



U

P

T

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE TULANCINGO

DESARROLLO DE UN SISTEMA MÓVIL PARA EL  
LEVANTAMIENTO Y MODELADO TOPOGRÁFICO.

por

VÍCTOR TALAMANTES MÁRQUEZ

Tesis

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON ESPECIALIDAD EN  
INGENIERÍA DE SOFTWARE

Supervisada por asesor:

MTRO. LUIS ROBERTO MORALES MANILLA.

Tulancingo de Bravo, Hidalgo

Junio 2019.

©UPT 2019

Derechos reservados

El autor otorga a UPT el permiso de reproducir  
y distribuir copias de este reporte en su totalidad  
o en partes.



## RESUMEN

Utilizando un conjunto de tecnologías orientadas a los dispositivos móviles (específicamente Android), se desarrolló una aplicación que permite, implementando las funcionalidades de geolocalización, realizar el levantamiento topográfico (latitud, longitud y altitud) de una zona de estudio. La principal finalidad de la aplicación es proporcionar una herramienta útil y de fácil acceso a un bajo costo y a la mano tanto de expertos como de cualquier usuario. Esta aplicación móvil, es capaz de analizar los datos capturados durante el proceso de un levantamiento, generando tres productos a partir de la información:

1. El primero es el perfil del terreno en dos dimensiones, permitiendo seleccionar la sección a graficar y posteriormente obtener una vista tipo histograma de la elevación del terreno.
2. El segundo consiste en mostrar las curvas de nivel sobre el mapa, dichas curvas son generadas en base a los puntos y las altitudes que se recolectan mediante el GPS del dispositivo móvil y se procesan dentro de la aplicación móvil.
3. Finalmente, un modelo tridimensional de la superficie del terreno, calculado mediante las altitudes levantadas y la interpolación cubica de los puntos dentro del polígono de trabajo.

El usuario puede guardar cada uno de los levantamientos realizados, lo que permite que puedan ser usados posteriormente para su revisión y consulta. Para almacenar los proyectos en el equipo del usuario, se solicita la asignación de un nombre y como parte del nombre se incluye la fecha de creación del proyecto, con la finalidad de identificar cada uno de los proyectos guardados en el dispositivo móvil.

Otra de las características de la aplicación consiste en la capacidad de exportar los datos a un formato de texto compatible con software GIS de terceros, esto mediante la generación de los archivos que contienen la información de los puntos levantados y las curvas de nivel generadas, el formato de estos archivos es “**geojson**” para líneas puntos y polígonos, también almacenan en forma de atributos las coordenadas de latitud, longitud y altitud.

La aplicación cuenta con un manual de instrucciones en formato PDF, con el que el usuario puede consultar las funciones y operaciones que puede realizar con la aplicación.

Los resultados que arroja esta aplicación basan su confiabilidad en una mayor precisión de los levantamientos, ya que los productos comerciales abarcan áreas de estudio muy amplias y están hechos a escalas muy grandes 1:1000 o 1:2000, como por ejemplo los mapas del INEGI y las imágenes satelitales comerciales.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que han participado de manera activa en mi formación académica y profesional, principalmente a mis docentes, compañeros y amigos de la Universidad Politécnica de Tulancingo, ya que, sin la visión y conocimiento de ellos, este trabajo no habría sido posible de realizar.

Deseo agradecer principalmente al Maestro Luis Roberto Morales Manilla, que ha sido durante el desarrollo de este trabajo de tesis, una fuente inagotable de motivación e inspiración. La manera en la que se involucró durante las etapas de planeación, desarrollo y supervisión del proyecto han sido de vital importancia para su conclusión.

También quiero agradecer a mi familia, mi esposa Silvia y mi pequeña hija Valeria que ha estado a mi lado, brindándome su apoyo incondicional, siendo la principal motivación para llegar a la conclusión de este proyecto y siempre alentándome a no desistir.

Tengo que agradecer a la vida, por darme la oportunidad de llegar a este punto tan importante en mi desarrollo personal y profesional, este ha sido sin duda uno de los retos más importantes y desafiantes de mi carrera.

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	2
<b>CONTENIDO</b> .....	3
<b>1</b> INTRODUCCIÓN .....	5
<b>2</b> OBJETIVO GENERAL .....	6
<b>2.1</b> OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b>3</b> JUSTIFICACIÓN .....	7
<b>4</b> CONCEPTOS BÁSICOS .....	8
<b>4.1</b> SISTEMAS DE COORDENADAS .....	8
<b>4.2</b> SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	10
<b>4.3</b> LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS .....	11
<b>4.4</b> CURVAS DE NIVEL Y PERFIL DEL TERRENO .....	12
<b>4.5</b> USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES .....	13
<b>4.6</b> TECNOLOGÍAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL .....	14
<b>4.7</b> TRABAJOS RELACIONADOS .....	16
<b>5</b> ESTADO DEL ARTE .....	17
<b>5.1</b> PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA .....	18
<b>5.2</b> SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSAL TRASVERSAL DE MERCATOR (UTM) .....	20
<b>5.3</b> MODELOS DE REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA .....	21
<b>5.4</b> ESCALAS DE MAPA Y VISUALIZACIÓN .....	22
<b>5.5</b> MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN .....	23
<b>5.6</b> PRECISIÓN DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL .....	26
<b>5.7</b> GPS DIFERENCIAL .....	26
<b>5.8</b> PRODUCTOS DE PERCEPCIÓN REMOTA .....	27
<b>5.9</b> EQUIPOS RECEPTORES GPS .....	30
<b>5.10</b> SOFTWARE GIS .....	31
<b>6</b> DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....	33
<b>6.1</b> COMPONENTES UTILIZADOS .....	34
<b>6.2</b> DISEÑO PRELIMINAR .....	35
<b>6.3</b> DIAGRAMA DE CASOS DE USO .....	37
<b>6.4</b> DIAGRAMA DE CLASES .....	38
<b>6.5</b> MODELO DE DATOS .....	39
<b>6.6</b> MOBILE-D, COMO METODOLOGÍA DE DESARROLLO .....	40
<b>6.7</b> DISEÑO ACTUAL DE LA APLICACIÓN .....	41
<b>6.7.1</b> GESTIÓN DE PROYECTOS .....	42
<b>6.7.2</b> EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	43
<b>6.7.3</b> CURVAS DE NIVEL .....	44
<b>6.7.4</b> ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS .....	44
<b>6.7.5</b> MANUAL DE USUARIO Y ACERCA DE .....	45

6.8	DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES PRINCIPALES DE LA APLICACIÓN.....	46
6.8.1	GENERAR UN NUEVO PROYECTO.....	46
7	EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA APLICACIÓN. ....	65
7.1	EQUIPOS DE PRUEBA Y DESARROLLO. ....	65
7.2	VERIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO EN QGIS Y ARCGIS. ....	66
7.3	PRUEBAS DE PRECISIÓN. ....	70
7.3.1	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	73
7.4	REVISIÓN POR PARTE DE UN EXPERTO. ....	76
8	DISTRIBUCIÓN DE LA APLICACIÓN. ....	78
9	REGISTRO ANTE INDAUTOR. ....	80
10	TRABAJOS FUTUROS.....	81
11	CONCLUSIONES. ....	82
	<b>REFERENCIAS</b> .....	83
	<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	88
	<b>GLOSARIO</b> .....	89

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad el desarrollar y poner a disposición del público en general una aplicación para dispositivos móviles, publicándola en la tienda de la plataforma seleccionada para el desarrollo, que permita realizar levantamientos topográficos para posteriormente mediante algoritmos de análisis entregar una serie de elementos útiles para la interpretación de la situación geográfica de los terrenos, tales como cálculo de curvas de nivel, gráfica del perfil del terreno en 2 dimensiones y el modelo digital de elevación del terreno.

