiento del protocolo NTRIP*



Fuente: (Briceño, 2009)

Usar el protocolo NTRIP ayuda a que el posicionamiento sea preciso y en tiempo real con una margen de error más que óptimo para los requerimientos de levantamientos topográficos o geodésicos cotidianos, una de las ventajas más importantes es poder obtener las coordenadas referidas al marco de referencia en las que se encuentran los servidores Server-NTRIP, sin la necesidad de realizar ningún cálculo ni post procesamiento, gracias a esta nueva tecnología se puede densificar una red nacional de forma rápida y precisa.

El protocolo NTRIP en la actualidad ha tenido gran auge porque su uso es simple y la información adquirida por el usuario final es de buena calidad, su vasto uso entre la comunidad de profesionales se debe a que no se necesita realizar el postprocesamiento, en el cual muchas de las veces se perdía precisión por el motivo de las efemérides y una de las más importantes razones de su uso es la significativa reducción en tiempo y costo de logística al momento de realizar los rastreos en campo (Cmisay, Mackern, & Calori, 2013)

### **Android Studio**

Es una IDE que está basado en IntelliJ, este tiene un entorno para desarrollar el código de manera más amigable de tal manera que el código fuente pueda ser modificado una vez que ya se ha lanzado la app, para tener nuevas versiones y mejorar el funcionamiento o completarla con nuevas prestaciones (Hohensee, 2014). La arquitectura de Android Studio consiste en un trabajo por capas para operar en el Sistema Operativo de Android (AndroidOS) por sus siglas en inglés, este sistema operativo se divide en cinco secciones de sus capas principales, estas son las siguientes:

- **Linux Kernel.** – Aquí se encuentran los drivers de varios componentes de hardware de los diferentes dispositivos disponibles.

- **Librerías.** - Esta capa contiene el código que provee de las características especiales del sistema operativo de Android.
- **Android runtime.** - Este se encuentra en el mismo nivel que librerías ya que permite a los desarrolladores compilar el código fuente de la aplicación ya sea recurriendo a una máquina virtual (emulando a un dispositivo Android), o conectando un dispositivo con el sistema operativo mencionado en modo desarrollador.
- **Application Framework.** – Expone las diferentes capacidades que tiene el OS para las aplicaciones y que los desarrolladores puedan usar en sus proyectos.
- **Applications.** – En este nivel se puede determinar el lanzamiento de la aplicación desarrollada para ser descargada en la Android PlayStore

Las aplicaciones desarrolladas en Android Studio pueden ser corridas en los dispositivos que los desarrolladores lo establezcan, dependiendo el tamaño de la pantalla y el poder de procesamiento necesario para la ejecución de la aplicación entre los dispositivos compatibles como pueden ser los Smartphones, tables, dispositivos E-reader, Smarth Tv's, etc (DiMarzio, 2016).

### ***Programación en Java orientado a objetos***

La Programación Orientada a Objetos (POO), es una nueva forma de programar dejando de lado la forma tradicional y de esta forma resolver los problemas presentados de una manera más orgánica, resolviéndolos como lo haría un humano y no la máquina, gracias a la técnica de programar orientado a objetos se ha tenido algunas ventajas frente a la forma de programar tradicionalmente, existe una facilidad al momento de analizar y diseñar los programas dando un enfoque realista, reciclando partes del código para simplificar el desarrollo de programas extensos, ayuda a identificar de manera más versátil los errores en el código,

para poder modificarlos gracias a la característica de encapsulamiento. Uno de los lenguajes de programación que utiliza estos nuevos conceptos de programar orientado a objetos de manera nativa es Java, por lo cual se ha convertido en una herramienta muy poderosa para los desarrolladores en la actualidad (Mazón, Joffre, Víctor, & Wilmer, 2015).

La ventaja de desarrollar en Java, es que las aplicaciones desarrolladas aquí cuentan con clases las cuales son parte del lenguaje conocidas como API (Application Programming Interface) por sus siglas en inglés, siendo esta una forma sencilla en la que se organizan por paquetes que hacen referencia a los contenedores de estas clases, por este motivo programar es más intuitivo, siendo así, la gran mayoría de la academia aporta que una de las formas ideales para iniciar en el mundo de la programación es con Java por el motivo que incorpora muchas funcionalidades de modo estándar siendo más claro y sencillo, presentando grandes ventajas frente a otros lenguajes de programación (Flóres, 2012).

### ***Programación en HTML***

HTML (HyperText Markup Lenguaje), es un código sencillo el cual es orientado a la creación de páginas de hipertexto para que los usuarios puedan usarlo dentro de la red (Internet), este tipo de lenguaje de programación se compone básicamente de dos partes, la primera que contiene el encabezado y permite la identificación de la página el que está dado por la URL (Uniform Resource Locator) y la segunda parte que es el cuerpo de la página o del documento (Chinchilla & Morales, 1998). La característica más importante de programar con HTML es poder interactuar entre documentos, de manera que se puede simplificar las estructuras de los códigos (Vértice, 2009).

El lenguaje HTML es extensamente utilizado por Java Script además de otros lenguajes como XML (Extensible Markup Language), este lenguaje es de simple uso ya que lo único que se necesita para su programación es de un bloc de notas o un Notepad, así como accesibilidad al programa de internet predeterminado por el sistema operativo, en la actualidad también

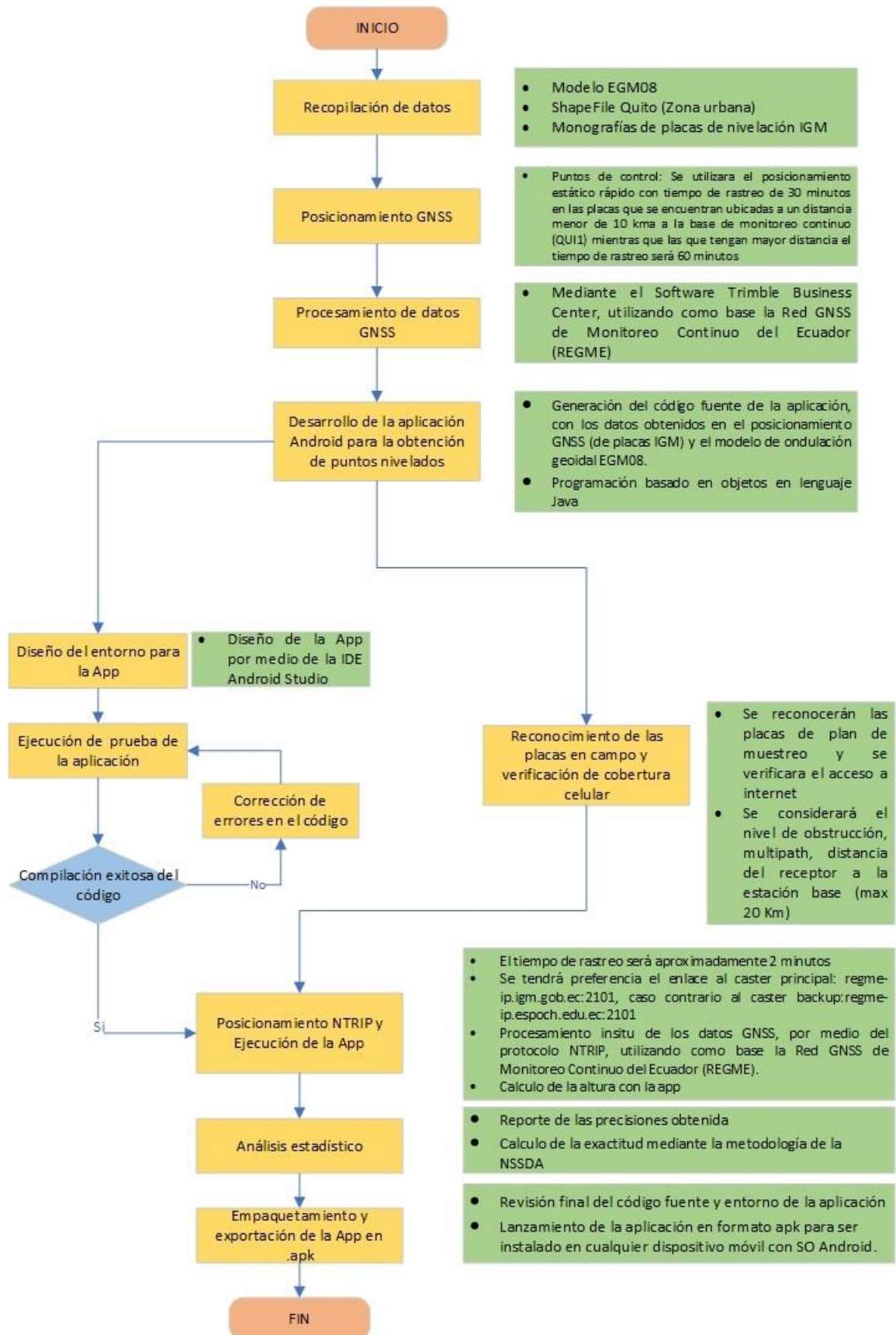
existen otros programas más sofisticados para el desarrollo y diseño de páginas web usando HTML (Sánchez & Cano, 2014).

### **Capítulo III**

El presente capítulo explica la metodología aplicada para la obtención de la aplicación Android, denominada Real Time Vertical Precise Positioning, como se puede visualizar en el resumen de la *Figura 11*.

#### **Figura 11.**

*Esquema de la metodología de la investigación*





## Desarrollo

### Recopilación de datos

Los insumos necesarios para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

- Monografías de las placas de nivelación de la Red de Control Básico Vertical del Ecuador, de estas placas se seleccionaron las que encuentran dentro del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) específicamente en la zona urbana de la ciudad. Las monografías fueron entregadas por el Instituto Geográfico Militar
- Delimitación (Shp) del DMQ para la selección de las placas de nivelación
- Modelo geoidal EGM 08, haciendo uso el aplicativo del NGA (National Geoespatial Intelligence Agency)

### **Modelo EGM 08**

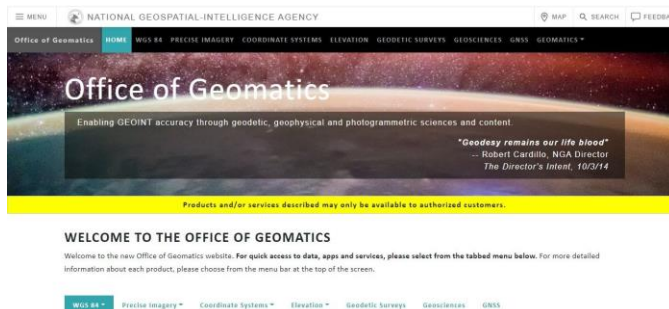
El modelo EGM08 da las ondulaciones geoidales en cualquier punto de la superficie topográfica, dicha información se obtuvo de la aplicación disponible en la página web de la NGA, URL: <https://earth-info.nga.mil>, ver *Figura 12*.

Para la obtención de las ondulaciones geoidales se procedió a realizar un mallado en la zona de estudio con una distancia de 1 km en el software ArcGis, (ver *Figura 13*), donde se extrajo las coordenadas proyectadas UTM- 17 Sur, junto con las coordenadas de los puntos medidos en campo con el posicionamiento estático rápido, las cuales fueron transformadas a coordenadas geográficas decimales debido a que el archivo denominado INPUT requiere un elenco de coordenadas en este formato, en el orden: latitud y longitud, respetando el signo si se refiere a Sur y Oeste, respectivamente, ver *Figura 14*. Cuando se haya generado y guardado el archivo INPUT, se debe ejecutar la aplicación (ver *Figura 15*).

El documento OUTPUT generado contiene las coordenadas ingresadas más su respectiva ondulación geoidal ver *Figura 16*.

## Figura 12.

*Interfaz de la página oficial de la NGA, para descarga de la aplicación con el modelo EGM 08*



Fuente: (NGA, 2022)

## Figura 13.

*Mallado de extracción de datos EGM -08*

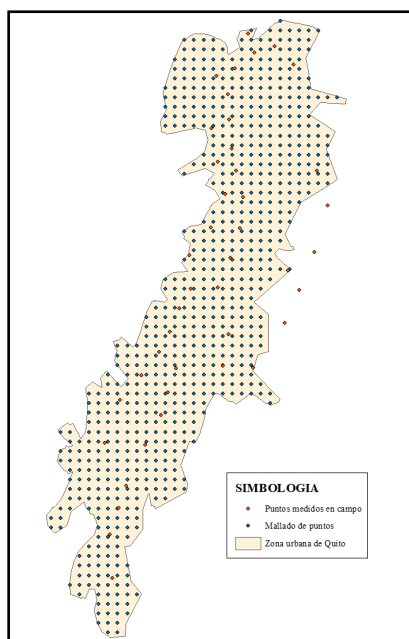
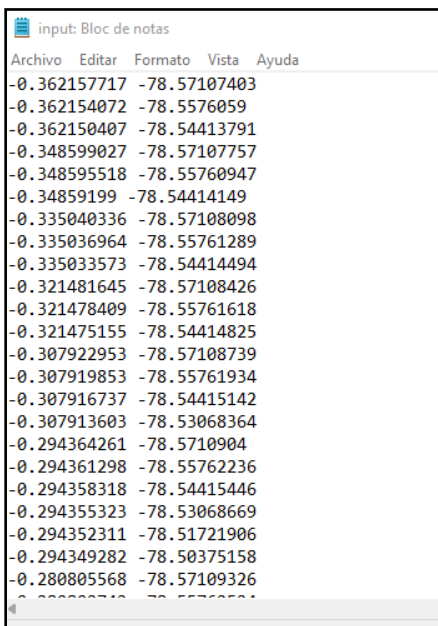


Figura 14.

Archivo INPUT



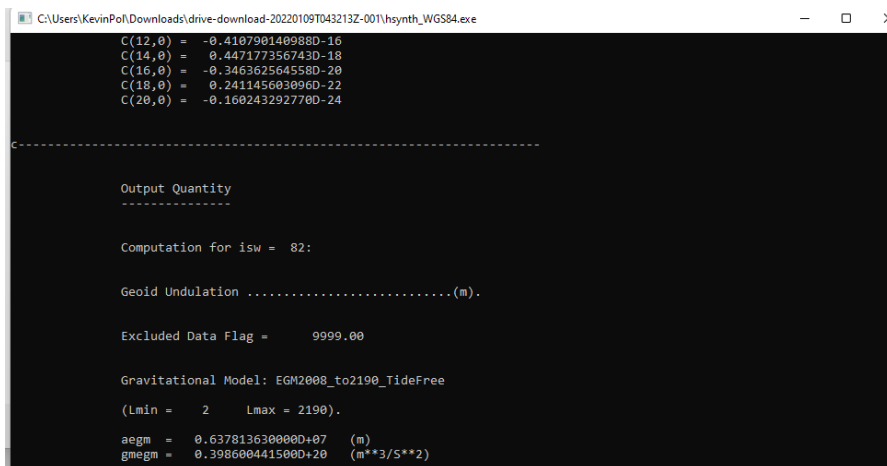
```

input: Bloc de notas
Archivo Editar Formato Vista Ayuda
-0.362157717 -78.57107403
-0.362154072 -78.5576059
-0.362150407 -78.54413791
-0.348599027 -78.57107757
-0.348595518 -78.55760947
-0.34859199 -78.54414149
-0.335040336 -78.57108098
-0.335036964 -78.55761289
-0.335033573 -78.54414494
-0.321481645 -78.57108426
-0.321478409 -78.55761618
-0.321475155 -78.54414825
-0.307922953 -78.57108739
-0.307919853 -78.55761934
-0.307916737 -78.54415142
-0.307913603 -78.53068364
-0.294364261 -78.5710904
-0.294361298 -78.55762236
-0.294358318 -78.54415446
-0.294355323 -78.53068669
-0.294352311 -78.51721906
-0.294349282 -78.50375158
-0.280805568 -78.57109326
-0.280802710 -78.55760551

```

Figura 15.

Ejecución del programa para la obtención de la ondulación geoidal



```

C:\Users\KevinPol\Downloads\drive-download-20220109T043213Z-001\hsynth_WGS84.exe
C(12,0) = -0.4107901409880-16
C(14,0) = 0.4471773567430-18
C(16,0) = -0.3463625645580-20
C(18,0) = 0.2411456030960-22
C(20,0) = -0.1602432927760-24

-----

Output Quantity
-----

Computation for isw = 82:

Geoid Undulation .....(m).

Excluded Data Flag = 9999.00

Gravitational Model: EGM2000_to2190_TideFree
(Lmin = 2 Lmax = 2190).

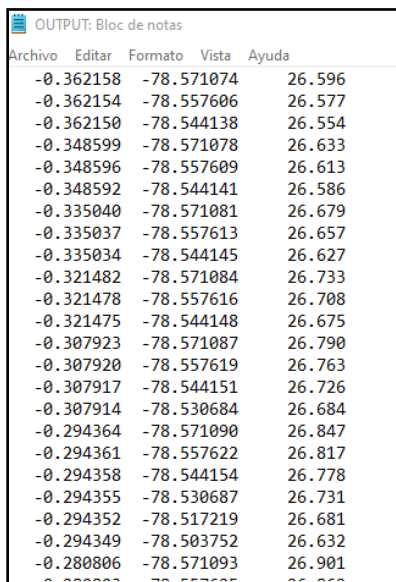
aegm = 0.637813630000+07 (m)
gmegm = 0.398600441500+20 (m**3/S**2)

```

Fuente: (NGA, 2022)

Figura 16.

Archivo OUTPUT, generado por el programa



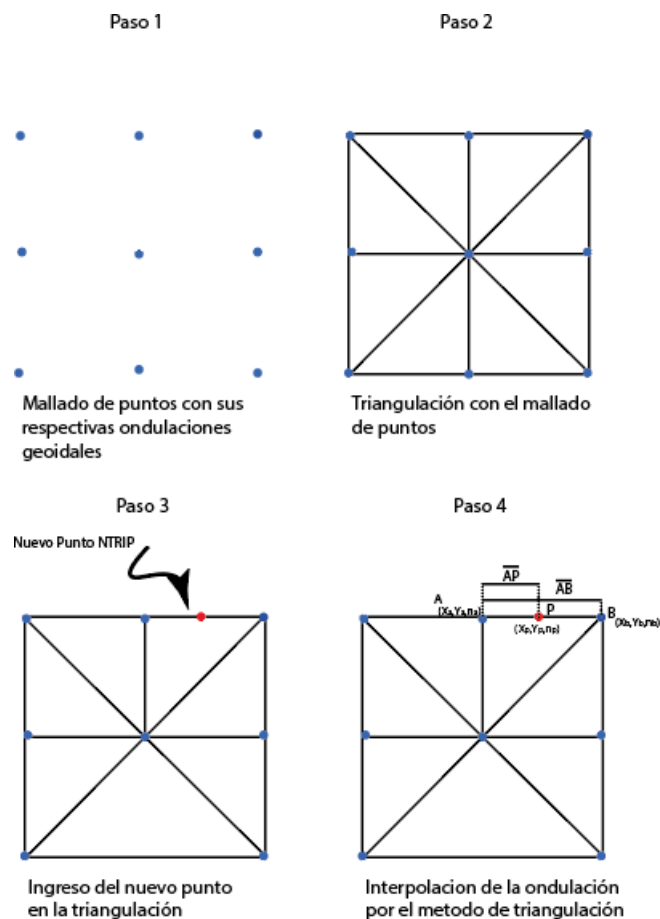
Archivo	Editar	Formato	Vista	Ayuda
-0.362158	-78.571074	26.596		
-0.362154	-78.557606	26.577		
-0.362150	-78.544138	26.554		
-0.348599	-78.571078	26.633		
-0.348596	-78.557609	26.613		
-0.348592	-78.544141	26.586		
-0.335040	-78.571081	26.679		
-0.335037	-78.557613	26.657		
-0.335034	-78.544145	26.627		
-0.321482	-78.571084	26.733		
-0.321478	-78.557616	26.708		
-0.321475	-78.544148	26.675		
-0.307923	-78.571087	26.790		
-0.307920	-78.557619	26.763		
-0.307917	-78.544151	26.726		
-0.307914	-78.530684	26.684		
-0.294364	-78.571090	26.847		
-0.294361	-78.557622	26.817		
-0.294358	-78.544154	26.778		
-0.294355	-78.530687	26.731		
-0.294352	-78.517219	26.681		
-0.294349	-78.503752	26.632		
-0.280806	-78.571093	26.901		
-0.280803	-78.557605	26.868		

El código completa la información del modelo EGM – 08, para cualquier punto (GPS), en el área de intervención por medio de la interpolación lineal con triangulación, la información es generada de acuerdo al principio de equidistancia, aplicando la ecuación (3.1), para de esta manera obtener la ondulación geoidal en cualquier punto obtenido con GNSS dentro del área de estudio en la *Figura 17* se indica mediante un bosquejo cómo funciona esta interpolación.

$$\eta_P = \eta + \frac{d_{PB}}{d_{AB}} (\eta_A - \eta_B) \quad (3.1)$$

**Figura 17.**

*Interpolación lineal con triangulación del modelo EGM-08*

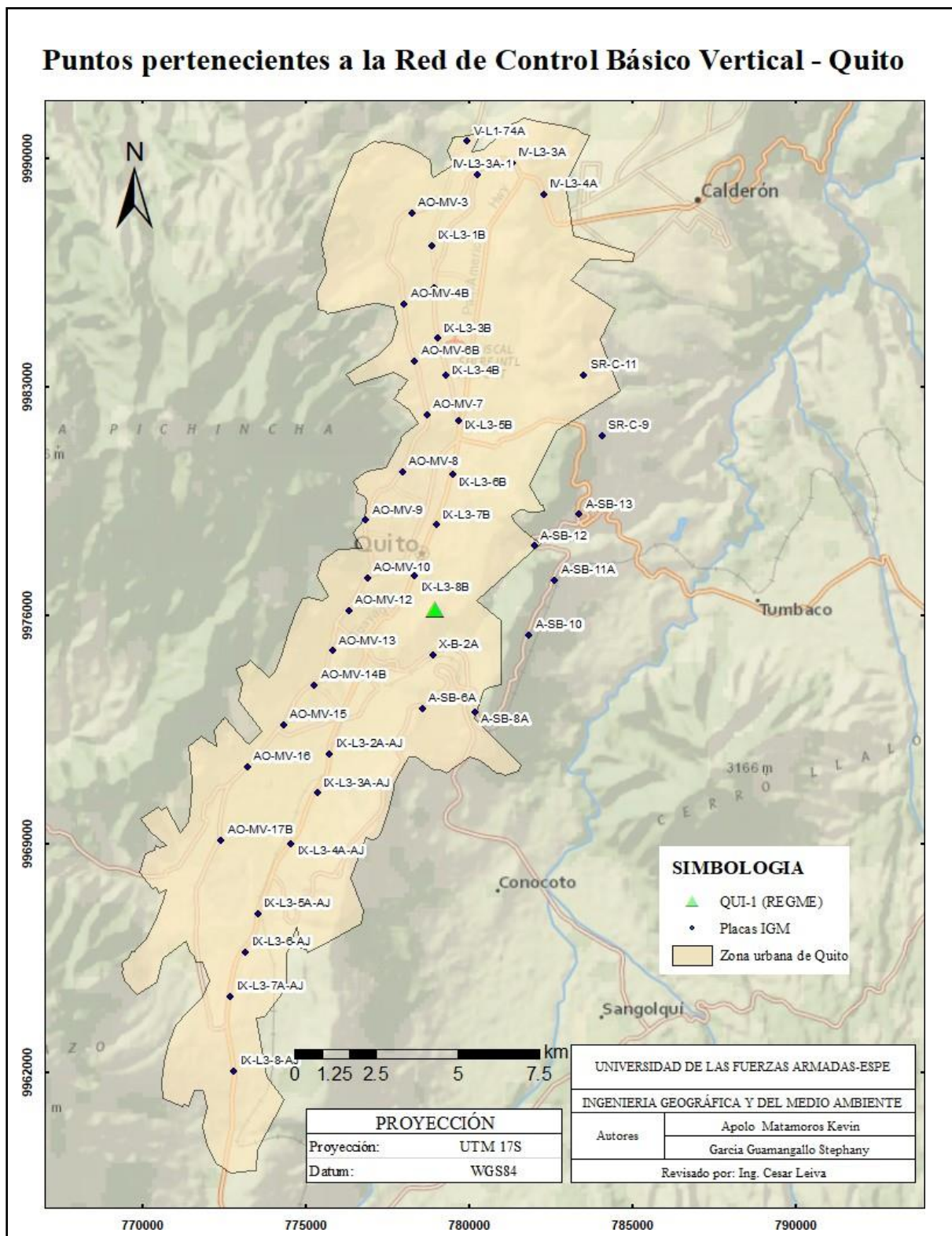


### ***Red de Control Básico Vertical***

El Instituto Geográfico Militar proporciona un archivo en formato (.KML) con puntos georreferenciados de las placas pertenecientes a la Red de Control Básico Vertical del Ecuador, de las cuales se seleccionaron las que se encuentren dentro de la zona de intervención (ver *Figura 18*), esta información (monografías) fue entregada en archivos individuales en formato pdf.

Figura 18.

Puntos pertenecientes a la Red de Control Básico Vertical, usados en la investigación



### ***Shape del cantón Quito***

El límite de la zona urbana del cantón Quito se descargó en formato shape, desde la página oficial de gobierno abierto de Quito, por la secretaría general de planificación, en el subsitio de información geográfica: <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/descarga-informacion-geografica/>, de tal manera que se obtuvo el siguiente formato vectorial, (ver *Figura 19*), que limitó nuestra zona de estudio.

### **Figura 19.**

*Zona de intervención (Shape de la zona urbana del cantón Quito)*



## Posicionamiento GNSS.

### ***Posicionamiento GNSS en las placas de la red de control básico vertical IGM mediante el método estático rápido.***

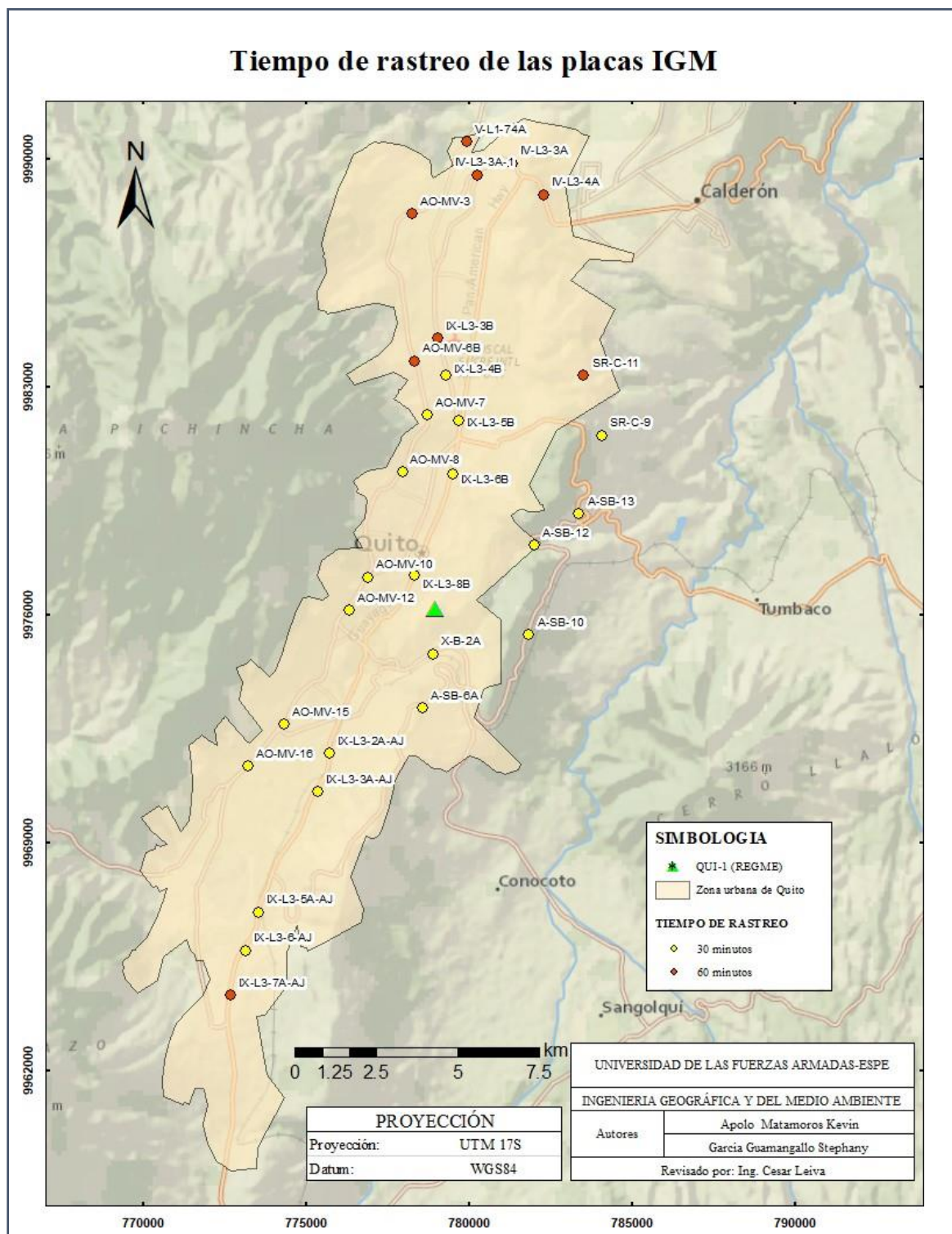
Se posicionó sobre las placas de nivelación que aún se encuentran materializadas, considerando una separación entre placas que sea mayor a 1 km, (ver *Figura 20*). Se aplicó los siguientes parámetros para realizar el posicionamiento de tipo estático rápido:

- Razón de grabación 1 segundo
- Mascara de elevación 10°
- Tiempo de rastreo: 1 hora para aquellos puntos que se encuentre a una distancia mayor a 10 km de la estación de monitoreo continuo QUI1 y 30 minutos para el resto de puntos (ver tabla 1).
- PDOP máximo de 6



Figura 20.

Puntos de posicionamiento GNSS en el distrito metropolitano de Quito - Zona Urbana



**Tabla 1.**

*Tiempo de posicionamiento FAST STATIC, en función de la distancia a la base QUI 1-REGME.*

ID	E	N	DISTANCIA (km)	RASTREO (min)
V-L1-74 <sup>a</sup>	779946.7414	9990534.312	16.817	60
IV-L3-3 <sup>a</sup>	781332.7512	9989873.489	16.335	60
IV-L3-3A-1	780259.2116	9989517.09	15.834	60
IX-L3-1A-AJ	776166.8344	9973007.072	2.522	30
IX-L3-2A-AJ	775747.1461	9971759.085	3.467	30
IX-L3-3A-AJ	775376.7996	9970559.996	4.530	30
IX-L3-5A-AJ	773550.0952	9966876.962	8.530	30
IX-L3-6-AJ	773155.9978	9965691.073	9.728	30
IX-L3-7A-AJ	772704.936	9964323.104	11.122	60
A-SB-6 <sup>a</sup>	778598.0627	9973144.917	0.629	30
A-SB-10	781856.0615	9975393.044	3.664	30
A-SB-12	782014.0028	9978135.867	5.558	30
A-SB-13	783390.079	9979096.122	7.181	30
SR-C-9	784086.9073	9981522.146	9.512	30
SR-C-11	783532.9914	9983364.043	10.799	60
IX-L3-3B	779057.0172	9984497.961	10.735	60
IX-L3-4B	779296.9801	9983353.151	9.607	30
IX-L3-5B	779678.9164	9981963.996	8.265	30
IX-L3-6B	779507.9187	9980341.956	6.635	30
IX-L3-8B	778346.9285	9977227.092	3.461	30
AO-MV-16	773230.5145	9971358.538	5.859	30
AO-MV-15	774344.5313	9972649.042	4.372	30
AO-MV-12	776325.2054	9976152.101	3.270	30
AO-MV-10	776913.2047	9977166.16	3.775	30
AO-MV-8	777965.6011	9980392.873	6.647	30
AO-MV-7	778739.3082	9982144.512	8.373	30
AO-MV-6B	778337.292	9983804.103	10.033	60
AO-MV-3	778275.8471	9988321.749	14.551	60
X-B-2 <sup>a</sup>	778892.9134	9974799.456	1.076	30
IV-L3-4 <sup>a</sup>	782314.1307	9988914.921	15.598	60

Se utilizó el equipo GNSS Trimble, modelo R8s doble frecuencia (ver Figura 21), y se tomó como base de rastreo la estación permanente -REGME QUI1 ubicada en la terraza del edificio principal del Instituto Geográfico Militar, ver Figura 22.

**Figura 21.***Posicionamiento GNSS****Procesamiento de los datos GNSS, en gabinete***

Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo por medio del método estático rápido se utilizó el software Trimble Business Center (TBC), versión 5.20. La configuración del proyecto se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Configuración del proyecto en TBC para el procesamiento de datos.*

<b>Proyección</b>	UTM, Zona 17 Sur	
<b>Mascara de elevación</b>	10°	
<b>Intervalo de procesamiento</b>	1 segundo	
<b>Tipo de efeméride</b>	lgr	
<b>Control de calidad de procesamiento</b>	<b>Indicador (m)</b>	<b>Fallida (m)</b>
<b>H<sub>z</sub></b>	0.005 m + 1.0 ppm	0.01 m + 2.0 ppm
<b>V<sub>r</sub></b>	0.01 m + 2.0 ppm	0.02 m + 4.0 ppm
<b>Satélites</b>	GPS + GLONASS	

El procesamiento de líneas base se lo hizo a partir de REGME – QUI1, para ello se añadió una coordenada precisa y se la estableció como base a partir de la ficha técnica descargada del geoportal del IGM ver *Figura 22* (Anexo 1).

## Figura 22.

### Información de la base GNSS

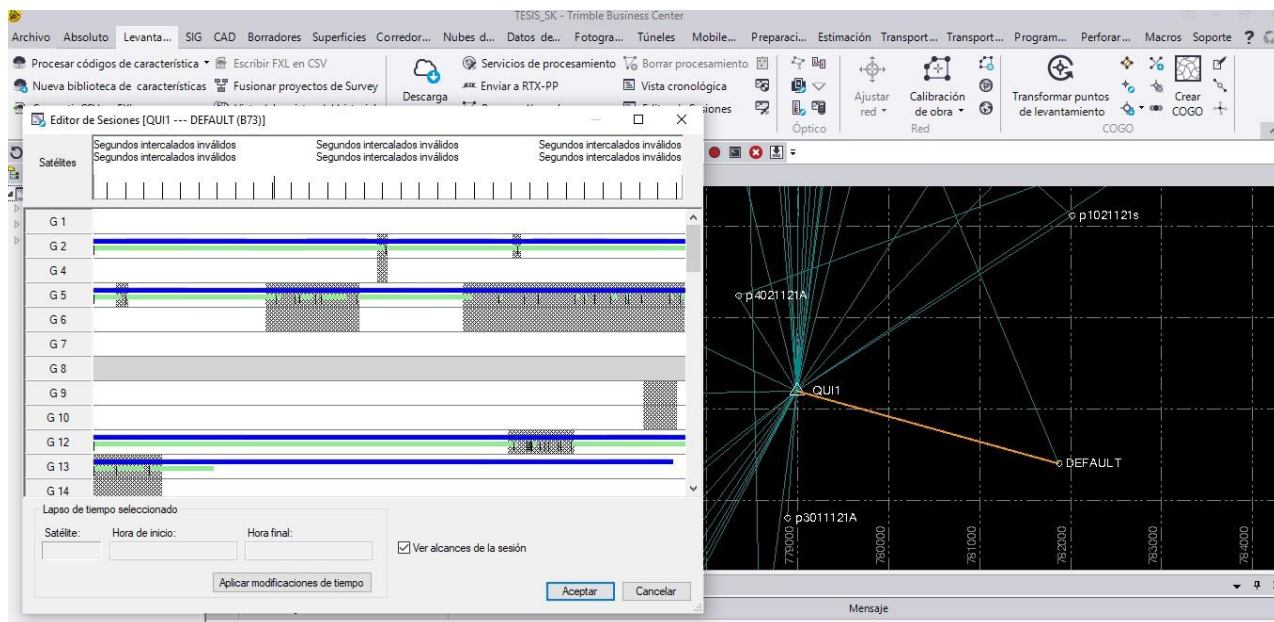
— Situación: —	
Código.....: QUI1	Cantón: Quito
Nombre.....: Quito - IGM	Provincia: Pichincha
Código IERS: 42003S003	
Instalación...: 01-jul-1987	
Localización.: Terraza del edificio principal del Instituto Geográfico Militar.	
Construcción: Estructura piramidal metálica de 2 m de altura. Sobre esta se ubica la base nivelante (SECO) en la cual se encuentra la antena.	
— Coordenadas ITRF2008: —	
Latitud.....: 0° 12' 54.5622" S	X.....: 1272867.284 m.
Longitud.....: 78° 29' 36.9892" W	Y.....: -6252771.983 m.
Altitud elipsoidal: 2922.389 m.	Z.....: -23801.657 m.
Este UTM.....: 778986.301 m.	Altitud sobre el nivel medio del mar:
Norte UTM.....: 9976195.853 m.	Época de referencia: 2016.4
Zona.....: 17 Sur	

Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 2020)

Se obtuvo soluciones fijas lo que indica que se calcularon ambigüedades enteras, se procedió a revisar las líneas bases procesadas verificando los residuales de cada satélite para corregir los ruidos, para ello se analizó las líneas bases seleccionadas y se editó las sesiones, esto se lo hace por medio de la selección de los lapsos de tiempo donde haya existido pérdidas de señal que afecten la precisión de las placas IGM analizadas o apagando los satélites donde no se haya receptado información; las constelaciones analizadas fueron GPS y GLONASS, ver *Figura 23*.