Actualmente los levantamientos topográficos son realizados por ingenieros expertos que utilizan equipo diseñado específicamente para esa tarea. Existen equipos topográficos como los teodolitos que requieren de dos personas para realizar la recolección de la información en campo y así después realizar el procesamiento de esta.

Una vez realizados los levantamientos topográficos y el procesamiento de esos datos, se puede utilizar dicha información para la elaboración de planos, calcular elevaciones y/o graficar la forma del terreno. Con estos modelos de elevación se puede apoyar en la planeación y toma de decisiones sobre el área de estudio o terreno.

Hoy día, los sistemas de información geográfica (**SIG**) están a disposición de la gran mayoría de la gente. Los servicios de mapas e imágenes satelitales por internet son cada vez más usados en la vida cotidiana. Servicios como Google Maps o Bing Maps permiten obtener diferentes datos de la zona donde se encuentra el usuario con tan solo obtener su ubicación mediante el sistema de posicionamiento global mejor conocido por sus siglas en inglés como **GPS**.

Además, el creciente uso de equipos portátiles denominados smartphones o equipos inteligentes, como los celulares y las tabletas, abren la posibilidad de desarrollar herramientas que faciliten las tareas que regularmente se realizan mediante equipos especializados.

En este sentido, la mayoría de los equipos portátiles cuentan con un sensor GPS integrado, que permite obtener la ubicación geográfica del dispositivo y en consecuencia del usuario. Esta función es muy utilizada en diferentes tipos de aplicaciones, como pueden ser aplicaciones de navegación, de publicación de sitios visitados, de información del clima e incluso geo-referenciar fotografías.

El interés de este trabajo es desarrollar una herramienta fácil de usar y al alcance de aquella persona que cuente con un teléfono celular, proporcionando una manera simple de realizar un levantamiento topográfico sin la necesidad de tener conocimientos avanzados en Topografía o en sistemas de información geográfica, ya que la aplicación como tal, cuenta con una interfaz sencilla, intuitiva y fácil de utilizar.

## 2 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar una aplicación móvil orientada a levantamientos topográficos, mediante un teléfono inteligente. La cual permita procesar y analizar los datos recolectados y mostrar las curvas de nivel, el perfil del terreno y el modelo tridimensional de superficie del área de estudio, que sirva para la planeación y toma de decisiones relacionadas con el uso del suelo.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Desarrollar la aplicación de manera inicial para la plataforma Android, que permita realizar la captura, procesamiento y despliegue de un modelo de terreno.
- Permitir la creación de un proyecto digital que guarde los datos de las coordenadas del área de trabajo, y que se identifique con un nombre y con la fecha de creación.
- Desarrollar la funcionalidad necesaria para realizar la captura de las coordenadas para delimitar el área del polígono de trabajo mediante el uso del sensor GPS del dispositivo.
- Realizar el cálculo de las curvas de nivel utilizando las coordenadas obtenidas, esto para modelar la elevación del terreno.
- Permitir la visualización de los modelos del terreno, tanto en 2D, utilizando las curvas de nivel, como en 3D mediante el modelo digital del terreno.
- Mostrar la elevación del terreno en una gráfica tridimensional interactiva (modelo digital del terreno en 3 dimensiones).
- Brindar la posibilidad de exportar el análisis realizado a un formato soportado por los sistemas SIG más utilizados en el mercado.

### 3 JUSTIFICACIÓN.

Derivado de la complejidad y de los altos costos tanto de productos de información, que son obtenidos mediante procesos complejos como la teledetección, como del software especializado para la manipulación de información geográfica, es posible aportar a la comunidad geográfica y topográfica una aplicación libre de costo y completamente funcional, que permita realizar estudios de terrenos mediante recorridos a pie utilizando un dispositivo móvil como pudiera ser un teléfono o una tableta, para generar una serie de productos de utilidad para los usuarios especializados y no tan expertos, sin la necesidad de tener conocimientos avanzados en el área.

Demostrando así la capacidad de los sistemas de información y de las nuevas plataformas de cómputo, de soportar aplicaciones interdisciplinarias que se conviertan en soluciones para problemáticas específicas orientadas a usuarios casuales o poco involucrados en las disciplinas o en los desarrollos móviles.



## 4 CONCEPTOS BÁSICOS.

Para comprender la manera en la que el sistema móvil trabaja, es necesario conocer una serie de conceptos y tecnologías que están fuertemente relacionadas con el desarrollo y la utilización de la herramienta descrita párrafos arriba.

Estos conceptos abarcan de manera general los sistemas de coordenadas, la descripción de los sistemas de información geográfica, la definición de un levantamiento topográfico y de las curvas de nivel, la descripción de los principales teléfonos móviles y las tecnologías de posicionamiento global.

### 4.1 SISTEMAS DE COORDENADAS.

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten identificar de manera inequívoca la posición de un punto, que es una figura geométrica sin dimensión, solo describe una posición en el espacio mediante un par de coordenadas. Los sistemas de coordenadas más simples se definen sobre espacios planos.

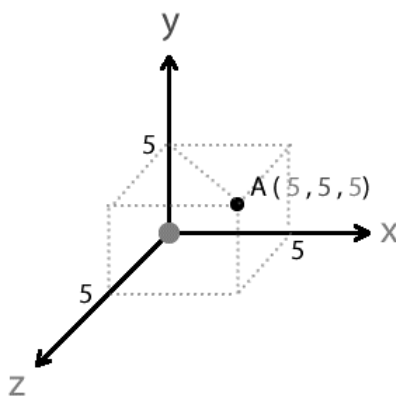


Ilustración 1. Sistema de coordenadas. (OPENGL ES, 2013)

Cada uno de los mapas formales debe estar referido a un sistema de coordenadas que permita definir las ubicaciones geográficas y también realizar mediciones de manera adecuada, para esto se implementa principalmente un sistema geográfico o curvilíneo y el sistema rectangular o cartesiano siendo el más comúnmente utilizado el de latitud y longitud, planteado por primera vez por los griegos. (Lehmann, 1989)

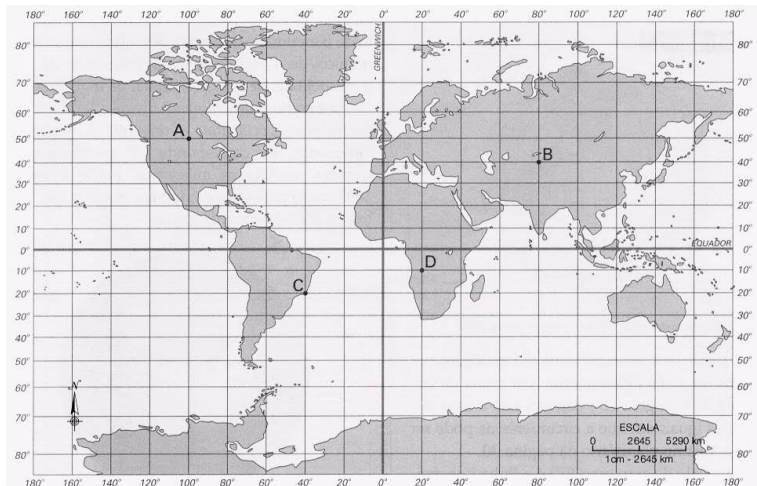


Ilustración 2. Mapa con un sistema de coordenadas. (Ivi, 2014)