**Figura 23.**

*Editor de sesiones-constelación GPS*



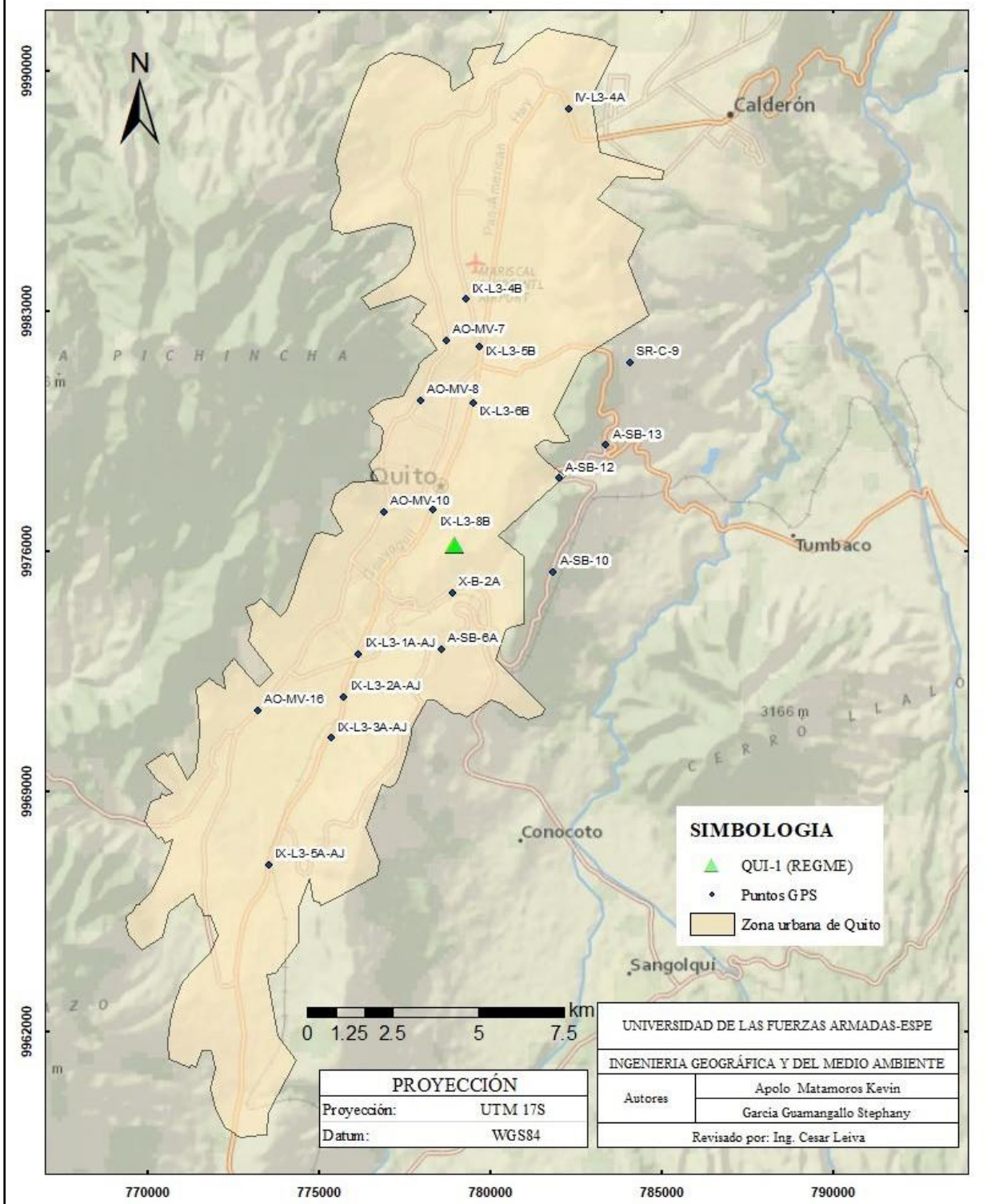
Una vez generado el informe de procesamiento de líneas base, se revisa el apartado de precisión vertical donde se descartó todos los puntos cuya precisión vertical sean mayores a 0.05 m, quedando los puntos indicados, ver *Figura 24*.

**Figura 24.**

*Puntos de posicionamiento GNSS seleccionados para la elaboración de la App*



### Puntos GPS seleccionados para la elaboración de la aplicación

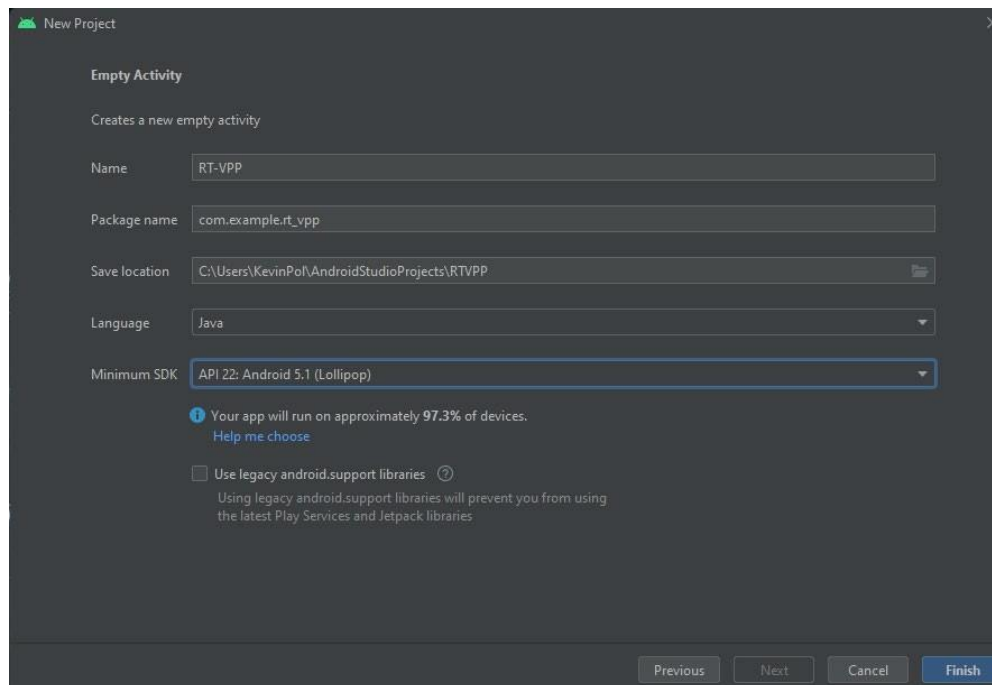


## Desarrollo de la aplicación Android Para la obtención de puntos nivelados.

La aplicación se desarrolló en el programa Android Studio, esta IDE permite programar en lenguaje Java, así como en Kotlin. Para empezar a programar se debe abrir un nuevo proyecto y establecer las opciones de partida como lo es, el nombre (RT-VPP), el lenguaje en el que se va a programar la parte lógica (Java) y la versión de Android. En esta última opción se debe tener en consideración que si se usa la última versión de Android habrá menos dispositivos que puedan usar la aplicación, al contrario, si se establece una versión muy antigua varias librerías no se podrán usar debido a la compatibilidad del código frente al sistema, por consiguiente, se eligió la versión 5.1 de Android denominada Lollipop ver *Figura 25*.

### Figura 25.

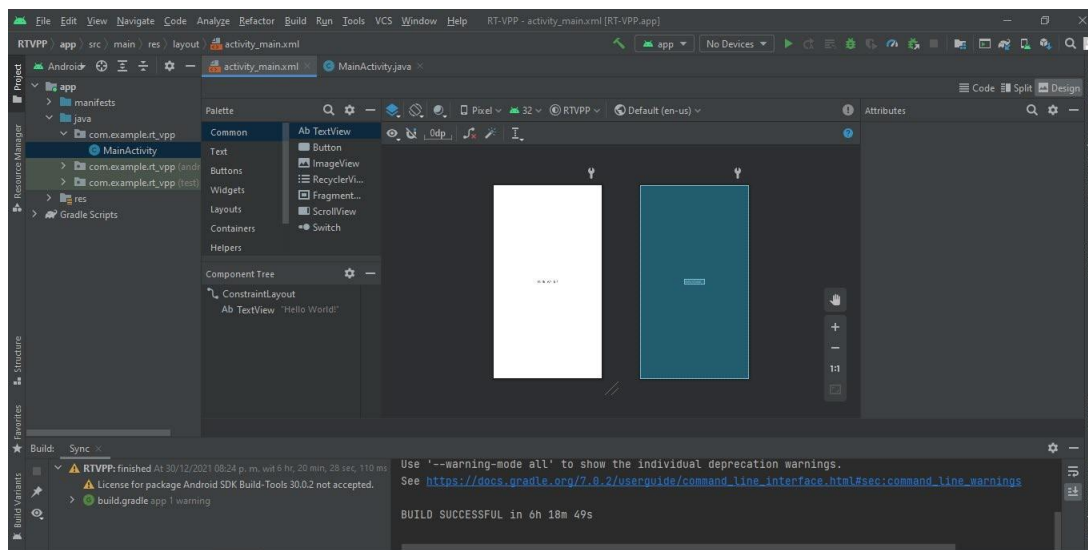
*Creación de un nuevo proyecto en Android Studio*



Es importante conocer el entorno de trabajo del programa, por ende, una vez creado el nuevo proyecto se tiene la mesa de trabajo dividida en dos partes, la de diseño de interfaz (ver *figura 26*) y la parte lógica del programa donde contendrá el código de programación de la app (ver *Figura 27.*) Además, se debe establecer si la compilación del código es en un dispositivo virtual o directamente en un dispositivo (ver *figura 28*).

**Figura 26.**

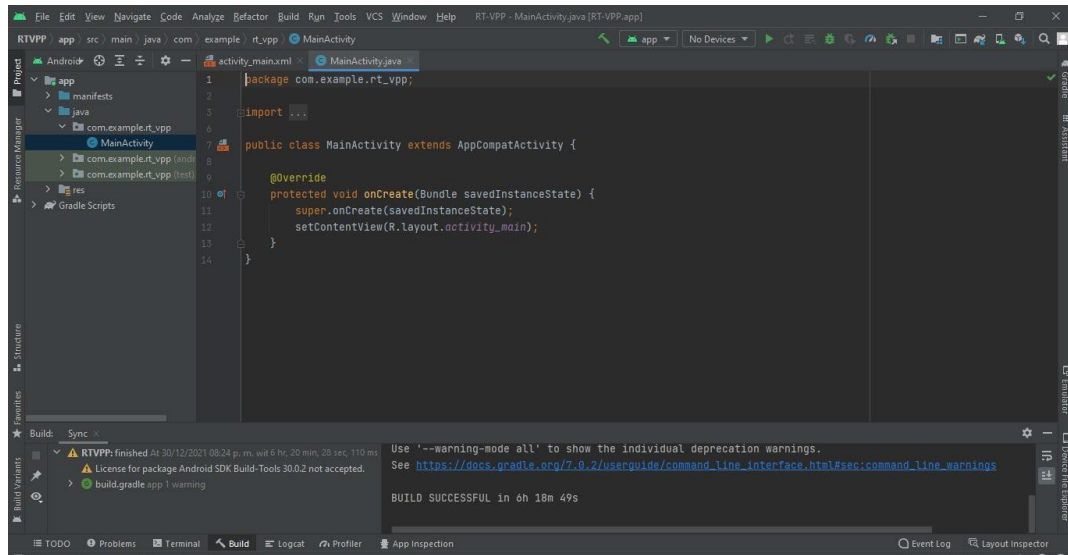
*Diseño de interfaz de la app*



**Figura 27.**

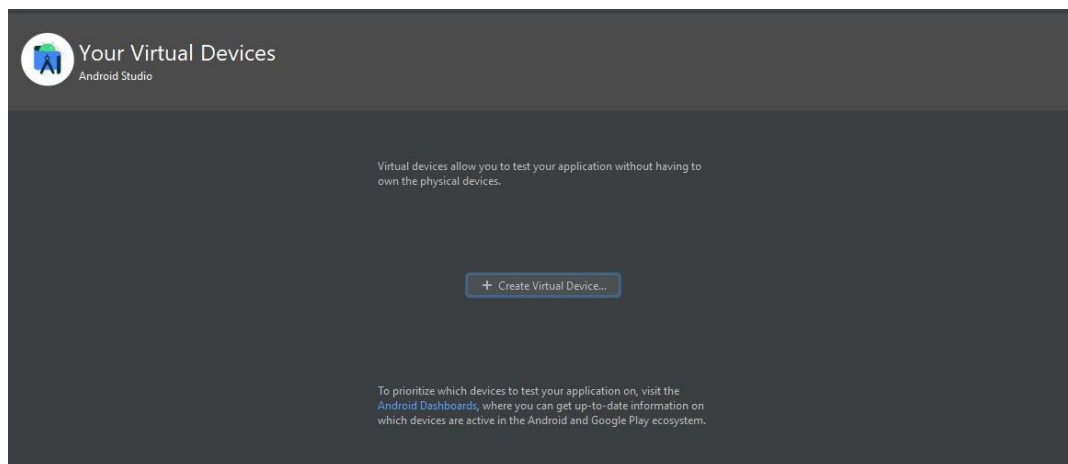
*Parte lógica del programa en Android Studio, donde se usará el lenguaje Java*

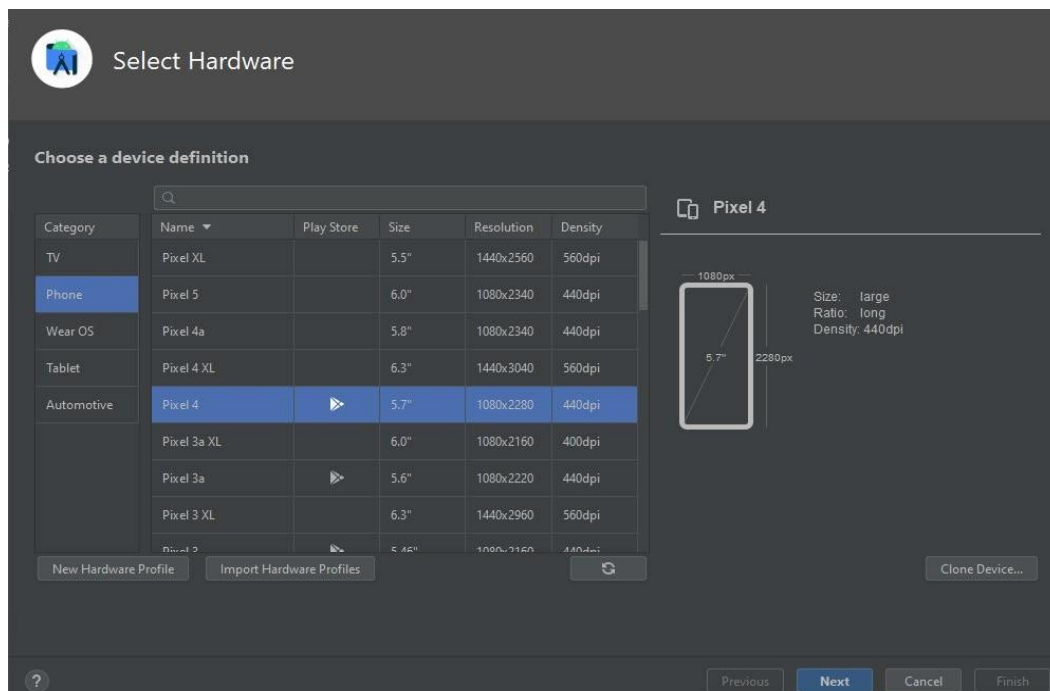




**Figura 28.**

*Instalación de la virtualización de un dispositivo para la ejecución de la app*

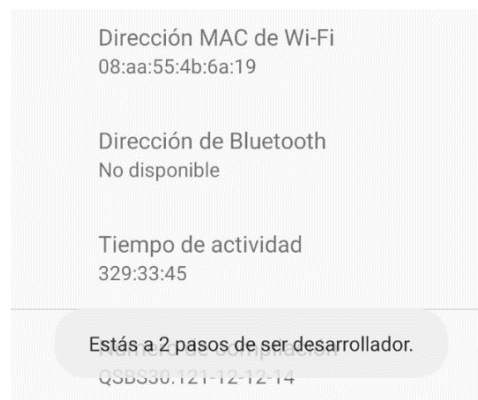
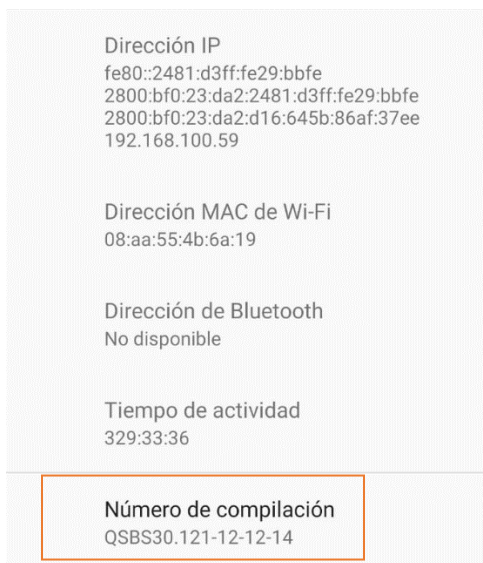




Se utilizó el dispositivo móvil Huawei modelo P20 Lite para la compilación del código, ya que de esta forma es más práctica la ejecución de la app en el celular. Primero se activó el modo desarrollador y se puso la opción de depuración por USB (ver *Figura 29*), para que la IDE pueda ejecutar la aplicación en modo de prueba siendo así que se instala la App de manera momentánea, verificando si el código está bien o si contiene errores en sus líneas de programación.