Este sistema se basa en latitudes y longitudes geográficas y es curvilíneo debido a que los círculos máximos que lo definen son líneas curvas, un círculo máximo en una esfera es cualquier círculo cuyo plano contiene el centro de la esfera, pero para el sistema de coordenadas los más importantes son:

- Los **paralelos**, que son todos los círculos perpendiculares al eje de rotación de la tierra y el **ecuador** es el círculo máximo.
- Los **meridianos**, que son círculos máximos que contienen al eje de rotación de la tierra y el principal es llamado meridiano de referencia o meridiano de **Greenwich**.

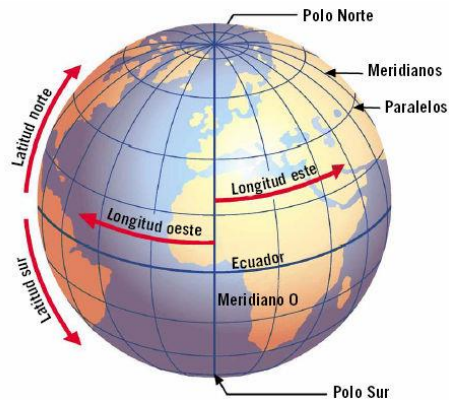


Ilustración 3. Paralelos y meridianos de la tierra. (Domínguez, 2014)

El ecuador es el origen para medir la latitud, que es la distancia angular que existe entre el ecuador y el punto a lo largo del meridiano, la latitud se mide de 0 a 90 grados en dirección norte o sur, siendo el ecuador la latitud 0°. Mientras que el meridiano de Greenwich es el origen para medir la longitud, que es la distancia angular medida sobre el ecuador entre el meridiano de referencia y el punto, esta se mide de 0 a 180 grados en dirección este u oeste, siendo el meridiano de Greenwich la longitud 0°. (Davis, Foote, & Kelly, 1976)

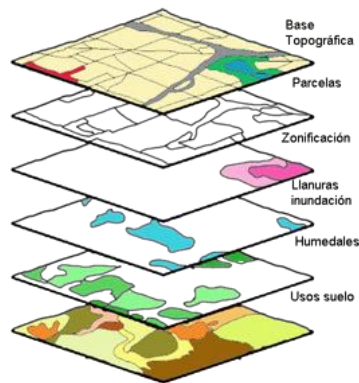
## 4.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Los sistemas de información geográfica a los que a partir de aquí se denominarán **SIG**, son una tecnología basada en computadora que tiene una amplia variedad de aplicaciones en el ámbito industrial e intelectual.

La principal característica de un SIG, es la capacidad de convertir datos en información útil, de consulta y análisis estadístico con la visualización y análisis geográfico en un mapa, permitiendo explicar eventos y planear estrategias, de tal manera que el sistema cuenta con los siguientes elementos:

- Atributos y datos tabulares.
- Datos espacialmente referidos a la tierra (puntos, líneas y polígonos geo-referenciados).
- Análisis y manipulación de los datos (procesamiento).
- Resultados (mapas, datos 3D, esquemas, etc.)

En cualquier caso, un SIG se compone de datos, hardware, software, recursos humanos y un esquema organizativo.



*Ilustración 4. Capas de información de un SIG. (Universidad de Salamanca, 2015)*

Actualmente los SIG son utilizados por una gran parte de la población, ya sea como servicios de mapa en línea (Google, Bing, ArcGIS) o en sistemas de navegación para vehículos, GPS para el auto, entre otros ejemplos.

También existen SIG muy especializados en sectores como el energético, el hidráulico y en la administración catastral local, por citar algunos ejemplos. Y lo mismo hay software libre para trabajar con la información geográfica como lo es QGIS, o software con licenciamiento de paga como el ArcGIS desarrollado por la empresa ESRI. (Tomlinson, 2008).

### 4.3 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.

Un levantamiento topográfico es un estudio que permite obtener un modelo que representa las características de un terreno. El proceso final tiene como resultado el poder representar el terreno mediante, planos, mapas, gráficas, curvas de nivel, modelos 3D, etc... (Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía, 1999)

Para ubicar la posición de los puntos de estudio se utilizan tres coordenadas, que son: latitud, longitud y altura o cota. Para la realización de un levantamiento topográfico se utilizan diversas herramientas e instrumentos, como pueden ser el teodolito o la estación total, equipos que requieren de dos o más personas para operarse de manera apropiada.



a)



b)

*Ilustración 5. Equipo topográfico, estación total a), teodolito b).*

En este trabajo únicamente se utilizará como herramienta un equipo portátil de tipo Teléfono Inteligente que cuente con almacenamiento interno disponible y un receptor GPS de una precisión aceptable (3 metros de precisión en promedio) para poder realizar las tareas relacionadas con el levantamiento topográfico, principalmente la captura de altitudes y asociarlas a puntos sobre la tierra.

#### 4.4 CURVAS DE NIVEL Y PERFIL DEL TERRENO.

Y como resultado del análisis se obtendrán las curvas de nivel de la zona de estudio, el perfil del terreno en 2D y un modelo del mismo en 3D, esto para proporcionar información confiable y de calidad aceptable.

Para representar el relieve de un terreno se pueden utilizar diferentes métodos, como pueden ser los mapas de relieve, que son representaciones del terreno en tres dimensiones, para lo cual se utilizan materiales moldeables; otro método es el sombreado plástico que consiste en sombrear el plano tal y como se vería el terreno si este estuviera iluminado con rayos paralelos.

Y las curvas de nivel que son líneas imaginarias cuyos puntos están todos a la misma altura sobre un plano de referencia, las curvas de nivel están separadas unas de otras por una distancia constante llamada equidistancia. Y son de gran utilidad a la hora de representar el relieve, ya que ofrecen más precisión que otros métodos, pero requieren de una buena capacidad de interpretación. (Davis, Foote, & Kelly, 1976)

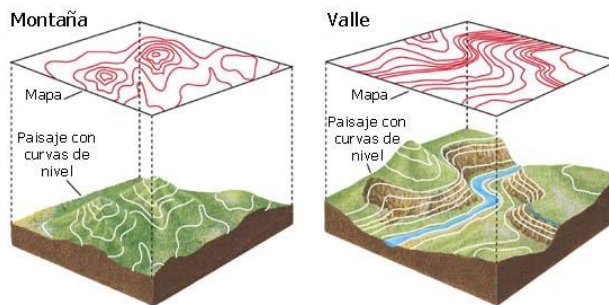


Ilustración 6. Resultado de un levantamiento topográfico, curvas de nivel. (Martha, 2011)

Otra representación que puede ser generada después de un levantamiento topográfico es el perfil del terreno, que consiste en tomar una sección transversal que pase por todas las curvas de nivel, para generar un gráfico de barras que represente las diferentes alturas de la zona.

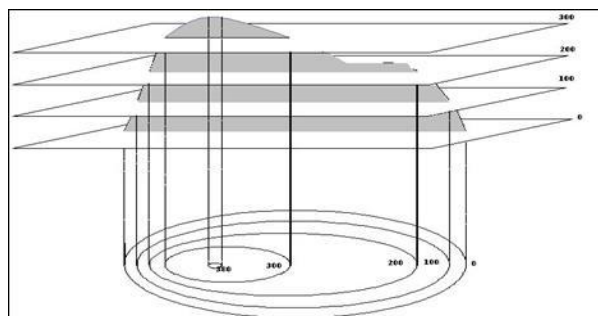


Ilustración 7. Perfil del terreno. (Representación tridimensional de una zona, 2015)

## 4.5 USO DE DISPOSITIVOS MÓVILES.

En la actualidad el uso de dispositivos móviles tales como teléfonos inteligentes y tabletas, ha tenido un aumento considerable, abriendo así la posibilidad de ampliar el uso y aplicación de este tipo de equipos a múltiples áreas de trabajo. Tanto así que, se tiene como dato más actual que existen 116 millones de líneas telefónicas móviles, con un aproximado de 99.5 millones de teléfonos inteligentes. (IFT, 2018)

Una ventaja adicional a la gran penetración que han tenido en la población mundial estos equipos es también el hardware avanzado que poseen, muchas veces la capacidad de procesamiento de un teléfono inteligente es casi tan cercana como la de un equipo de cómputo habitual.

Existen múltiples compañías fabricantes de equipos móviles, ya sean teléfonos inteligentes o tabletas, pero el software que estos dispositivos utilizan está fuertemente dominado por dos sistemas operativos, que son: Android y iOS.



Ilustración 8. Principales sistemas operativos para dispositivos móviles. (Pascual, 2018)

La cantidad de sensores que los equipos de las gamas altas de cada compañía incluyen abren aún más las posibilidades de uso y aplicación de estos aparatos, siendo uno de los sensores más comunes y utilizados el sensor GPS, el cual permite calcular la ubicación geográfica del dispositivo.

Según datos publicados por el diario El Universal, para 2018 los porcentajes de uso de cada una de las plataformas en México muestran un dominio aplastante de Android: (Martinez, 2018)

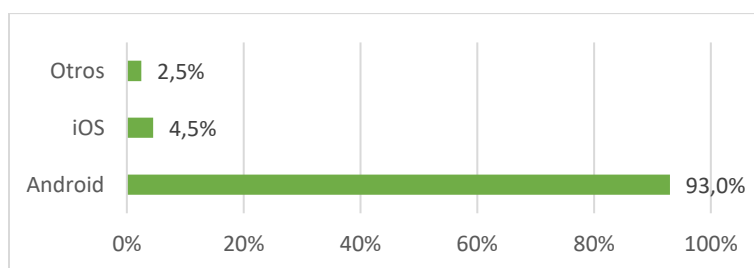


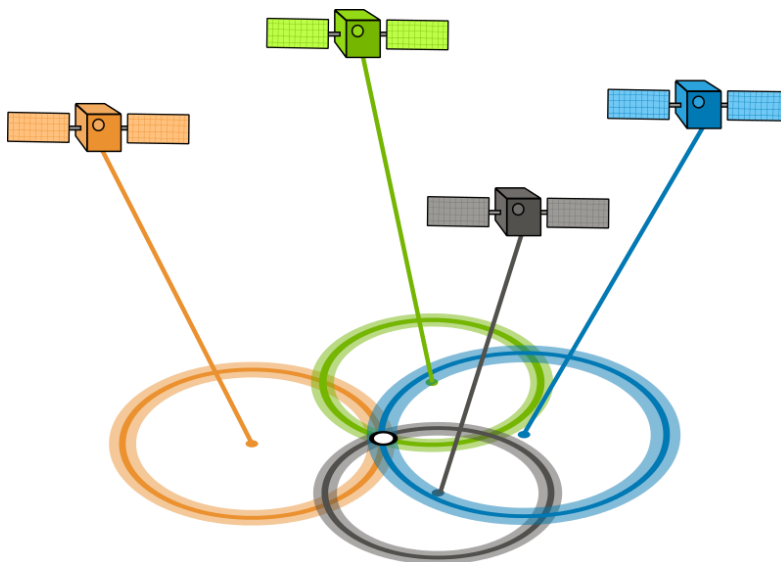
Ilustración 9. Uso por plataforma móvil en México. (Martinez, 2018)

## 4.6 TECNOLOGÍAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

El acrónimo **GPS** viene del término en inglés *Global Positioning System*, o en español, Sistema de Posicionamiento Global, fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El sistema hace uso de 36 satélites que giran en órbita alrededor de la tierra a una altura de 20,200 km para obtener las lecturas de coordenadas necesarias para establecer la posición de un objeto sobre la Tierra.

Normalmente la precisión de este sistema de posicionamiento es de varios metros, aunque se puede lograr una mayor precisión en centímetros mediante otro tipo de sistemas. Los GPS trabajan en el sistema de coordenadas geográficas WGS84 (**World Geodesic System 84**) Sistema Geodésico Mundial 84, que es un estándar mundial y tiene un error de cálculo menor a 2 cm. (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005)

Para obtener la posición, el equipo receptor debe localizar por lo menos cuatro satélites de la red, de los que obtiene la hora del reloj de cada uno de ellos, con estos datos, el aparato calcula el tiempo que tarda en recibir las señales y realiza la medición de la distancia al satélite. Este proceso se llama triangulación.



*Ilustración 10. Funcionamiento de un GPS. (Diego, 2014)*

El GPS es el sistema de posicionamiento global más utilizado y con el funcionan la mayoría de los dispositivos de geolocalización, estos equipos proporcionan una precisión que va de los 15 a los 3 metros, la mayoría de los sensores devuelven varios valores de la ubicación, como latitud, longitud, altitud y orientación.

La unión soviética también construyó un sistema de este tipo llamado GLONASS en 1982 que ahora es administrado por la Federación Rusa, el cual cuenta con 24 satélites y tiene una precisión de hasta 6 metros.

Y la unión europea también cuenta con su propio sistema de navegación denominado Galileo o Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS, lanzado en 2005, siendo este último hasta 5 veces más preciso que el GPS, alcanzando precisión de hasta 1 metro. (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005)

Tabla 1. Diferentes sistemas de posicionamiento global existentes. (Zans, 2017)

	GPS	GLONASS	GNSS
<i>País</i>	Estados Unidos	Rusia	Unión Europea
<i>Satélites</i>	24	24	30
<i>Altura orbita</i>	20,200 km	19,100 km	23,222 km
<i>Precisión</i>	3-15 m	6 m	1 m
<i>Lanzamiento</i>	1978	1982	2005



## 4.7 TRABAJOS RELACIONADOS

Buscando en la tienda de aplicaciones de Android, Google Play, se encuentran un conjunto de aplicaciones que permiten realizar tareas similares a la propuesta en este trabajo, pero no tienen la funcionalidad completa, la mayoría solamente realizan la recolección de datos y otras pueden ser utilizadas con las estaciones totales, siendo importante mencionar que algunas de ellas son aplicaciones con costo y ofrecen una versión gratuita, pero con funcionalidad limitada.