### Figura 29.

*Activación del modo desarrollador en el dispositivo Android, para la compilación del código*



***Generación del código fuente de la aplicación, con los datos obtenidos en el posicionamiento GNSS y el modelo de ondulación geoidal EGM08.***

En todo proyecto para el desarrollo de una aplicación en Android Studio se generan diferentes módulos con archivos de código contenidos en carpetas, en la carpeta java se aloja el código fuente o la parte lógica de la aplicación, para la respectiva investigación el lenguaje de programación utilizado fue Java.

El lenguaje en Java es orientado a objetos, la sintaxis de este lenguaje es parecido a C++ con diferencia que Java se encuentra de forma más concreta, dando una curva de aprendizaje baja (SEAS, 2019).

Para el desarrollo del código fuente de la aplicación se introdujo una base de datos, la cual contiene la información obtenida después del postprocesamiento del posicionamiento estático tapido (ver *figura 30*).

Estos datos están estructurados en un arreglo (Array o matriz), los datos ingresados para la base de datos fueron:

- Este
- Norte
- Altura elipsoidal
- Ondulación Geoidal referido al modelo EGM 08
- Altura nivelada

Las coordenadas se obtuvieron mediante el posicionamiento GNSS – estático rápido, mientras que la ondulación se extrajo del modelo EGM 08 y la altura nivelada de las monografías elaboradas por el Instituto Geográfico Militar.

### **Figura 30.**

*Ingreso de la base de datos obtenidos en campo*

```

426         27.164,
427         27.075,
428         27.025,
429         26.972,
430         26.918};
431     double[][] segundadb = {
432         {775756.3299, 9971751.291},
433         {776168.4558, 9973084.82},
434         {773249.1876, 9971350.465},
435         {778588.0738, 9973144.121},
436         {781866.9136, 9975400.248},
437         {778882.6115, 9974794.823},
438         {779298.8324, 9983354.125},
439         {779679.7046, 9981962.584},
440         {779518.6611, 9988342.622},
441         {778342.0265, 9977235.14},
442         {778738.1993, 9982139.585},
443         {777967.1391, 9980379.818},
444         {776913.1151, 9977171.858},
445         {782013.0687, 9978112.859},
446         {784087.8258, 9981518.6},
447         {773550.1974, 9966877.387},
448         {783382.5665, 9979091.399},
449         {782314.2563, 9988915.26},
450         {775379.9973, 9970563}
451     };
452

```

```

489         {2916.614, 23.41711235}
490     };
491
492
493     double [][] segundahR={
494         {2843.7813, 26.821, 2816.3502},
495         {2838.3171, 26.833, 2810.8264},
496         {2881.2219, 26.901, 2853.6455},
497         {3030.5317, 26.739, 3003.1570},
498         {2778.1229, 26.663, 2750.8484},
499         {2785.2958, 26.763, 2757.8879},
500         {2834.6472, 26.934, 2887.228},
501         {2814.5578, 26.903, 2787.1146},
502         {2818.6933, 26.868, 2791.2295},
503         {2823.8181, 26.839, 2796.3417},
504         {2895.211, 26.946, 2867.7250},
505         {2947.1293, 26.93, 2919.5676},
506         {2906.2016, 26.893, 2878.6163},
507         {2571.3983, 26.735, 2544.085},
508         {2730.7119, 26.734, 2703.5324},
509         {2929.6219, 26.753, 2902.1377},
510         {2660.229, 26.706, 2632.9984},
511         {2773.9039, 26.921, 2746.5878},
512         {2878.3366, 26.804, 2850.858}
513     };
514
515

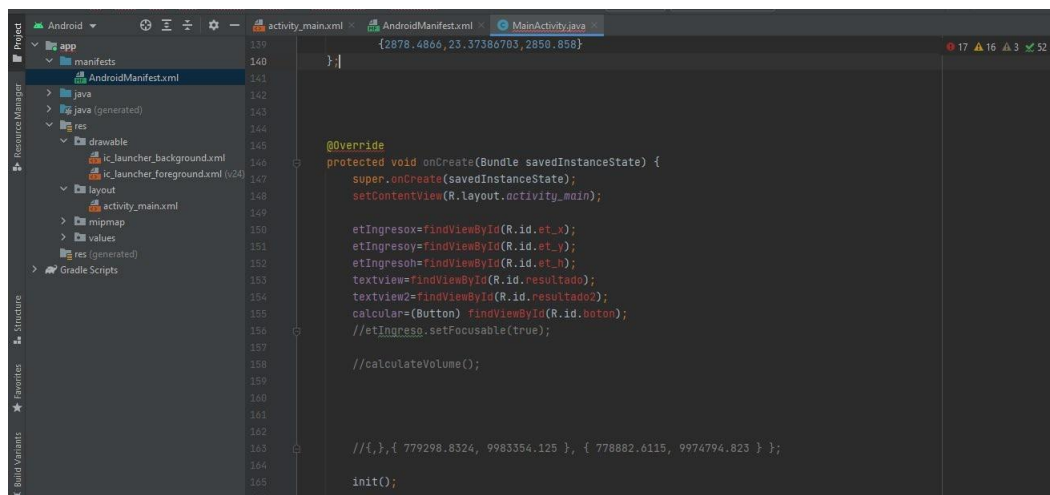
```

La lógica del programa consiste en que el usuario ingrese las coordenadas: Este, Norte y Altura elipsoidal, obtenidas mediante el método de posicionamiento GNSS cinemático denominado NTRIP (ver *figura 32*); con esta información se ejecuta un análisis espacial el que relaciona todos los puntos de la base de datos y encuentra al punto más cercano a la coordenada ingresada por el usuario, además interpola la ondulación geoidal referida al modelo EMG 08; de tal manera que se pueda utilizar la ecuación (2.8) que corresponde a la nivelación GPS.

Las coordenadas ingresadas en la interfaz de la aplicación por el usuario conformaran la parte conocida como móvil en la fórmula de nivelación GPS, mientras que las coordenadas y la ondulación geoidal obtenidas en el posicionamiento estático rápido ingresadas en el código fuente como base de datos conforman la parte del punto conocido como base en la formula mencionada anteriormente ver secuencia de imágenes de la *figura 31*.

**Figura 31.**

*Parte lógica de la aplicación*



```

139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
}
}

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);

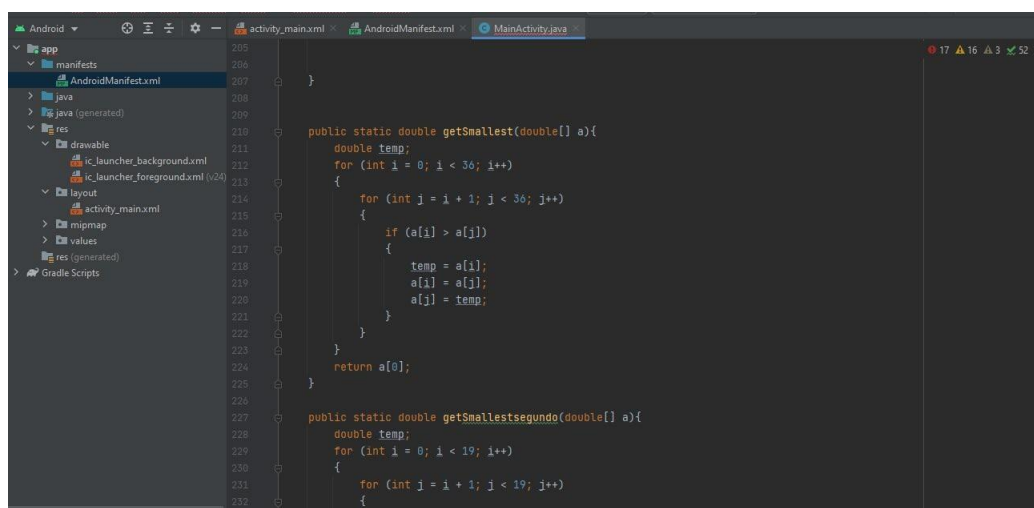
    etIngreso=findViewById(R.id.et_x);
    etIngreso=findViewById(R.id.et_y);
    etIngreso=findViewById(R.id.et_h);
    textView=findViewById(R.id.resultado);
    textView2=findViewById(R.id.resultado2);
    calcular=(Button) findViewById(R.id.botom);
    //etIngreso.setFocusable(true);

    //calculateVolume();

    //t, { 779298.8324, 9983354.125 }, { 778882.6115, 9974794.823 } ;

    init();
}

```



```

205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
}

public static double getSmallest(double[] a){
    double temp;
    for (int i = 0; i < 30; i++)
    {
        for (int j = i + 1; j < 30; j++)
        {
            if (a[i] > a[j])
            {
                temp = a[i];
                a[i] = a[j];
                a[j] = temp;
            }
        }
    }
    return a[0];
}

public static double getSmallestsegundo(double[] a){
    double temp;
    for (int i = 0; i < 19; i++)
    {
        for (int j = i + 1; j < 19; j++)
        {

```

```

226
227
228 public static double getSmallestsegundo(double[] a){
229     double temp;
230     for (int i = 0; i < 19; i++)
231     {
232         for (int j = i + 1; j < 19; j++)
233         {
234             if (a[i] > a[j])
235             {
236                 temp = a[i];
237                 a[i] = a[j];
238                 a[j] = temp;
239             }
240         }
241     }
242     return a[0];
243 }
244
245 public static int[] getpeque(double[][] base, double[][] numero){
246     int temp;
247     double[] euclidiano = new double[36];
248     int[] puntos = new int[2];
249     double[] euclidianocopia = new double[36];
250     int indicemasprox=0;
251     int indicemenosprox=0;
252     for (int i = 0; i < 36; i++)
253     {

```

```

256
257
258     }
259     double menor=getSmallest(euclidianocopia);
260     indicemasprox=fInd(euclidiano, menor);
261     indicemenosprox=fInd(euclidiano, euclidianocopia[1]);
262     puntos[0]=indicemasprox;
263     puntos[1]=indicemenosprox;
264     return puntos;
265 }
266
267 public static int getpeque2(double[][] base, double[][] numero){
268     int temp;
269     double[] euclidiano2 = new double[19];
270     int puntos = 0;
271     double[] euclidianocopia2 = new double[19];
272     int indicemasprox=0;
273
274     for (int i = 0; i < 19; i++)
275     {
276         euclidiano2[i]=distanciaeu(numero[0], base[i]);
277         euclidianocopia2[i]=distanciaeu(numero[0], base[i]);
278     }
279     double menor=getSmallestsegundo(euclidianocopia2);

```

```

289
290
291     }
292
293     public static double distanciaeu(double[] uno, double[] dos){
294         double distanciaguarda=Math.sqrt((dos[0]-uno[0])*(dos[0]-uno[0]) + (dos[1]-uno[1])*(dos[1]-uno[1]));
295         return distanciaguarda;
296     }
297
298     public double ondgeo(int uno, int dos, double hentrada){
299         double V=hr[uno][1]+((hr[dos][1]-hr[uno][1])/(hr[dos][0]-hr[uno][0]))*(hentrada-hr[uno][0]);
300         return V;
301     }
302
303     public double hp(int uno, double hentrada, double segundopaso){
304         double V=segundahr[uno][2]+(hentrada-segundahr[uno][0])-(segundopaso-segundahr[uno][1]);
305         return V;
306     }
307
308     public static int find(double[] array, double value) {
309         int indi=0;
310         for(int i=0; i<array.length; i++)
311             if(array[i] == value)
312                 indi=i;
313         return indi;
314     }
315
316     public double[][] calculateVolume(){

```

```

313     return indi;
314 }
315
316 //
317 // public double[][] calculateVolume(){
318 //     double x = Double.parseDouble(etIngresoX.getText().toString());
319 //     double y = Double.parseDouble(etIngresoY.getText().toString());
320 //     double [][] undio={{x,y}};
321 //     return undio;
322 // }
323 //
324 //
325 //
326 //
327 //
328 //
329 //
330 //
331 //
332 //
333 //
334 //
335 //
336 //
337 //
338 //
339 //
340 //
341 //
342 //
343 //
344 //
345 //
346 //
347 //
348 //
349 //
350 //
351 //
352 //
353 //
354 //
355 //
356 //
357 //
358 //
359 //
360 //

```

```

353     double [][] ingreso={{x,y}};
354 //String stringkey=Double.toString(distanciaau(ingreso[0],db[1]));
355 //getoque(db,prueba);
356 int [] puntoscerc=getpeque(db,ingreso);
357 int puntocercsegundaparte=getpeque2(segundadb,ingreso);
358 double segundopaso=ondgeo(puntoscerc[0],puntoscerc[1],h);
359
360 String stringkey=Double.toString(segundopaso);
361 String stringkey2=Double.toString(hp(puntocercsegundaparte,h,segundopaso));
362
363 textView.setText(stringkey);
364 textView2.setText(stringkey2);
365
366 });
367
368 }
369
370 }
371
372 }
373
374 }
375
376 }
377
378 }
379
380 }
381
382 }
383
384 }
385
386 }
387
388 }
389
390 }
391
392 }
393
394 }
395
396 }
397
398 }
399
400 }
401
402 }
403
404 }
405
406 }
407
408 }
409
410 }
411
412 }
413
414 }
415
416 }
417
418 }
419
420 }
421
422 }
423
424 }
425
426 }
427
428 }
429
430 }
431
432 }
433
434 }
435
436 }
437
438 }
439
440 }
441
442 }
443
444 }
445
446 }
447
448 }
449
450 }
451
452 }
453
454 }
455
456 }
457
458 }
459
460 }
461
462 }
463
464 }
465
466 }
467
468 }
469
470 }
471
472 }
473
474 }
475
476 }
477
478 }
479
480 }
481
482 }
483
484 }
485
486 }
487
488 }
489
490 }
491
492 }
493
494 }
495
496 }
497
498 }
499
500 }
501
502 }
503
504 }
505
506 }
507
508 }
509
510 }
511
512 }
513
514 }
515
516 }
517
518 }
519
520 }
521
522 }
523
524 }
525
526 }
527
528 }
529
530 }
531
532 }
533
534 }
535
536 }
537
538 }
539
540 }
541
542 }
543
544 }
545
546 }
547
548 }
549
550 }
551
552 }
553
554 }
555
556 }
557
558 }
559
560 }
561
562 }
563
564 }
565
566 }
567
568 }
569
570 }
571
572 }
573
574 }
575
576 }
577
578 }
579
580 }
581
582 }
583
584 }
585
586 }
587
588 }
589
590 }
591
592 }
593
594 }
595
596 }
597
598 }
599
600 }
601
602 }
603
604 }
605
606 }
607
608 }
609
610 }
611
612 }
613
614 }
615
616 }
617
618 }
619
620 }
621
622 }
623
624 }
625
626 }
627
628 }
629
630 }
631
632 }
633
634 }
635
636 }
637
638 }
639
640 }
641
642 }
643
644 }
645
646 }
647
648 }
649
650 }
651
652 }
653
654 }
655
656 }
657
658 }
659
660 }
661
662 }
663
664 }
665
666 }
667
668 }
669
670 }
671
672 }
673
674 }
675
676 }
677
678 }
679
680 }
681
682 }
683
684 }
685
686 }
687
688 }
689
690 }
691
692 }
693
694 }
695
696 }
697
698 }
699
700 }
701
702 }
703
704 }
705
706 }
707
708 }
709
710 }
711
712 }
713
714 }
715
716 }
717
718 }
719
720 }
721
722 }
723
724 }
725
726 }
727
728 }
729
730 }
731
732 }
733
734 }
735
736 }
737
738 }
739
740 }
741
742 }
743
744 }
745
746 }
747
748 }
749
750 }
751
752 }
753
754 }
755
756 }
757
758 }
759
760 }
761
762 }
763
764 }
765
766 }
767
768 }
769
770 }
771
772 }
773
774 }
775
776 }
777
778 }
779
780 }
781
782 }
783
784 }
785
786 }
787
788 }
789
790 }
791
792 }
793
794 }
795
796 }
797
798 }
799
800 }
801
802 }
803
804 }
805
806 }
807
808 }
809
810 }
811
812 }
813
814 }
815
816 }
817
818 }
819
820 }
821
822 }
823
824 }
825
826 }
827
828 }
829
830 }
831
832 }
833
834 }
835
836 }
837
838 }
839
840 }
841
842 }
843
844 }
845
846 }
847
848 }
849
850 }
851
852 }
853
854 }
855
856 }
857
858 }
859
860 }
861
862 }
863
864 }
865
866 }
867
868 }
869
870 }
871
872 }
873
874 }
875
876 }
877
878 }
879
880 }
881
882 }
883
884 }
885
886 }
887
888 }
889
890 }
891
892 }
893
894 }
895
896 }
897
898 }
899
900 }
901
902 }
903
904 }
905
906 }
907
908 }
909
910 }
911
912 }
913
914 }
915
916 }
917
918 }
919
920 }
921
922 }
923
924 }
925
926 }
927
928 }
929
930 }
931
932 }
933
934 }
935
936 }
937
938 }
939
940 }
941
942 }
943
944 }
945
946 }
947
948 }
949
950 }
951
952 }
953
954 }
955
956 }
957
958 }
959
960 }
961
962 }
963
964 }
965
966 }
967
968 }
969
970 }
971
972 }
973
974 }
975
976 }
977
978 }
979
980 }
981
982 }
983
984 }
985
986 }
987
988 }
989
990 }
991
992 }
993
994 }
995
996 }
997
998 }
999
1000 }

```

### ***Diseño de la interfaz de la aplicación móvil***

Para el diseño se presenta una interfaz visual, aquí se bosqueja la página principal de la aplicación; en el lienzo blanco indica todo lo que se va a ver en la pantalla del dispositivo donde se ejecuta la aplicación mientras que en el lienzo azul se encuentran las funciones que están ocultas que no se podrán ver en la pantalla del celular pero que contienen un funcionamiento implícito ver *figura 26*.

Todo elemento que se agregue la interfaz de la aplicación como pueden ser los botones, celdas para ingresos de la información por parte del usuario o los avisos en texto son

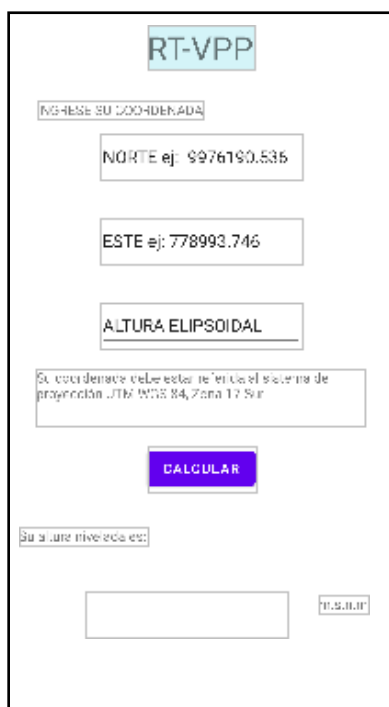


conformados por un código en lenguaje de programación xml (ver *figura 33*). Teniendo la facilidad de diseñar tanto en forma gráfica como en código.