A continuación, se enlistan algunos de los principales productos encontrados en las tiendas de las dos principales plataformas y una comparación de sus características.

*Tabla 2. Aplicaciones existentes.*

NOMBRE	SISTEMA	CAPTURA	MEDICIÓN	CURVAS	PERFIL	MODELO	EXPORTA
Topografía APP	Android	x	x				x
GPS Fields Area Measure	Android	x	x				
Mobile Topographer Free	Android	x	x				x
Total, station topo survey	Android	x	x				x
Elevation Profile	Android				x		
Droid Topography	Android	x		x		x	
Mídelo	i OS	x	x				
TcpGPS	i OS	x	x				
Planimeter	I OS	x	x				x
*Topo Survey 3D	Android	x	x	x	x	x	x

- Topo Survey 3D, es la aplicación propuesta, desarrollada en este trabajo de tesis, la cual cumple con todos los puntos marcados en la tabla anterior.

## 5 ESTADO DEL ARTE.

En el aspecto topográfico, las tecnologías de percepción remota, el uso de sensores de alta precisión y la aplicación de herramientas de software especializado permiten obtener resultados altamente precisos, pero que requieren de grandes volúmenes de datos, grandes capacidades de procesamiento y de equipos de alto rendimiento para su correcta visualización.

Existen aspectos que se deben mencionar para poder entender de manera apropiada las tecnologías, disciplinas y conocimientos que implica el trabajar con información geográfica, con datos de superficie del terreno y para entender los problemas de exactitud y precisión de los cálculos realizados. Estos temas son:

- Proyección cartográfica.
- Sistemas de coordenadas.
- Sistemas de posicionamiento global.
- Levantamientos topográficos.
- Equipos para realizar levantamientos topográficos.
- Sistemas de percepción remota.
- Software especializado.
- Métodos de interpolación para calcular curvas de nivel.
- Dispositivos móviles, características de procesamiento.
- Dispositivos móviles, tipos de sensor de ubicación.
- Aplicaciones existentes en el mercado.
- Métodos para graficar en 3D.

Cada una de estas tecnologías tiene avances significativos, que hacen que sean más precisas y ofrezcan resultados de mayor calidad, por lo cual es necesario conocer las características más actuales y novedosas de cada uno de los temas relacionados con el desarrollo del proyecto.

Todos estos avances tecnológicos ayudan a evitar errores que se originan principalmente debido a la forma de la tierra que no es necesariamente la de una esfera perfecta y recibe el nombre de geoide.

La Geodesia es la ciencia que se encarga del estudio y la determinación de la forma y dimensión del planeta Tierra, además de su campo gravitacional y de sus variaciones temporales, es especialmente importante para la determinación de posiciones de puntos sobre la superficie del planeta, esto incluye también la orientación de la Tierra en el espacio.

En el estudio de la geodesia, la superficie matemática de la Tierra recibe el nombre de geoide, que es la superficie equipotencial en el campo de la gravedad terrestre que se toma como cota cero. Mientras que para realizar cálculos matemáticos en la superficie del planeta se utiliza un elipsoide de referencia, que sirve para realizar triangulaciones mediante la implementación de medidas de ángulos y distancias. (Lerma, 2012)

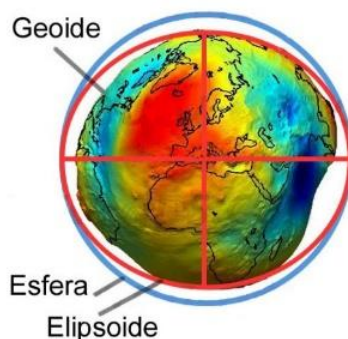


Ilustración 11. Forma de la tierra. (Cosas que ocurren en un elipsoide llamado tierra., 2015)

## 5.1 PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA.

Una proyección cartográfica es un sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la tierra y los de la superficie plana, estos puntos se localizan mediante la red de meridianos y paralelos en forma de malla.

Cada proyección debe satisfacer una serie de requisitos:

- Mantener la escala.
- Preservar las áreas.
- Conservar la forma.
- Exactitud en las direcciones.

Dado que ninguna proyección cumple con los 4 requisitos de manera simultánea la selección de una u otra depende del propósito y tipo de mapa en el que se va a utilizar. Se considera que las superficies empleadas para la proyección tocan la superficie de la tierra en forma tangente, o la cortan en cualquier lugar y que el centro de proyección esta igualmente en cualquier sitio, aunque en la mayoría de las proyecciones actuales es el centro de la tierra.

Las principales proyecciones según la forma en la que se basan son:

1. **Cónicas.** el centro de proyección sigue siendo el centro de la Tierra, pero el plano de proyección es ahora la superficie interna de un cono tangente a la esfera, como si se introdujera una pelota dentro de un vaso cónico de papel.

2. **Cilíndricas.** El centro de la tierra es el centro de proyección y el plano de proyección es la superficie interna de un cilindro tangente a la superficie, algo así como introducir una pelota dentro de un tubo.
3. **Acimutales.** Se utiliza como plano de proyección una superficie plana tangente a la superficie del esferoide en un punto dado, solamente que ahora el centro de proyección puede estar en distintas posiciones.

Aunque también existen las neutras o convencionales, diseñadas para satisfacer requisitos específicos de presentación a escalas muy pequeñas. (INEGI, Proyecciones cartográficas, 2015)

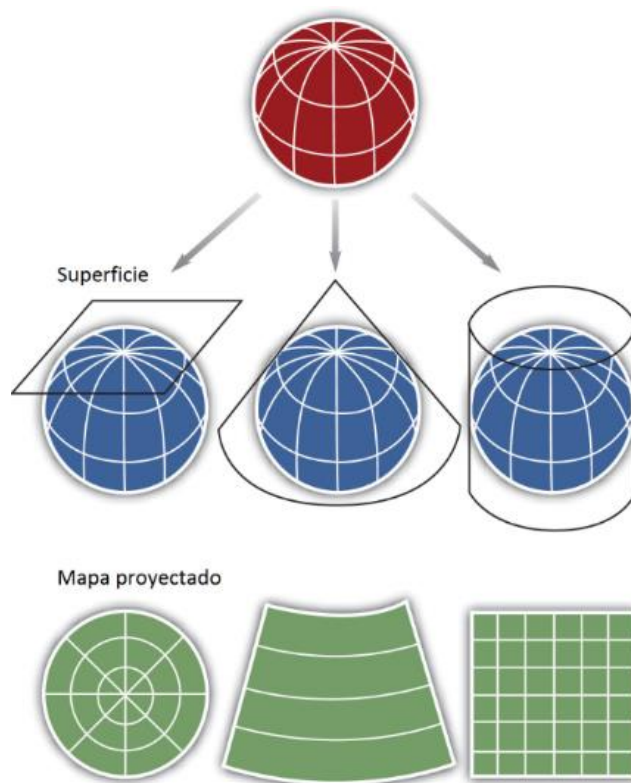


Ilustración 12. Tipos de proyecciones. (INEGI, Proyecciones cartográficas, 2015)

## 5.2 SISTEMA DE COORDENADAS UNIVERSAL TRASVERSAL DE MERCATOR (UTM).

La proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), es una representación cilíndrica del globo terrestre, se basa en la proyección Mercator haciendo una proyección de la Tierra sobre un cilindro tangente a los meridianos en lugar de hacerla sobre un cilindro tangente al ecuador.