La interfaz de la aplicación se diseñó de manera en que el usuario pueda interactuar de manera eficaz y rápida, que no exista ningún tipo de confusión para el mismo, por lo tanto, luego de que se obtuvieron las coordenadas por medio del posicionamiento NTRIP el usuario podrá visualizar las coordenadas desde la colectora del equipo GNSS e ingresar dichas coordenadas en la aplicación RT-VPP y presionando el botón calcular la parte lógica se pondrá en marcha realizando el cálculo de interpolación de modelo EGM-08 y nivelación GPS dando de forma inmediata la altura nivelada del punto ingresado.

### Figura 32.

*Interfaz preliminar de la aplicación móvil*

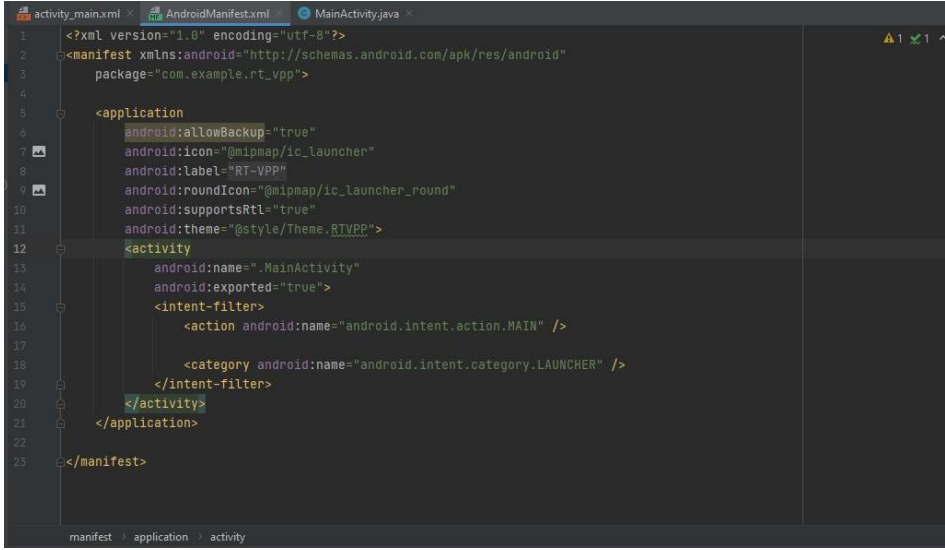


The image shows a mobile application interface titled "RT-VPP". It features several input fields and a button:

- A header box with the text "RT-VPP".
- A label "INGRESE SU COORDENADA" above a text input field containing "NORTE ej: 9976190.536".
- A text input field containing "ESTE ej: 778993.746".
- A text input field containing "ALTURA ELIPSOIDAL".
- A warning box with the text: "Su coordenada debe estar referida al sistema de proyección UTM WGS 84, Zona 17 Sur".
- A blue button labeled "CALCULAR".
- A label "Su altura nivelada es:" above a text input field.
- A small box labeled "M.S.M." at the bottom right.

**Figura 33.**

Código xml de la interfaz que se va a mostrar en el dispositivo de la aplicación



```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
3    package="com.example.rt_vpp">
4
5    <application
6      android:allowBackup="true"
7      android:icon="@mipmap/ic_launcher"
8      android:label="@string/app_name"
9      android:roundIcon="@mipmap/ic_launcher_round"
10     android:supportRtl="true"
11     android:theme="@style/Theme.RTVPP">
12     <activity
13       android:name=".MainActivity"
14       android:exported="true">
15       <intent-filter>
16         <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
17
18         <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
19       </intent-filter>
20     </activity>
21   </application>
22
23 </manifest>

```

### Compilación del código fuente y pruebas

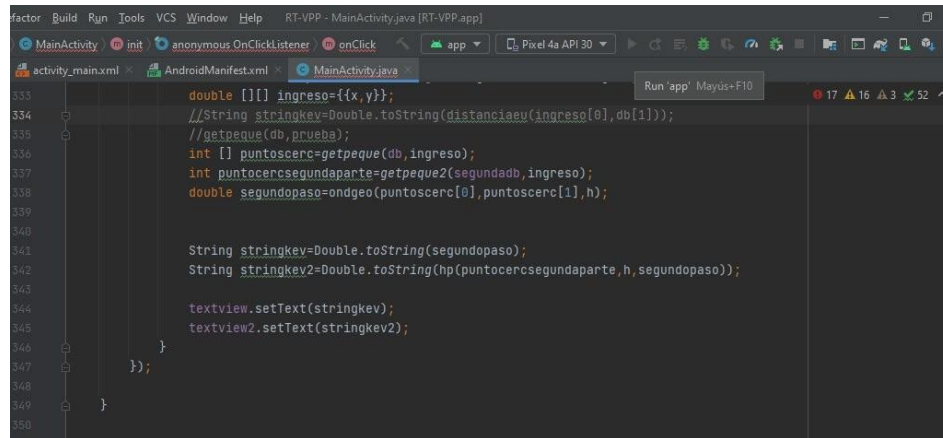
En este paso se realizó las pruebas del código y se resolvió las fallas o errores, también se realizó pruebas de funcionamiento para corroborar la calidad de datos respecto a los objetivos planteados en la presente investigación ver *figura 34*.

La compilación del código en Android estudio se la puede realizar de dos maneras:

- Creando un dispositivo virtual dentro del mismo programa.
- Usando un dispositivo móvil que contenga el sistema operativo Android, siempre y cuando este activado el modo desarrollador

**Figura 34.**

Compilación del código fuente



```

factor_Build_Run_Tools_VCS_Window_Help_RT-VPP - MainActivity.java [RT-VPP.app]
MainActivity  anonymous OnClickListener  onClick  app  Pixel 4a API 30  Run 'app' Mayus+F10
activity_main.xml  AndroidManifest.xml  MainActivity.java
333
334 //String stringKey=Double.toString(distanciaeu(ingreso[0],db[1]));
335 //getpeque(db,pueba);
336 int [] puntoscerc=getpeque(db,ingreso);
337 int puntocercsegundaparte=getpeque2(segundadb,ingreso);
338 double segundopaso=ondgeo(puntoscerc[0],puntoscerc[1],h);
339
340
341 String stringKey=Double.toString(segundopaso);
342 String stringKey2=Double.toString(hp(puntocercsegundaparte,h,segundopaso));
343
344 textView.setText(stringKey);
345 textView2.setText(stringKey2);
346
347 });
348
349 }
350

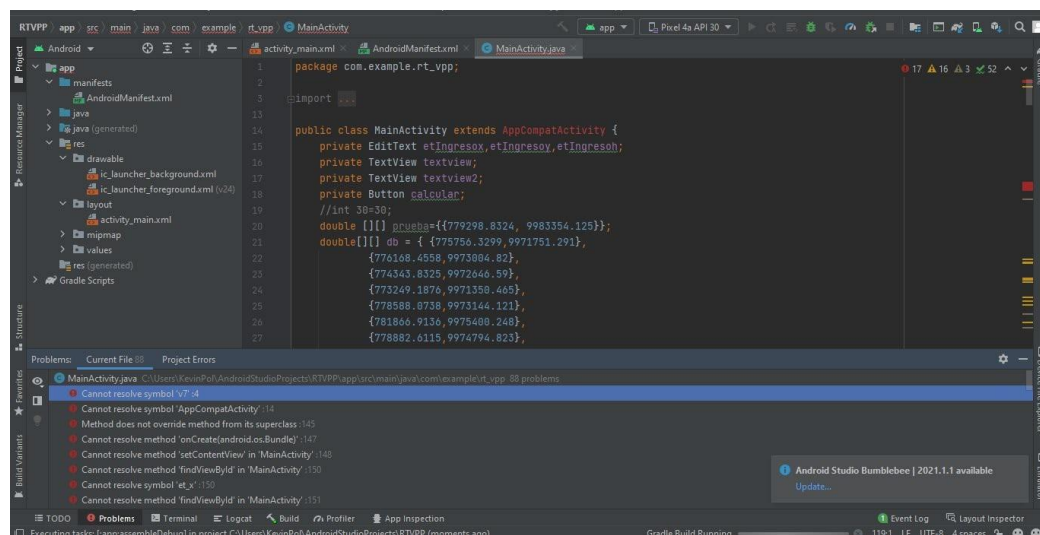
```

Esta es la forma para modificar la lógica del programa antes de terminar la aplicación y su empaquetamiento, para su posterior instalación definitiva en los dispositivos móviles.

Cuando la aplicación tiene una falla el programa se cierra automáticamente y en la consola de compilación de Android Studio notifica el error dando a conocer en qué línea del código se encuentra el mismo y también una sugerencia a su posible solución ver *figura 35*.

**Figura 35.**

*Resultado de la compilación y notificación de errores dentro del código*



```

RTVPP app src main java com example rt_vpp MainActivity
AndroidManifest.xml MainActivity.java
package com.example.rt_vpp;
import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;
public class MainActivity extends AppCompatActivity {
private EditText etIngreso, etIngreso2, etIngreso3;
private TextView textView;
private TextView textView2;
private Button calcular;
//int i=0;
double [][] prueba={{779298.8324, 9983354.125}};
double [][] db = {{ 775756.3299, 9971751.291},
{776168.4598, 9973884.82},
{774343.8325, 9972646.59},
{773249.1876, 9973358.465},
{778588.8738, 9973144.121},
{781866.9136, 9975408.248},
{778882.6115, 9974794.823},
};
}

```

Problems: Current File 88 Project Errors

- MainActivity.java: Cannot resolve symbol 'AppCompatActivity' :14
- MainActivity.java: Method does not override method from its superclass :145
- MainActivity.java: Cannot resolve method 'onCreate(android.os.Bundle)' :147
- MainActivity.java: Cannot resolve method 'setContentView' in 'MainActivity' :148
- MainActivity.java: Cannot resolve method 'findViewById' in 'MainActivity' :150
- MainActivity.java: Cannot resolve symbol 'et\_x' :150
- MainActivity.java: Cannot resolve method 'findViewById' in 'MainActivity' :151

Android Studio Bumblebee | 2021.1.1 available Update...

### ***Ejecución de la aplicación y su interfaz final***

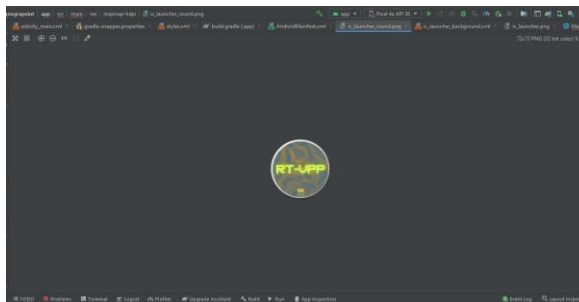
La versión final de la aplicación se dio después de haber realizado todas las pruebas necesarias y sus respectivas correcciones en cada una de sus compilaciones del código, de esta manera se mejoró la interfaz como se puede observar en la *figura 36*, esta versión es la que se empaquetó en formato .apk.

### **Figura 36.**

*Versión Final de la aplicación, punto de rastreo fuera de la zona de estudio*

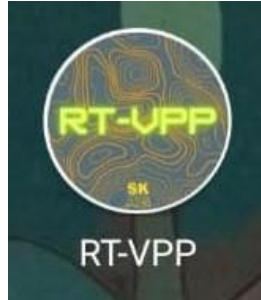
### **Figura 37.**

*Diseño del icono*



**Figura 38.**

*Apariencia de la aplicación instalada en un dispositivo móvil*



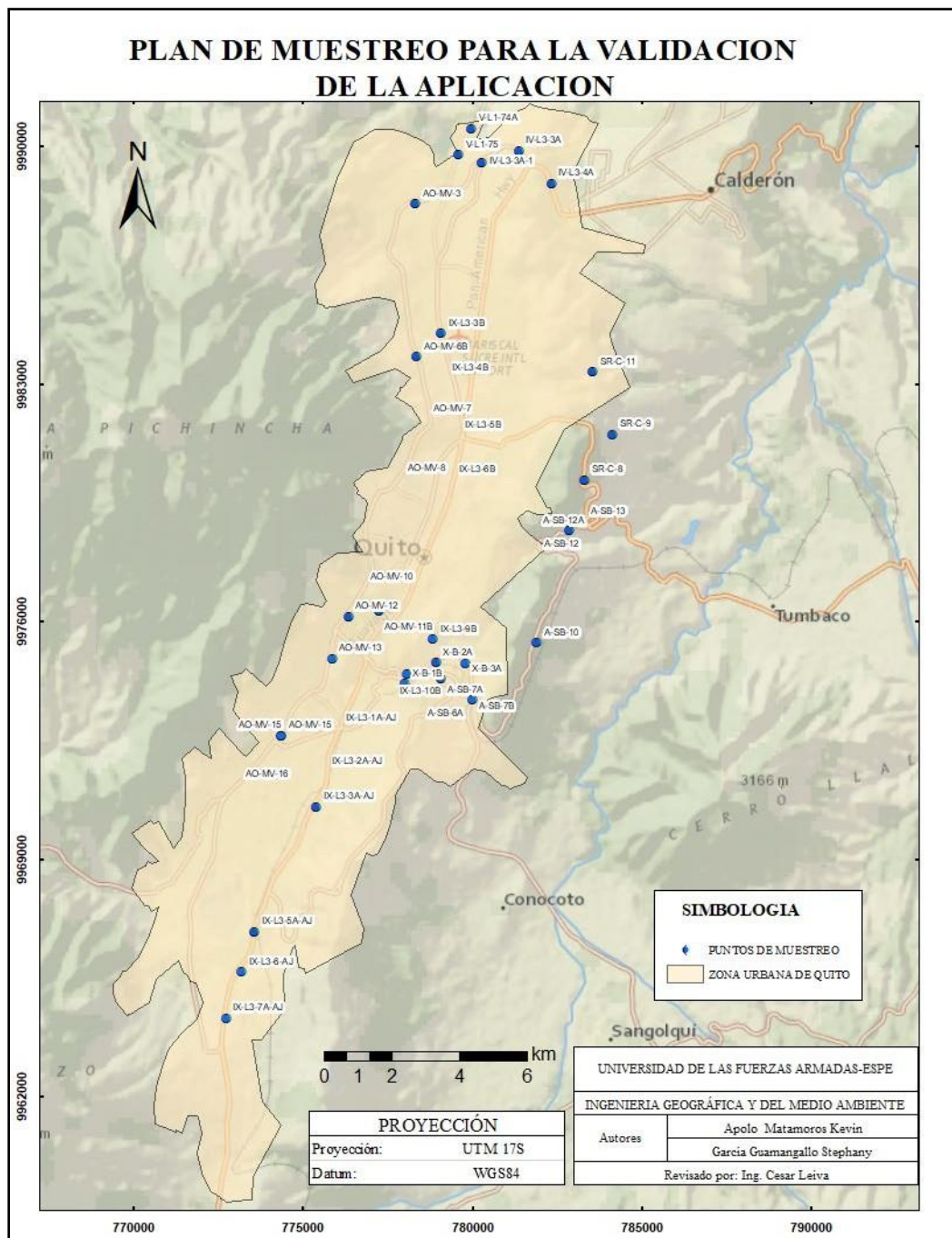
**Validación de la aplicación mediante posicionamiento GNSS por medio del protocolo NTRIP**

***Elaboración del plan de muestreo de las placas que componen la red de control vertical IGM.***

Se seleccionó las placas de control vertical IGM que no cumplieron con la precisión vertical establecidas para la realización de la aplicación, puntos con precisiones menores a 0.05 m los cuales fueron remedidos con el método NTRIP, adicionalmente se seleccionaron los puntos que no se tomaron en cuenta debido a su distancia a 1 km ver *Figura 39*

**Figura 39.**

*Puntos de posicionamiento GNSS-NTRIP en el distrito metropolitano de Quito - Zona Urbana*



### **Posicionamiento GNSS-NTRIP y ejecución de la aplicación.**

Para poder acceder al servicio NTRIP, se procede al registro de usuario en el geoportal del Instituto geográfico Militar como se observa en la *Figura 40*.

Figura 40.

## Registro de usuario para el acceso al servicio NTRIP

Registro de usuarios para el acceso al servicio NTRIP

**Nombre**

**Correo electrónico**

**Confirmar correo electrónico**

**País**

**Tipo de institución**

**Institución**

**Pregunta 1** ¿Tiene un receptor apto para recibir correcciones diferenciales en formato RTCM?

**Pregunta 2** ¿De cuántas frecuencias es su receptor?

**Pregunta 3** ¿Con qué fin utilizará el servicio?

**Licencia de uso**


**LICENCIA Y POLÍTICA DE USO DEL SERVICIO DE CORRECCIONES DIFERENCIALES MEDIANTE EL PROTOCOLO NTRIP**

**Apreciado Usuario:**

El IGM solicita al usuario de esta página, que lee detallada y detenidamente las condiciones de uso (denominada en adelante como: Condiciones de Uso y la política de privacidad de la descarga de información), antes de iniciar su utilización. Si el usuario no está de acuerdo con estas Condiciones de Uso o con cualquier disposición de la Política de Privacidad, le sugerimos que se abstenga de acceder o descargar la información.

Las presentes condiciones generales vinculan a cualquier persona natural o jurídica que haga uso, retuso y/o transformación de los datos y la información descargada en este sitio web.

El Instituto Geográfico Militar, como proveedor del servicio Ntrip, no se hace responsable de la continuidad, fallos o precisión y exactitud del servicio ni de los datos

No soy un robot 

[Privacidad](#) - [Condiciones](#)

Fuente: (IGM, 2021)

La configuración del proyecto difiere de las demás técnicas de posicionamiento cinemático en tiempo real para que se ejecute se debe de establecer la conexión Wi-Fi, que en este caso se la realizó por medio de la vinculación a la red del internet del teléfono.

En el apartado de Contactos GNSS de la configuración de Trimble Acces se procede a establecer los parámetros necesarios para poder acceder al servicio NTRIP.

- Tipo de contacto: Internet móvil

- Conexión a la red: Auto Wi-fi, Módem, ActiveSync.