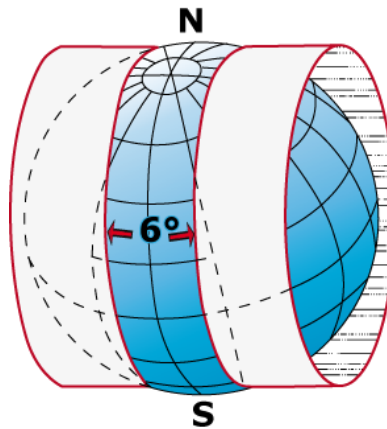


Ilustración 13. Representación de la proyección UTM. (Hansen, 2015)

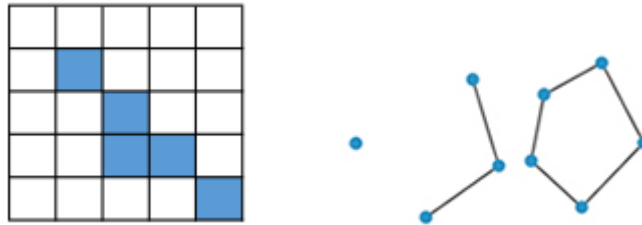
Es un sistema cilíndrico transverso conforme, conserva los ángulos y el eje de la Tierra es perpendicular al eje del cilindro, tangente al globo terráqueo a lo largo de un meridiano, que se elige como meridiano de origen, meridiano de Greenwich, o ligeramente secante según dos círculos en planos próximos y paralelos. Debido a que la distorsión de la proyección aumenta en función de la distancia al meridiano tangente si se aplica a grandes extensiones de longitud, nos vamos alejando del meridiano de origen, lo cual causa deformaciones considerables, llegando a alcanzar cerca de los polos una distorsión excesiva. (Hansen, 2015)

Para eliminar al máximo la distorsión consta de un conjunto de coordenadas planas, que cubren la superficie de la tierra comprendida entre los 80º de latitud sur y los 84º de latitud norte, según lo dispuso recientemente la UGGI (Unión Geodésica y Geofísica Internacional). Esta superficie se divide en 60 porciones denominadas husos o zonas iguales de 6 grados de longitud, con la cual resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central que van numerados del 1 al 60 (la deformación es mínima en las zonas cercanas al meridiano central). Al tratar a los husos de forma individual, la distorsión es inferior al 0.04%. (Hansen, 2015)

La proyección UTM no se emplea sólo para representaciones cartográficas, sino también para el sistema de coordenadas UTM, un sistema de coordenadas geográficas alternativo al empleo de Latitud y Longitud. Una de sus ventajas es que sus magnitudes se expresan en metros, en vez de medidas angulares cuya dimensión lineal puede variar. (Hansen, 2015)

### 5.3 MODELOS DE REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA.

La mayoría de los elementos existentes en la superficie del planeta pueden ser representados de dos maneras principales, la primera de forma vectorial, mediante el uso de puntos, líneas y polígonos, la otra mediante un sistema de celdas que almacenan información, estos últimos llamados **ráster**, en base a esto se puede clasificar a los SIG en dos modelos principales: vectorial y ráster.



*Ilustración 14. Modelo ráster y vectorial.*

Un modelo ráster se basa en una división sistemática del espacio, la cual cubre todo este caracterizándolo como un conjunto de unidades elementales o celdas y para cada una de estas se recoge la información pertinente que la describe. Aunque la malla de celdas puede contener información sobre varias variables, lo habitual es que trate una única variable. Es decir, que se tenga un único valor para cada una de las celdas.

Mientras que el vectorial representa todos los elementos de la superficie del planeta utilizando figuras geométricas, basándose principalmente en puntos, líneas y polígonos.

Las dos maneras más comunes utilizadas para obtener información geográfica en formato ráster son la fotografía aérea y las imágenes de satélite. A este método de captura de datos se le conocen como teledetección o percepción remota. (Tomlinson, 2008)

## 5.4 ESCALAS DE MAPA Y VISUALIZACIÓN.

Los elementos en la superficie del planeta se pueden visualizar en un mapa en diferentes tamaños o niveles de detalle, para ello existen las escalas cartográficas, una escala es la relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las de la visualización del mapa que representa la realidad. Es la relación de proporción que existe entre las medidas de un mapa con las originales, por ejemplo 1:1000 significa que 1 cm del mapa equivale a 1 km en la realidad.

Hoy en día la mayoría del software GIS contiene herramientas de escala dinámicas, permitiendo visualizar los objetos y el espacio a escala real, escala reducida o a una escala ampliada. (ArcGIS Help, 2015)

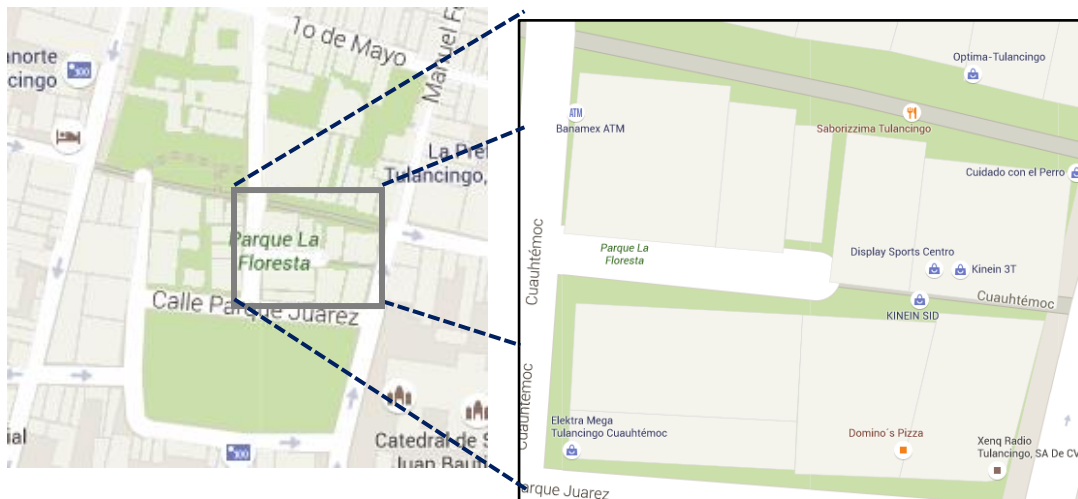
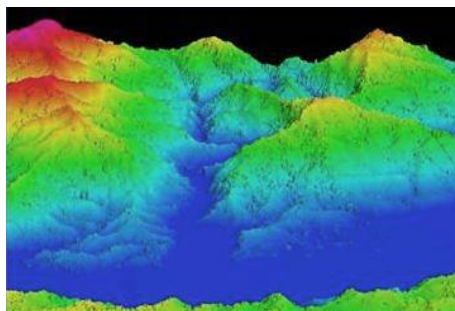


Ilustración 15. Escala de mapa reducción 1:50 a), 1:10 b).