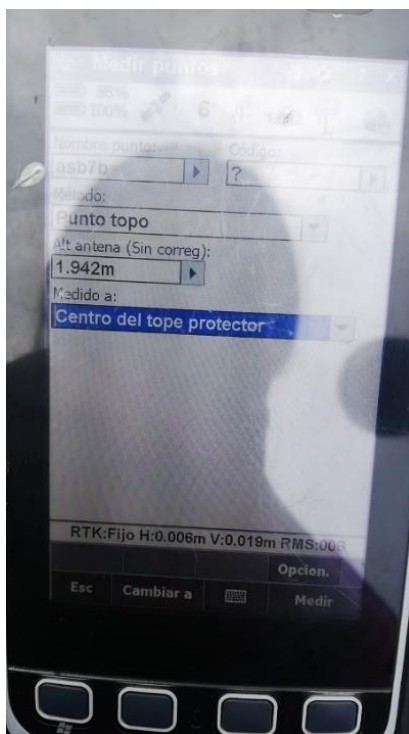
En la siguiente pantalla se procede a ingresar el nombre de usuario y la contraseña obtenida en el geoportal, al igual que la dirección IP y el puerto.

En la configuración del trabajo para dicho proyecto elaborado en la zona urbana del cantón Quito, se obtuvo soluciones fijas con mayor facilidad con las estaciones QUI2 y EPEC3.

La característica que se tomó en cuenta para iniciar la medición de los puntos fue la precisión vertical que debe de ser mayor a 0.1 m (ver *Figura 41*), se debe tomar en cuenta que en ciertos lugares por sus elementos antrópicos no se va a lograr conseguir una solución fija como se observa en la *Figura 42*.

#### **Figura 41.**

*Ejemplo de características presentes para la medida del punto*





**Figura 42.**

*Ejemplo de obstáculos en campo que no permiten una solución fija*

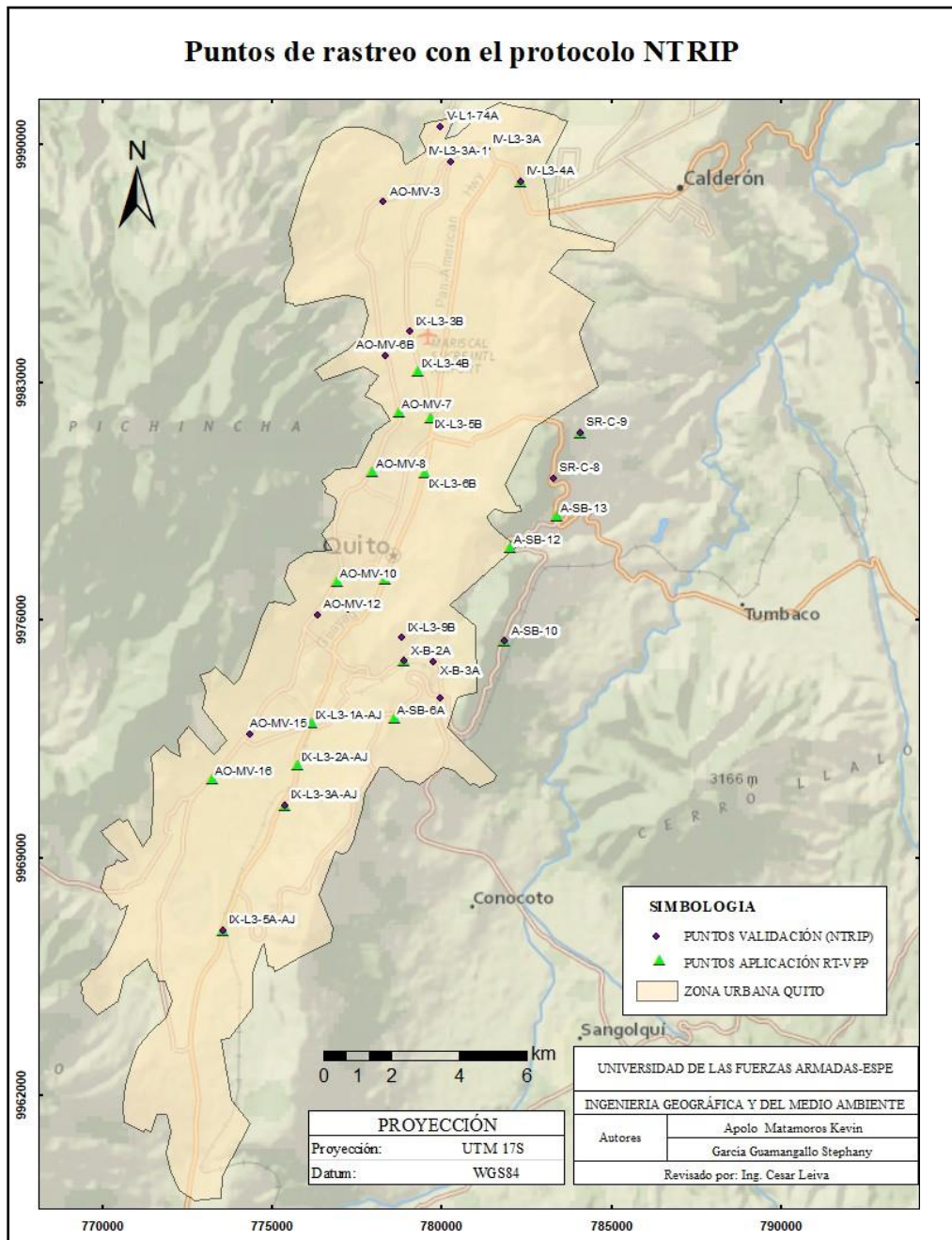


***Determinación de alturas referidas al nivel medio del mar en tiempo real, mediante la aplicación desarrollada.***

Las coordenadas obtenidas en el sistema WGS84 – UTM 17 S con el método de posicionamiento NTRIP (ver *Figura 43*), son ingresadas en la aplicación móvil RT-VPP (ver *Figura 36*).

**Figura 43.**

*Validación de la aplicación RT-VPP*



**Análisis estadístico para la determinación de precisiones**

**Cuadro comparativo de diferencias entre alturas niveladas con nivelación geométrica (IGM) y nivelación GPS obtenida por medio de la aplicación**

Se realizó una tabla de comparación en los puntos de validación, entre el método de nivelación geométrica IGM y el método de nivelación GPS aplicando la aplicación RT-VPP, con

sus respectivas distancias entre los puntos móviles y las bases más cercanas consideradas en la aplicación. En la *tabla 3* se muestran los errores entre los métodos de nivelación, adicionalmente, se indica la distancia que existe entre los puntos móviles (NTRIP) y las bases (RT-VPP).

**Tabla 3.**

*Análisis del error de la app RT-VPP en puntos IGM*

ID	X	y	h (Elipsoidal)	$\eta$ (EGM-08)	H (RT-VPP)	H (MONOGRAFÍA)	DISTANCIA (km)	DIFERENCIA (cm)
AO-MV-11B	777222.541	9976336.497	2917.887	26.861	2890.333	2890.292	0.890	4.133
AO-MV-12	776311.905	9976134.887	2898.861	26.907	2871.262	2871.182	1.200	7.964
AO-MV-3	778260.254	9988323.9	2778.199	27.115	2750.689	2750.821	4.000	13.213
AO-MV-6B	778352.460	9983813.689	2900.831	27.026	2873.321	2873.278	1.000	4.300
A-SB-10	781866.914	9975400.248	2778.123	26.674	2750.838	2750.848	2.700	1.040
A-SB-12A	782846.862	9978676.692	2612.187	26.723	2584.932	2584.960	0.700	2.819
A-SB-7B	779970.335	9973704.229	2905.790	26.699	2878.456	2878.445	1.500	1.110
IV-L3-3A	781332.502	9989873.329	2787.495	27.007	2760.094	2760.188	1.300	9.406
IV-L3-3A-1	780259.212	9989517.090	2787.666	27.018	2760.253	2760.324	2.100	7.064
IV-L3-4A	782314.256	9988915.260	2773.904	26.942	2746.567	2746.588	6.000	2.080
IX-L3-3A-AJ	775379.997	9970563.000	2878.337	26.794	2850.869	2850.858	3.000	1.100
IX-L3-3B	779056.418	9984496.669	2844.692	26.975	2817.232	2817.181	1.100	5.150
IX-L3-5A-AJ	773550.197	9966877.387	2929.622	26.751	2902.140	2902.138	4.000	0.230
IX-L3-9B	778807.476	9975489.598	2814.325	26.792	2786.888	2786.888	0.698	0.012
MO-V-15	774343.748	9972646.739	2868.895	26.882	2841.402	2841.365	1.600	3.714
SR-C-8	783270.537	9980184.415	2776.508	26.735	2749.250	2749.309	1.000	5.910
SR-C-9	784087.826	9981518.600	2730.712	26.757	2703.510	2703.532	2.500	2.240
V-L1-74A	779933.476	9990533.267	2676.829	27.047	2649.387	2649.502	2.000	11.515
X-B-2A	778882.612	9974794.823	2785.296	26.765	2757.880	2757.888	1.600	0.790
X-B3-A	779753.262	9974782.133	2840.940	26.733	2813.562	2813.596	0.870	3.422

### ***Determinación de exactitud posicional vertical de la aplicación RT-VPP***

Para la determinación de la exactitud posicional se ha seguido la metodología propuesta por la NSSDA, de esta forma se puede evaluar la calidad de los datos obtenidos y las

precisiones que se logran alcanzar con la metodología presentada. La NSSDA usa como estadístico el RMSE (Error Medio Cuadrático), para tener precisiones con un nivel de confianza al 95%.

Para obtener la precisión vertical siguiendo las pautas de la NSSDA se comparó las elevaciones obtenidas con la aplicación RT-VPP vs las elevaciones obtenidas con el método de nivelación geométrica realizada por el IGM, siendo esta una fuente de mayor precisión.

Para calcular el estadístico de exactitud posicional se utilizó la fórmula (3.1)

$$RMSE_{ZZ} = \sqrt{\frac{\sum (Z_{dato,i} - Z_{control,i})^2}{n}} \quad (3.1)$$

Donde:

$Z_{dato,i}$ : es la coordenada vertical del  $i$ ésimo punto conjunto de datos

$Z_{control,i}$ : es la coordenada vertical del  $i$ ésimo punto de verificación de mayor precisión

$n$ : es el número de datos del conjunto de datos

Para el cálculo del RMSE<sub>z</sub> se tomó el conjunto de datos obtenidos con la técnica de posicionamiento GNSS mediante el protocolo NTRIP, de los cuales seis se tomaron sobre las mismas placas que están dentro de la base de datos de la aplicación para corroborar que la diferencia sea mínima, en la *tabla 4* se presenta los resultados del cálculo de este estadístico.

**Tabla 4.**

*Cálculo de RMSE<sub>z</sub> con los puntos obtenidos con NTRIP, para la precisión*

ID	H(monografías)	H(calculado)	Diferencia	(Diferencia) <sup>2</sup>
	m	m	m	m
IX-L3-3B	2817.181	2817.232	-0.051	0.003
AO-MV-6B	2873.278	2873.321	-0.043	0.002
AO-MV-12	2871.182	2871.262	-0.080	0.006

ID	H(monografías) m	H(calculado) m	Diferencia m	(Diferencia) <sup>2</sup> m
A-SB-12A	2584.960	2584.932	0.028	0.001
V-L1-74A	2649.502	2649.387	0.115	0.013
SR-C-8	2749.309	2749.250	0.059	0.003
AO-MV-3	2750.821	2750.689	0.132	0.017
AO-MV-11B	2890.292	2890.333	-0.041	0.002
IV-L3-3A	2760.188	2760.094	0.094	0.009
IV-L3-3A-1	2760.324	2760.253	0.071	0.005
A-SB-7B	2878.445	2878.456	-0.011	0.000
IX-L3-9B	2786.888	2786.888	0.000	0.000
MO-V-15	2841.365	2841.402	-0.037	0.001
X-B3-A	2813.596	2813.562	0.034	0.001
IV-L3-4A	2746.588	2746.567	0.021	0.000
IX-L3-5A-AJ	2902.138	2902.140	-0.002	0.000
IX-L3-3A-AJ	2850.858	2850.869	-0.011	0.000
SR-C-9	2703.532	2703.510	0.022	0.001
X-B-2A	2757.888	2757.880	0.008	0.000
A-SB-10	2750.848	2750.838	0.010	0.000
			SUMA	0.065
			PROMEDIO	0.003
			RMSE <sub>z</sub>	0.057

Una vez obtenido el RMSE<sub>z</sub>, se procedió a calcular la precisión con la fórmula (3.2) en la cual se aplicó el factor 1.9600 para calcular el error lineal con el 95% de nivel de confianza.

$$Exactitud_z = 1.9600 \times RMSE_z \quad (3.2)$$

$$Exactitud_z = 1.9600 \times 0.057$$

$$Exactitud_z = 0.112 \text{ m} \approx 11.20 \text{ cm}$$

De acuerdo al documento de Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se ha recopilado la siguiente tabla en la cual indica para que escalas se puede utilizar los datos respecto al RMSE<sub>z</sub> y la exactitud con un nivel de confianza al 95%, de esta manera se pudo identificar el error tolerable por escala (ver tabla 5).

**Tabla 5.**

*Exactitud vertical por escalas.*

<b>ESCALA</b>	<b>RMSEz</b>	<b>Exactitud Vertical Confianza (95%)</b>
1:1 000	0.08 m	0.18 m
1:2 000	0.15 m	0.37 m
1:5 000	0.38 m	0.92 m
1:10 000	0.75 m	1.84 m
1:25 000	1.88 m	4.59 m

Nota: Se presenta la información respecto a la precisión vertical con un nivel de confianza al 95% para las escalas más comunes de trabajo, tabla extraída del documento Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital (Codazzi, 2016).

#### **Análisis de error en función de la distancia**

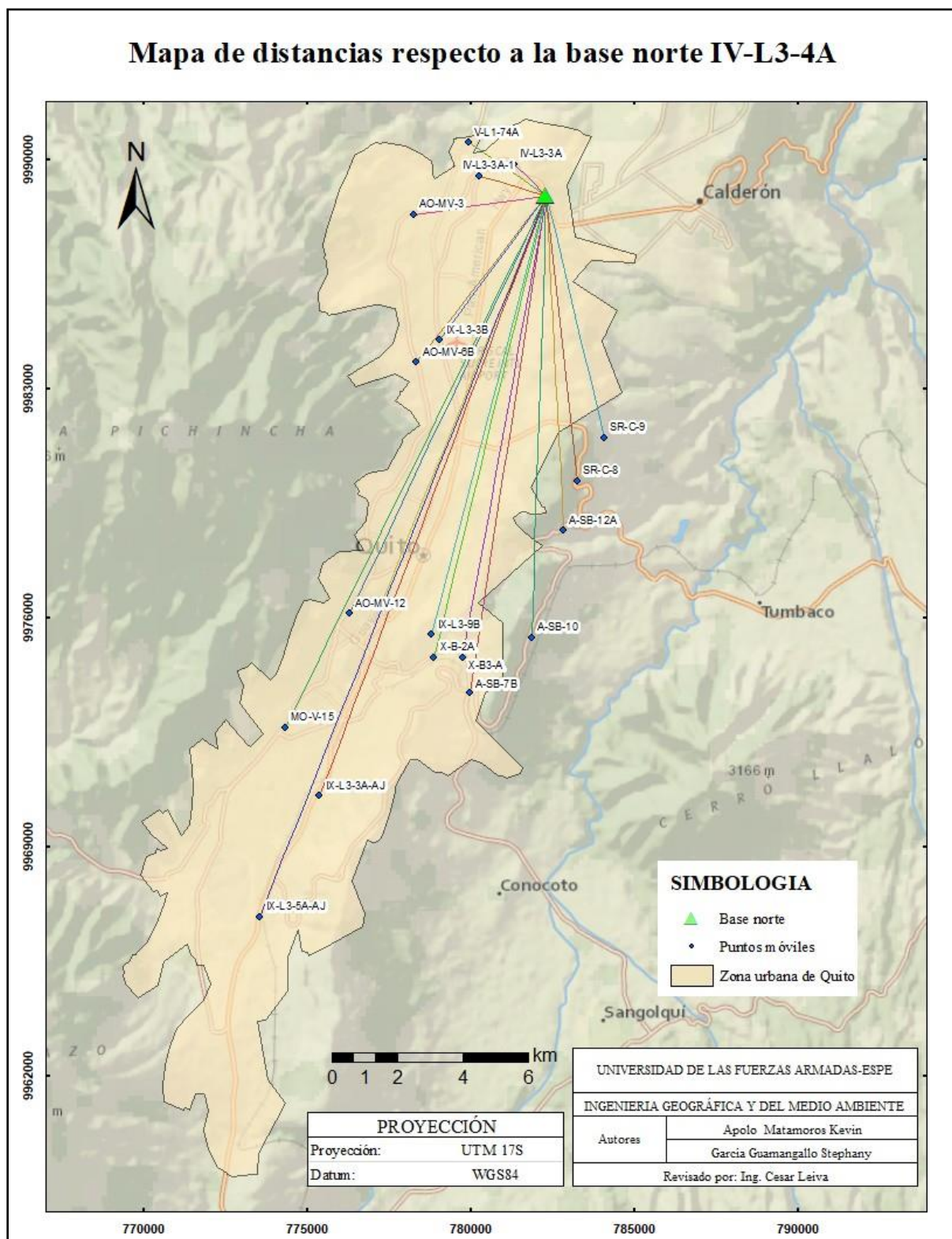
El factor distancia en un posicionamiento GNSS tiene una gran importancia en cuestión de exactitud posicional, debido a que los tiempos de rastreo y precisiones son directamente proporcionales a la longitud de la línea base.

Se realizaron dos análisis respecto a las bases más distantes de la zona de estudio para ver el comportamiento de la aplicación respecto a la distancia, cabe recalcar que la base norte seleccionada no fue ocupada para el desarrollo del aplicativo debido al valor de su precisión vertical que supera los 0.05 metros planteados.

Se tomo como base norte a la placa IV-L3-4A (ver *figura 44*), donde se obtuvo los siguientes errores respecto a las distancias de las demás placas tratadas como móvil. Esto se muestra en la *tabla 6* y se puede evidenciar en la *figura 45*.

Figura 44.

Base norte IV-L3-4A para el cálculo de errores



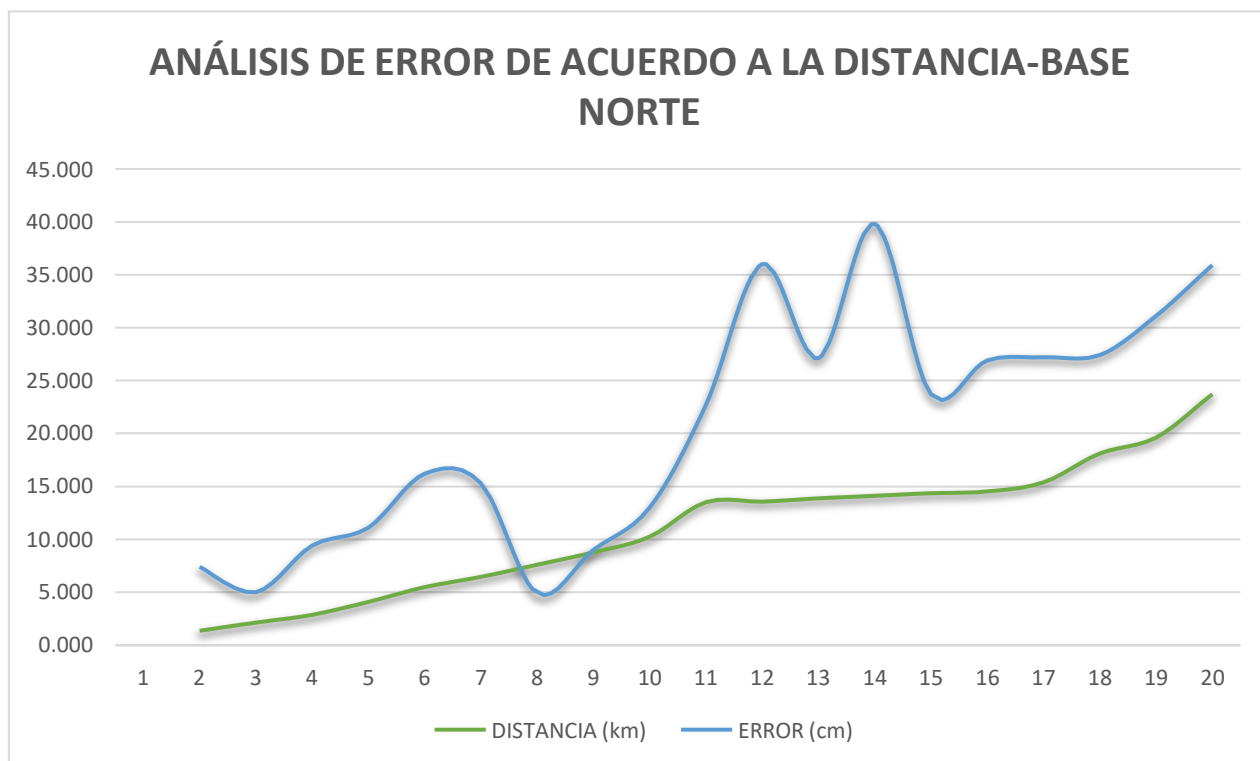


**Tabla 6.***Exactitud vertical respecto a la base norte IV-L3-4A.*

	ID	x	y	h (Elipsoidal)	$\eta$ (EGM-08)	H (RT-VPP)	H (MONOGRAFÍA)	DISTANCIA (km)	ERROR (cm)
BASE NORTE	IV-L3-4A	782314.256	9988915.260	2773.904	26.942		2746.588		
	IV-L3-3A	781332.502	9989873.329	2787.495	27.007	2760.114	2760.188	1.372	7.404
	IV-L3-3A-1	780259.212	9989517.09	2787.666	27.018	2760.274	2760.324	2.141	5.004
	V-L1-74A	779933.476	9990533.267	2676.829	27.047	2649.408	2649.502	2.879	9.404
	AO-MV-3	778260.254	9988323.903	2778.199	27.115	2750.710	2750.821	4.097	11.104
	IX-L3-3B	779056.418	9984496.669	2844.692	26.975	2817.343	2817.181	5.490	16.196
	AO-MV-6B	778352.46	9983813.689	2900.831	27.026	2873.431	2873.278	6.459	15.296
	SR-C-9	784087.826	9981518.6	2730.712	26.757	2703.581	2703.532	7.606	4.896
	SR-C-8	783270.537	9980184.415	2776.508	26.735	2749.399	2749.309	8.783	8.996
MOVIL	A-SB-12A	782846.862	9978676.692	2612.187	26.723	2585.090	2584.96	10.252	12.996
	A-SB-10	781866.914	9975400.248	2778.123	26.674	2751.075	2750.848	13.522	22.696
	AO-MV-11B	777222.541	9976336.497	2917.887	26.861	2890.652	2890.292	13.570	35.996
	IX-L3-9B	778807.476	9975489.598	2814.325	26.792	2787.159	2786.888	13.876	27.096
	AO-MV-12	776311.905	9976134.887	2898.861	26.907	2871.580	2871.182	14.120	39.796
	X-B3-A	779753.262	9974782.133	2840.94	26.733	2813.833	2813.596	14.363	23.696
	X-B-2A	778882.612	9974794.823	2785.296	26.765	2758.157	2757.888	14.531	26.896
	A-SB-7B	779970.335	9973704.229	2905.79	26.699	2878.717	2878.445	15.391	27.196
	MO-V-15	774343.748	9972646.739	2868.895	26.882	2841.639	2841.365	18.116	27.396
	IX-L3-3A-AJ	775379.997	9970563	2878.337	26.794	2851.169	2850.858	19.619	31.096
	IX-L3-5A-AJ	773550.197	9966877.387	2929.622	26.751	2902.497	2902.138	23.717	35.896

**Figura 45.***Errores en relación a la distancia – Base Norte*





Para el análisis realizado respecto a la base sur se tomó la placa de nivelación IGM, IX-L3-5A-AJ (ver *figura 46*), donde se obtuvo los siguientes errores respecto a las distancias de las demás placas tratadas como móvil. Esto se muestra en la *tabla 7* y se puede evidenciar en la *figura 47*.

#### **Figura 46.**

*Base sur IX-L3-5A-AJ para el cálculo de errores*

### Mapa de distancias respecto a la base sur IX-L3-5A-AJ

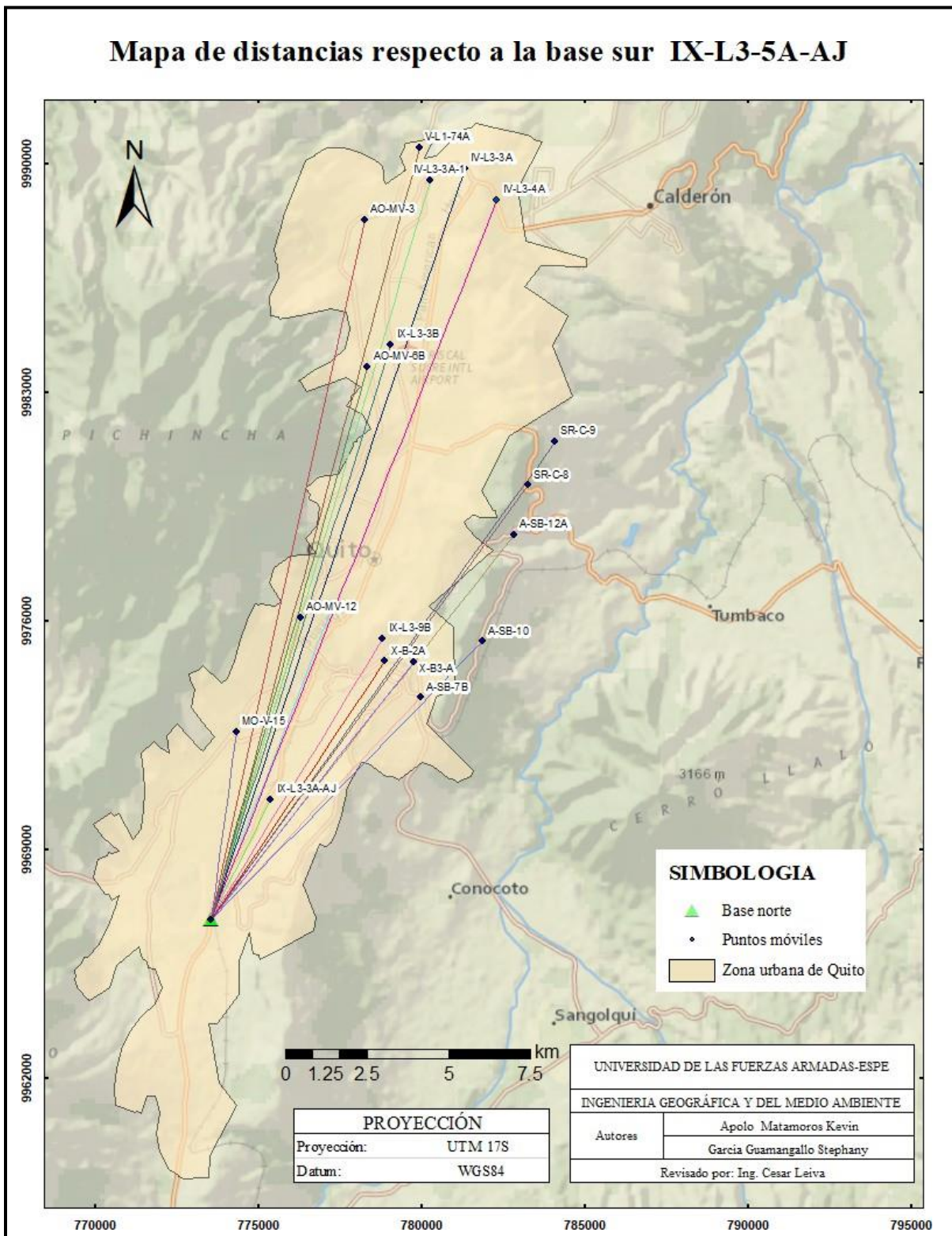


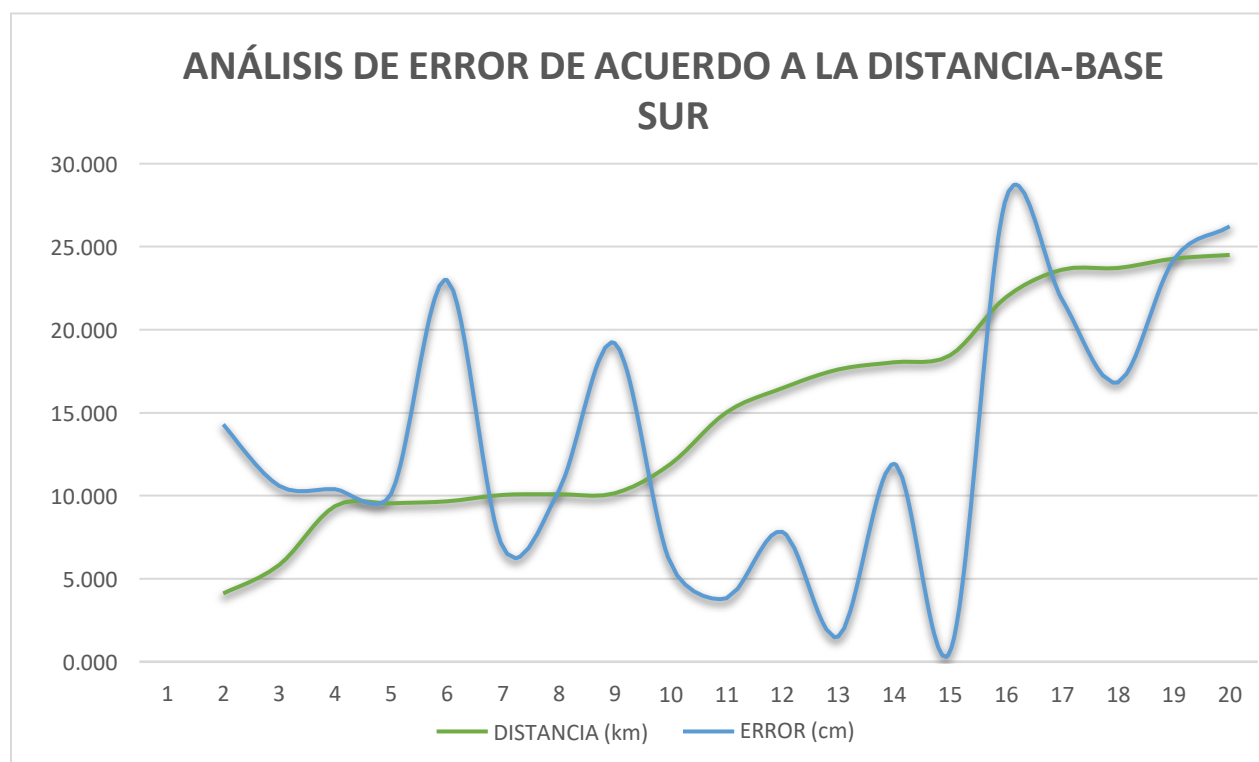
Tabla 7.

Exactitud vertical respecto a la base sur IX-L3-5A-AJ

	ID	X	y	h (Elipsoidal)	$\eta$ (EGM-08)	H (RT-VPP)	H (MONOGRAFÍA)	DISTANCIA (km)	ERROR (cm)
BASE SUR	IX-L3-5A-AJ	773550.197	9966877.387	2929.622	26.751		2902.138		
	IX-L3-3A-AJ	775379.997	9970563	2878.337	26.794	2851.001	2850.858	4.115	14.286
	MO-V-15	774343.748	9972646.739	2868.895	26.882	2841.471	2841.365	5.824	10.586
	A-SB-7B	779970.335	9973704.229	2905.79	26.699	2878.549	2878.445	9.371	10.386
	X-B-2A	778882.612	9974794.823	2785.296	26.765	2757.989	2757.888	9.546	10.086
	AO-MV-12	776311.905	9976134.887	2898.861	26.907	2871.412	2871.182	9.661	22.986
	X-B3-A	779753.262	9974782.133	2840.94	26.733	2813.665	2813.596	10.048	6.886
	IX-L3-9B	778807.476	9975489.598	2814.325	26.792	2786.991	2786.888	10.090	10.286
	AO-MV-11B	777222.541	9976336.497	2917.887	26.861	2890.484	2890.292	10.147	19.186
	A-SB-10	781866.914	9975400.248	2778.123	26.674	2750.907	2750.848	11.908	5.886
MOVIL	A-SB-12A	782846.862	9978676.692	2612.187	26.723	2584.922	2584.96	15.022	3.814
	SR-C-8	783270.537	9980184.415	2776.508	26.735	2749.231	2749.309	16.479	7.814
	AO-MV-6B	778352.46	9983813.689	2900.831	27.026	2873.263	2873.278	17.604	1.514
	SR-C-9	784087.826	9981518.6	2730.712	26.757	2703.413	2703.532	18.039	11.914
	IX-L3-3B	779056.418	9984496.669	2844.692	26.975	2817.175	2817.181	18.460	0.614
	AO-MV-3	778260.254	9988323.903	2778.199	27.115	2750.542	2750.821	21.958	27.914
	IV-L3-3A-1	780259.212	9989517.09	2787.666	27.018	2760.106	2760.324	23.613	21.814
	IV-L3-4A	782314.256	9988915.26	2773.904	26.942	2746.420	2746.588	23.717	16.814
	IV-L3-3A	781332.502	9989873.329	2787.495	27.007	2759.946	2760.188	24.277	24.214
	V-L1-74A	779933.476	9990533.267	2676.829	27.047	2649.240	2649.502	24.502	26.214

Figura 47.

Errores en relación a la distancia – Base Sur



La aplicación RT-VPP calcula la altura nivelada en función a la base más cercana del punto a medir, en la *tabla 8* se compara las precisiones obtenidas respecto a la base norte, sur y las bases seleccionadas por la aplicación Android, ver *figura 48*.

Tabla 8.

Comparación de las exactitudes de las alturas niveladas respecto a la distancia de su base.

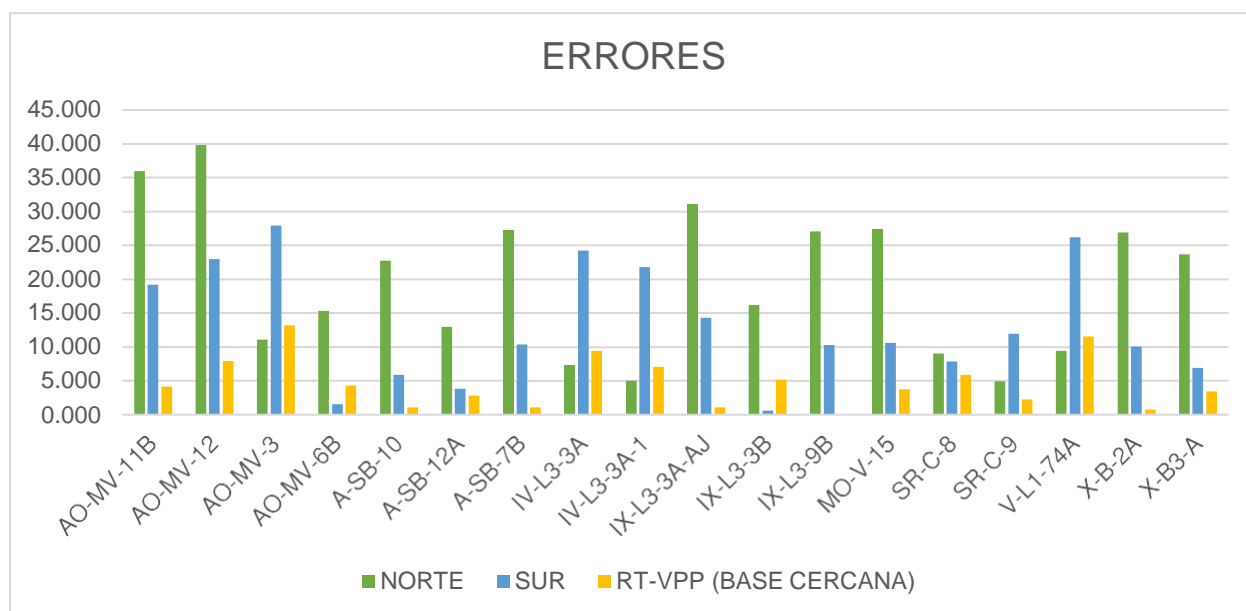
ID	BASE NORTE		BASE SUR		BASE MAS CERCANA RT-VPP	
	DISTANCIA (km)	ERRO R (cm)	DISTANCIA (km)	ERROR (m)	DISTANCIA (km)	ERROR (cm)
AO-MV-11B	13.570	35.996	10.147	19.186	0.890	4.133
AO-MV-12	14.120	39.796	9.661	22.986	1.200	7.964
AO-MV-3	4.097	11.104	21.958	27.914	4.000	13.213
AO-MV-6B	6.459	15.296	17.604	1.514	1.000	4.300

ID	BASE NORTE		BASE SUR		BASE MAS CERCANA RT-VPP	
	DISTANCIA (km)	ERRO R (cm)	DISTANCIA (km)	ERROR (m)	DISTANCIA (km)	ERROR (cm)
A-SB-10	13.522	22.696	11.908	5.886	2.700	1.040
A-SB-12A	10.252	12.996	15.022	3.814	0.700	2.819
A-SB-7B	15.391	27.196	9.371	10.386	1.500	1.110
IV-L3-3A	1.372	7.404	24.277	24.214	1.300	9.406
IV-L3-3A-1	2.141	5.004	23.613	21.814	2.100	7.064
IX-L3-3A-AJ	19.619	31.096	4.115	14.286	3.000	1.100
IX-L3-3B	5.490	16.196	18.460	0.614	1.100	5.150
IX-L3-9B	13.876	27.096	10.090	10.286	0.698	0.012
MO-V-15	18.116	27.396	5.824	10.586	1.600	3.714
SR-C-8	8.783	8.996	16.479	7.814	1.000	5.910
SR-C-9	7.606	4.896	18.039	11.914	2.500	2.240
V-L1-74A	2.879	9.404	24.502	26.214	2.800	11.515
X-B-2A	14.531	26.896	9.546	10.086	1.600	0.790
X-B3-A	14.363	23.696	10.048	6.886	0.870	3.422
<b>RMSEz</b>		<b>22.276</b>		<b>15.561</b>		<b>6.003</b>

Nota: Se eliminaron las placas escogidas como base sur y norte.