## 5.5 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo Ráster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)



*Ilustración 16. Modelo digital de elevación. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)*

El **INEGI** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) actualmente trabaja con 3 métodos para la generación de los modelos de elevación, cada uno de estos requiere de equipo y conocimientos específicos, estos métodos son:

**Generación a partir del método fotogramétrico de correlación cruzada:** Esta técnica se basa en la comparación de imágenes digitales a partir de pares estereoscópicos de fotografías aéreas digitalizadas.

En este método se extraen imágenes homólogas digitales de ambas fotografías, izquierda y derecha, que subsecuentemente se correlacionan por medio de su información radiométrica con valores en escala de grises, para así determinar áreas homólogas. De esta manera el proceso de correlación proporciona el ajuste necesario del cual proporcionará valores de elevación para una serie de puntos.

Los modelos generados por este método pueden ser de superficie, que incluyen vegetación y construcciones o del terreno con una resolución de 15 metros, exactitud de 3 metros y la cobertura territorial representada en el modelo es la correspondiente a la escala cartográfica 1: 20,000.



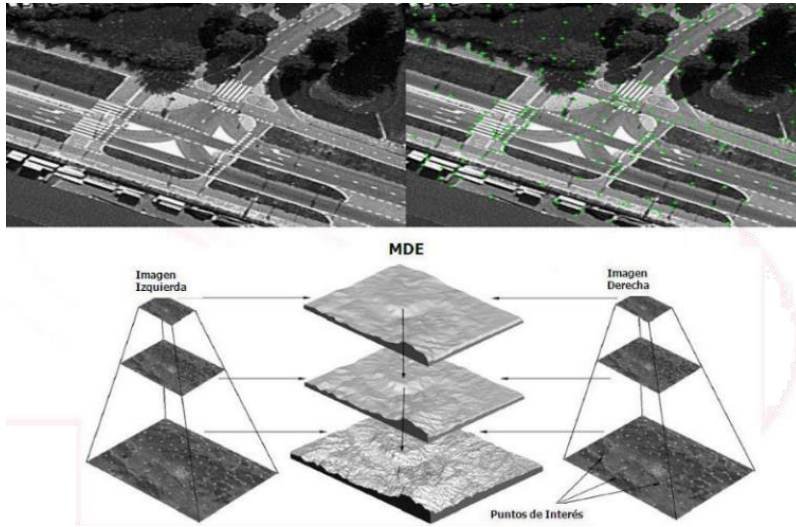


Ilustración 17. Método fotogramétrico. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)

**Tecnología LiDAR** acrónimo en el idioma inglés de Light Detection and Ranging, que en español es “Detección y Medición a través de la Luz”, LiDAR es la combinación de tecnologías diseñadas para la obtención de coordenadas tridimensionales (X, Y, Z), de puntos del terreno mediante un telémetro láser montado en un avión.

A partir de estos datos llamados “Nube de puntos LiDAR” se pueden elaborar modelos digitales de elevación de alta resolución sub métricos, tanto del terreno como de la superficie del mismo (objetos naturales o artificiales).

Comparado con los métodos tradicionales la exactitud, mejor detalle y los tiempos de respuesta en la obtención de los resultados (oportunidad) son variables a considerar al momento de elegir la tecnología LiDAR como fuente de obtención de datos de elevación.

Los modelos generados mediante esta tecnología tienen una cobertura territorial disponible correspondiente a la escala cartográfica 1:10,000 y 1: 20,000, y pueden tener una resolución de 1 a 15 metros, con exactitud de 15 a 90 centímetros dependiendo de las características de planeación y ejecución del vuelo para la captación de los datos. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)

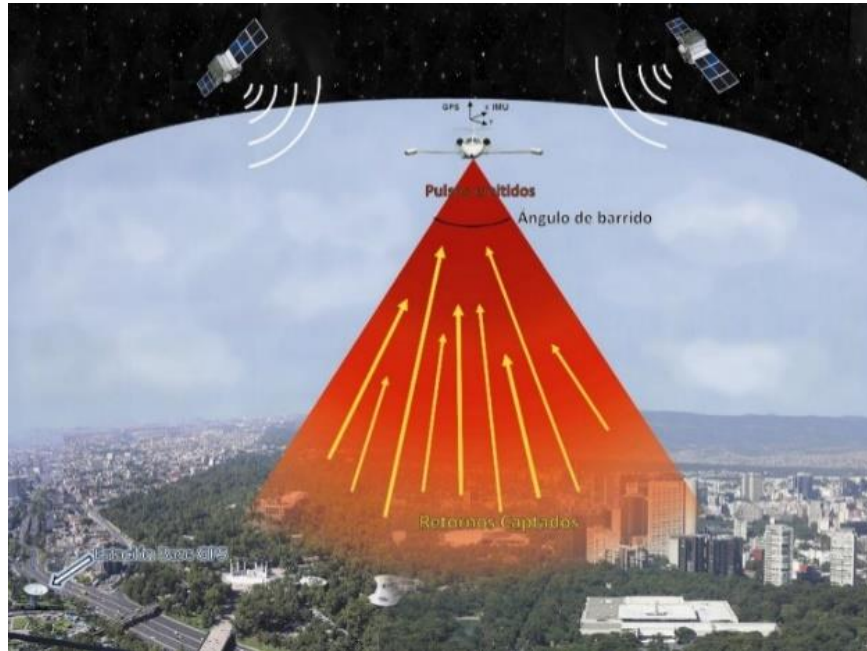


Ilustración 18. Captura de LiDAR. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)

**Digitalización de cartografía topográfica:** Los mapas topográficos proporcionan información acerca del relieve del terreno, dicha información viene en forma de curvas de nivel y puntos de altura, la opción de digitalizar las curvas y aplicar un algoritmo de interpolación produce un Modelo Digital de Elevación de tipo terreno con buena calidad.

Los modelos generados por este método tienen una resolución de 10 a 100 metros con exactitudes de 8 a 100 metros, tanto la resolución como la exactitud depende de la escala cartográfica de la información fuente utilizada para generar el modelo y la cobertura territorial representada en este tipo de modelos es la correspondiente a la escala cartográfica a 1: 50,000, 1: 250,000, 1:1'000,000. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)

## 5.6 PRECISIÓN DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

Actualmente existen diversos sistemas de posicionamiento global que permiten determinar la ubicación de un elemento sobre la superficie de la tierra, proporcionando mediante triangulación, datos relacionados a la altitud, latitud, longitud y velocidad.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los principales sistemas de posicionamiento global y sus precisiones promedio utilizando receptores comunes.

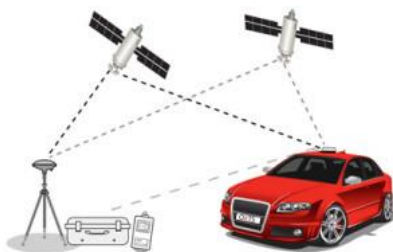
*Tabla 3. Sistemas de posicionamiento global. (Zans, 2017)*

SISTEMA	DESARROLLADOR	PRECISIÓN.
GPS	Estados Unidos	3 m.
DGPS	Estados Unidos	10 cm.
GLONASS	Rusia	6 m.
Galileo	Unión Europea	1 m.
COMPASS	China	Menor a 10 m.