Figura 48.

Grafica comparativa de exactitud en función de la distancia



## Capítulo IV

### Análisis de resultados de la investigación

La validación de la aplicación RT-VPP se la efectuó por medio de la diferencia de los dos métodos de nivelación (geométrico IGM y GPS) dando como resultado errores a nivel del centímetro (ver tabla 3). Siguiendo la metodología de la NSSDA (ver tabla 4) se obtuvo un RMSEz de 0.057 metros y una exactitud posicional vertical de 0.0112 metros

Según la tabla 5 extraída del documento “Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital” del Instituto Agustín CODAZZI la precisión obtenida con la aplicación “RT-VPP” garantiza poder trabajar a una escala 1: 1 000, ya que la exactitud vertical esperada a un nivel de confianza del 95% es de 18 cm.

En la tabla 3 se observa que no existe una relación entre el error y la distancia, debido a que el cálculo que realiza la aplicación depende de la calidad de los datos obtenidos con el posicionamiento GPS, por ejemplo en una línea de nivelación con distancia de 10 km existe un error de 2.080 cm, mientras que en otra línea de nivelación de 1.3 km el error es de 9.406 cm; por otra parte no existen líneas de cálculo que excedan los 8 km debido a que la aplicación está delimitada por la zona de estudio (DMQ).

Se puede evidenciar en la figura 48 y en la tabla 8, que existe un mayor error en las mediciones realizadas desde la base norte con un RMSEz de 22.276 cm, mientras que la base sur dio como resultado un RMSEz de 15.561 cm; en cambio la nivelación realizada con la app RT-VPP que selecciona la base más cercana dio un RMSEz de 6.003 cm

El tipo de programación está orientada a objetos para simplificar el código (ver Anexo 2), por lo tanto, cuando se requiera realizar alguna actualización de la aplicación, esta va a ser más simple de efectuarse; esto se constató a lo largo del desarrollo de la aplicación.

La aplicación desarrollada se la diseño de tal manera que sea un entorno sencillo y de fácil uso para el usuario, el input son las coordenadas referidas al sistema de proyección UTM 17 Sur, con el datum WGS 84 siendo el orden de entrada de los datos: este, norte y altura elipsoidal, obtenidas con el método NTRIP o si el usuario requiere de mayor precisión puede ingresar coordenadas conseguidas por otro método de posicionamiento GNSS, debido a que el resultado arrojado por la aplicación va a depender, principalmente, de la precisión alcanzada en el rastreo satelital.

## **Capítulo V**

### **Conclusiones y recomendaciones**

#### **Conclusiones**

Se recopiló la geo-información necesaria para el desarrollo de la aplicación RT-VPP en base a la zona de estudio; las monografías de los puntos pertenecientes a la red de control básico vertical del Ecuador se las obtuvieron gracias al convenio existente entre el IGM y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por otro lado, la información de la ondulación geoidal se la consiguió del modelo EGM08 de la aplicación desarrollada por la NGA.

Se realizó el posicionamiento GNSS con el método estático rápido sobre las placas de nivelación IGM seleccionadas previamente de acuerdo al criterio de que la distancia entre las mismas sea mayor a 1 km; el levantamiento en campo presentó una gran dificultad en la medición ya que la ubicación de las placas de nivelación no fueron pensadas para un posicionamiento GNSS, esto debido al crecimiento urbano y los elementos antrópicos encontrados a las cercanía de las mismas, generando así un conflicto en el rastreo dando como resultado pérdidas de señal, por otra parte la ausencia de la materialización de ciertas placas limitaron la densificación de los puntos usados para el cálculo de la altura referida al nivel medio del mar.

Se desarrolló una aplicación cuyo algoritmo está orientado a entregar una altura nivelada oficial para el Ecuador en tiempo real, mediante el posicionamiento GNSS con el método NTRIP; en base a la fórmula elemental de nivelación GPS (ver ecuación 2.8); el algoritmo realiza un análisis espacial en función a la placa de nivelación IGM más cercana al punto rastreado que se encuentre dentro de la zona de estudio (DMQ).

Se validó estadísticamente los resultados obtenidos con la aplicación RT-VPP, mediante la metodología propuesta por la NSSDA, obteniendo un valor de exactitud vertical de 0.112 metros. Considerando la tabla 5 extraída del documento “Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital”, se puede concluir que con la exactitud posicional vertical obtenida se puede trabajar a escalas 1: 1000.

Las diferentes limitantes que existen al momento de programar para un dispositivo móvil son la falta de librerías y la poca capacidad de almacenamiento y procesamiento, por lo que se recurrió a desarrollar un código apoyado en la interpolación lineal por triangulación entre los puntos generados en la grilla (ver figura 13), para la obtención de la Ondulación Geoidal (EGM-08) en cualquier punto del DMQ.

Con respecto a la hipótesis planteada sobre si es posible desarrollar una aplicación que genere alturas referidas al nivel medio del mar que sea útil para ciertos proyectos de ingeniería basados en posicionamiento NTRIP y nivelación GPS, se concluyó que la metodología de la investigación si es viable.

### **Recomendaciones**

Se recomienda disponer de una base de datos de control vertical robusta para mejorar la precisión del cálculo de las alturas niveladas ya que el código de programación esta realizado en función de la distancia del punto rastreado hacia la base más cercana.



Al momento de realizar el levantamiento con el protocolo NTRIP, es recomendable que sea en zonas donde no exista elementos naturales o antrópicos que puedan generar errores multipath, debido a que no existe un post procesamiento que ayude a mejorar la calidad del dato medido.

Las metodologías del arrastre de cota geométrica o trigonométrica que se realizan con el fin de obtener la altura sobre al nivel medio del mar que es la altitud oficial del Ecuador, demandan de campañas poco viables debido a su alto costo y reducido rendimiento de ejecución, por lo tanto debido a las ventajas encontradas en la presente investigación se recomienda aplicarla en trabajos de ingeniería que requieran una precisión centimétrica aptas hasta una escala 1: 1000, incluso 1:500 en la zona urbana del cantón Quito.

Se recomienda generar diferentes versiones de la aplicación en función a las zonas de estudio que requieran de este servicio para consolidar la metodología planteada a nivel nacional, de tal manera que cada Gobierno Autónomo Descentralizado pueda gozar de los beneficios brindados por la App RT-VPP disminuyendo los costos de los proyectos que necesiten de dicha información.

### Referencias bibliográficas

- Aduviri, G., Tito Loza, S., & Delgado, J. (2013). *Levantamiento planialtimétrico empleando la tecnología GNSS método cinemático en la localidad Caracolito Norte*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Agüero, E., Montilla, A., & Valero, G. (01 de 02 de 2018). *Medición de puntos GPS por el método estático con equipo diferencial. Una experiencia didáctica en el Instituto Pedagógico de Maturín*. Obtenido de <https://revistas.pedagogica.edu.co/>: <https://doi.org/10.17227/ted.num43-8655>
- Avendaño, J., & Vásquez, J. (2017). *NIVELACIÓN GEOMETRICA DE POLIGONAL CHOCONTA-SUESCA (APOYO AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SOBRE PLANOS TOPOGRAFICOS LOCALES -TRAMO k11+000 al k14+000)*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .

- Briceño, A. (2009). Observaciones GPS NTRIP : Una nueva alternativa para el posicionamiento preciso en Venezuela. *Rev. Tec. En g. Universidad Zulia*, 2-8.
- Cañizares, E., Tierra, A., & Leiva, C. (2015). Sistema de Alturas para el Ecuador. *X CONGRESO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA ESPE 2015*, (págs. 88-93). Sangolquí .
- Chinchilla, R., & Morales, F. (1998). Programación orientada a objetos usando JAVA. *Revista de Bibliotecología y Ciencias de la Información*, 9-12.
- Cmisay, M., Mackern, M., & Calori, A. (2013). Posicionamiento RT-NTRIP, una alternativa rápida y segura para la vinculación con los marcos de referencia. *IV Jornadas de Investigación 2013 - Universidad Juan Agustín Maza* (págs. 1-2). Mendoza: Universidad Juan Agustín Maza.
- Codazzi, I. G. (2016). *Especificaciones técnicas Cartografía Basica Didital*. Colombia.
- Cogliano, D. D. (2006). *Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría Caracterización de la Estructura Geológica de Tandil*. Rosario, Argentina.
- Cuentas, N., Yáñez, L., & Faure, J. (2017). Modelado del Cuasi-Geoide a partir de nivelación geométrica, gravimetría y posicionamiento satelital. *UDELAR*, 31-37. Obtenido de UDELAR Instituto de Agrimensura:  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22860/1/CY19.pdf>
- DiMarzio, J. (2016). *Beginning Android Programming with Android Studio*. John Wiley & Sons, Inc.
- Echevarría, M. F. (2019). Determinación de un Modelo de Geoide local para la ciudad de Bahía Blanca. 13. Obtenido de  
<http://www.bibliotecapca.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH01a3.dir/doc.pdf>
- Enríquez, D., Leiva, C., Cárdenas, S., Sánchez, J., & Toulkeridis, T. (2021). Validation of the GPS leveling method through the gradient analysis of the geoidal wave. Case study of Ecuador. *Revista Geografica Venezolana*, 62, 316-329. doi:10.53766/RGV/2021.62.2.02
- Espinosa, I. (2009). *ANÁLISIS DE LOS MODELOS EGM08, KMS02 Y DTMECU PARA EL CÁLCULO DEL GEOIDE GRAVIMÉTRICO LOCAL DE LA ZONA COMPRENDIDA ENTRE LAS LATITUDES 1°S Y 2°S Y ENTRE LAS LONGITUDES 81°W Y 78°W*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Fernández, I. (2001). *Localización Geográfica* (4 ed.). Valladolid, España.
- Flóres, H. A. (2012). Programación orientada a objetos usando JAVA. ECOE.
- Furones, Á. (2011). *SISTEMA Y MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE. SISTEMAS DE COORDENADAS*. Valencia, España.
- González, P. (22 de 05 de 2015). *Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena:  
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/4651>
- Hohensee, B. (2014). *Introducción A Android Studio. Incluye Proyectos Reales Y El Código Fuente*. Babelcube.Inc.

- IGM. (2020). *Resolución Nro. IGM-IGM-2020-0095-R*. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/wp-content/uploads/2020/10/IGM-IGM-2020-0095-R.pdf>
- IGM. (09 de 11 de 2021). *INFORME TECNICO PARA LA ADOPCION DEL MARCO GEODESICO DE REFERENCIA NACIONAL*. Obtenido de SNI: [https://sni.gob.ec/documents/10180/3346059/2+InfTec\\_Adopcion+Marco+Geod%C3%A9sico+Referencia+SIRGAS.pdf/d90747c2-2990-48bd-8691-b2de631af4c1](https://sni.gob.ec/documents/10180/3346059/2+InfTec_Adopcion+Marco+Geod%C3%A9sico+Referencia+SIRGAS.pdf/d90747c2-2990-48bd-8691-b2de631af4c1)
- IGM. (2021). *NTRIP IGM*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/register>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. (06 de 2020). *GEOPORTAL IGM*. Obtenido de [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page\\_id=32](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=32)
- Intracaso, A. (2006). Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. *1*, 18.
- Jorge Moya; Betsy Cedeño. (2017). CONCEPTOS BÁSICOS EN GEODESIA COMO INSUMO PARA UN TRATAMIENTO ADECUADO DE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL. *Revista Geográfica de América Central*, *1*(58), 52-53. doi:<https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.3>
- Leiva, C. (2010). *IGM*. Obtenido de SENPLADES: <https://slideplayer.es/slide/3016024/>
- Leiva, C. (2014). Determinación de modelos de predicción espacial de la variable de ondulación geoidal, para la zona urbana del cantón Quito y la zona rural del cantón Guayaquil, utilizando técnicas geoestadísticas. 8-37.
- Leiva, C., Araujo, N., & Bueñaño, X. (2017). MODELO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DE ONDULACIÓN GEOIDAL, PARA EL ÁREA URBANA DE QUITO, UTILIZANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS. *GEOESPACIAL*(14), 84-88.
- Lobaina, A. A., Beatón, D. M., & Fuentes, C. G. (2014). *Contribución al método de interpolación con triangulación de Delaunay* (Vol. 30). Cuba. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223531569004.pdf>
- López, A. (03 de 2021). *Evaluación del desempeño del método de nivelación Trigonométrico por visuales recíprocas y simultáneas, en la red altimétrica de la ciudad de los Ángeles*. Obtenido de Biblioteca UdeC Repositorio: <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/7938/1/Evaluaci%C3%B3n%20del%20desempe%C3%B1o%20del%20m%C3%A9todo%20de%20nivelaci%C3%B3n.....pdf>
- Lopez, E., Núñez, A., & Gómez, C. (2010). *TEST DE ANÁLISIS DE LA PRECISIÓN EN DETERMINACIÓN*. Barcelona: EPSEB.
- Lopez, S. (1996). *Topografía* (Segunda ed.). Madrid, España.
- Martín, A. (Agosto de 2020). 4-SISTEMAS DE REFERENCIA GEODESICOS. 41. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/343627274\\_4-SISTEMAS\\_DE\\_REFERENCIA\\_GEODESICOS](https://www.researchgate.net/publication/343627274_4-SISTEMAS_DE_REFERENCIA_GEODESICOS)
- Mazón, B., Joffre, C., Víctor, C., & Wilmer, R. (2015). Fundamentos de programación orientada a objetos en JAVA. Machala: Universidad Técnica de Machala.

- Moreira, L. A., & Krueger, C. P. (2020). Análise de precisão e acurácia de métodos de posicionamento em tempo real na determinação de desníveis. *Revista Brasileira de Geomatica*, 8(1). doi:10.3895/rbgeo.v8n1.9843
- NGA. (15 de 01 de 2022). *OFFICE OF GEOMATICS*. Obtenido de Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) Data and Apps: <https://earth-info.nga.mil/>
- Peñafiel, J., & Zayas, J. (2001). FUNDAMENTOS DEL SISTEMA GPS. *COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS EN TOPOGRAFIA*, 68-86.
- Rapp, R. H. (1991). *GEODESIA GEOMÉTRICA*. 3.
- Rey, J. F. (1999). *Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía*. Cáceres.
- Rosas, P. (05 de 2020). ADOPCIÓN DEL NUEVO MARCO GEODÉSICO DE REFERENCIA PARA EL ECUADOR (SIRGAS-ECUADOR). 22-34. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Sánchez, D., & Cano, N. (2014). Introducción A La Programación. Chía: IE San Josemaria Escrivá De Balaguer.
- Sanchez, E. (2017). *INFORME DE PASANTIA, NIVELACIÓN GEOMETRICA PARA LA GENERACIÓN DE UN MODELO GEOIDAL LOCAL EN LA EMPRESA ECOMPASS SAS*. Bogotá.
- Sánchez, J. L. (2013). *Generación de una malla de ondulaciones geoidales por el método GPS/nivelación y redes neuronales artificiales a partir de datos dispersos*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata. doi:<https://doi.org/10.35537/10915/29002>
- Sánchez, L. (2002). DETERMINACIÓN DE ALTURAS FÍSICAS EN COLOMBIA. 6.
- Santecchia, G., & Span, J. (2020). Técnicas de posicionamiento GNSS aplicadas a la ingeniería. *MAPPING*, 3-4.
- SEAS. (17 de 07 de 2019). *BlogSEAS*. Obtenido de Conoce el lenguaje de programación Java: <https://www.seas.es/blog/informatica/conoce-el-lenguaje-de-programacion-java/#:~:text=Java%20es%20una%20plataforma%20inform%C3%A1tica,pudiese%20ejecutarse%20en%20cualquier%20dispositivo.>
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy* (Segunda ed.). Hannover, Alemania.
- Tierra, A. (2009). EVALUACIÓN DEL EGM08 Y EGM96 EN EL ECUADOR A PARTIR DE DATOS DE GPS Y NIVELACIÓN GEOMÉTRICA. *Revista Geoespacial*, 6, 53.
- Tierra, A., & Acurio, V. (2016). MODELO NEURONAL PARA LA PREDICCIÓN DE LA ALTURA GEOIDAL LOCAL EN EL ECUADOR. *REVISTA GEOESPACIAL*, 13(1), 59-72. Obtenido de <http://geoespacial.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/01/Geoespacial13.1.pdf#page=66>
- Vaní, P., Santos, M., Tenzer, R., & Hernández, A. (2003). *Algunos Aspectos Sobre Alturas Ortométricas y Normales*.
- Vértice. (2009). *Diseño Básico de Páginas Web en HTML*. Málaga: Editorial Vértice.
- Villalba, N. (2015). *Topografía Aplicada*. Lima: Macro.

Zurita, P. (11 de 2010). *ADOPCION DEL NUEVO MARCO DE REFERENCIA PARA EL ECUADOR*. Obtenido de SIRGAS.ORG:  
[https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol15/37\\_Zurita\\_et\\_al\\_Reporte\\_Ecuador.pdf](https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol15/37_Zurita_et_al_Reporte_Ecuador.pdf)

## **Apéndices**