Hoy día existen diversos equipos receptores que varían según su precisión, estas pueden ser: 2 a 5 metros, 1 a 3 metros, Sub métrico, Sub pie y deci-métrico, cabe mencionar que todos tendrán esta precisión después del postproceso, esto quiere decir que la precisión que alcanzarán será después de bajar los datos tomados en campo y procesados con los datos de una base GPS. (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005)

## 5.7 GPS DIFERENCIAL.

El GPS diferencial o DGPS es un avance de la tecnología que intenta mejorar la precisión en tiempo real de la ubicación de los elementos sobre la superficie de la tierra, este sistema complementa a los satélites con una serie de bases estacionarias que ayudan a realizar la corrección de los posibles errores al momento de realizar el cálculo de la posición. Pudiendo proporcionar una exactitud en las ubicaciones incluso menores a los 10 cm.



*Ilustración 19. DGPS utiliza satélites y estaciones terrestres. (OXTS, 2015)*

El **INEGI** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), actualmente cuenta con una red de estaciones de referencia que se pueden utilizar para mejorar los resultados de las lecturas de un GPS, esta red tiene el nombre de Red Nacional Geodésica Activa (RNGA) y es un conjunto de estaciones de monitoreo de datos de GPS que están distribuidas estratégicamente en el país y proporcionan servicios de posicionamiento geodésico a los usuarios mediante datos en línea. (INEGI, Red Geodésica Nacional Activa, 2015)



Ilustración 20. Cobertura de la RNGA. (INEGI, Red Geodésica Nacional Activa, 2015)

## 5.8 PRODUCTOS DE PERCEPCIÓN REMOTA.

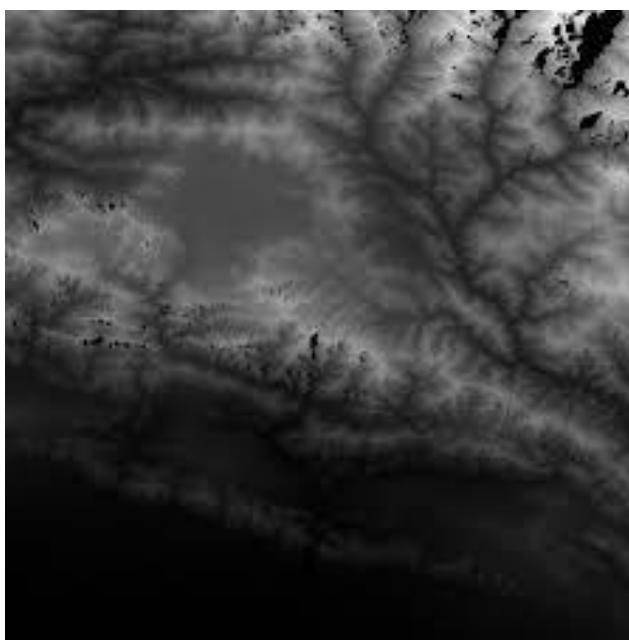
Existen organizaciones que se especializan en la captura de imágenes satelitales con diferentes tipos de sensores y que comercializan imágenes Ráster con características muy particulares, Digital Globe en una de estas empresas.



Ilustración 21. Logo de Digital Globe. (Digital Globe, 2015)

Esta empresa proporciona a sus usuarios imágenes entre las que se pueden mencionar son las “Advanced Elevation Series”, que son modelos digitales de elevación y de superficie que se pueden

adquirir en formato TIFF, las cuales pueden servir para desarrollar análisis con software especializado en manejo de este tipo de imágenes.



*Ilustración 22. Modelo de elevación. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015)*

El INEGI también tiene disponible un compendio de información topográfica y de relieve que puede ser consultado de manera gratuita para generar ciertos tipos de proyectos. Además de que cuenta con un portal web que permite realizar la consulta y visualización de la información, permitiendo aplicar filtros por tema, estado o ciudad de interés, esto para hacer una búsqueda rápida y eficiente.

En el INEGI existen los siguientes servicios con cobertura nacional.

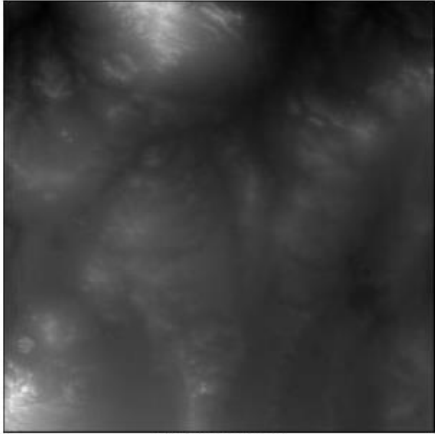
- Continúo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0).
- Modelos digitales de elevación.
- Modelos Digitales de Elevación LiDAR.

Otra plataforma que proporciona información digital es ASTER, (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un instrumento para obtener imágenes de alta resolución que se encuentra instalado en un satélite orbitando alrededor de la tierra. Y es un proyecto mantenido por la NASA y el ministerio de economía de Japón METI.

Este instrumento proporciona muy buenos productos de percepción remota debido a las características de su tecnología, la cual permite capturar datos en alta resolución en 14 bandas, que van desde el rango visible hasta el térmico e infrarrojo, además de que proporciona capacidades para visualización en estéreo y creación de modelos digitales de elevación.

Los productos están disponibles para su adquisición en el sitio web de ASTER, <https://search.earthdata.nasa.gov/search>, propiedad de la NASA, el cual permite navegar en un mapa para seleccionar el área de interés y obtener la imagen satelital correspondiente. (NASA, 2018)

ASTGDEMV2\_0N23W103



Standard Browse

Data Set Attribute	Attribute Value
<a href="#">Entity ID</a>	ASTGDEMV2_0N23W103
<a href="#">Agency</a>	NASA/METI
<a href="#">Acquisition Date</a>	2011/10/17
<a href="#">Vendor</a>	NASA/METI
<a href="#">Map Projection</a>	GEOGRAPHIC
<a href="#">Sensor</a>	ASTER

*Ilustración 23. Ejemplo de un producto ASTER. (NASA, 2015)*

## 5.9 EQUIPOS RECEPTORES GPS.

En el ámbito de equipos receptores, la marca Trimble es una de las que se comercializan en México, y ofrece una gama muy completa de dispositivos, software y servicios para trabajar con información geoespacial, siendo uno de sus principales servicios la venta de dispositivos para coleccionar datos del GPS, estos dispositivos son en su mayoría de uso rudo y lo que varía es la precisión de cada uno de ellos. (GPS, 2019)

Los Trimble con receptor GPS que se encuentran en el mercado se muestran en la siguiente tabla de datos:

Tabla 4. Equipos GPS Trimble. (SIGSA, 2019)

NOMBRE	IMAGEN	RECEPTOR	PRECISIÓN
GEO 7X		GNSS/GPS	10 cm tiempo real
NOMAD TDC 100		GPS	2 a 5 m tiempo real
JUNO 5D		GPS	2 a 5 m tiempo real

## 5.10 SOFTWARE GIS.

Actualmente la plataforma de ArcGIS de la empresa ESRI, es una de las más completas del mercado, ofreciendo una gran gama de productos que van desde la creación y análisis de datos hasta la generación de tableros de información ejecutiva, todo esto para proporcionar una herramienta corporativa capaz de impactar transversalmente a cada una de las organizaciones que lo implementen.

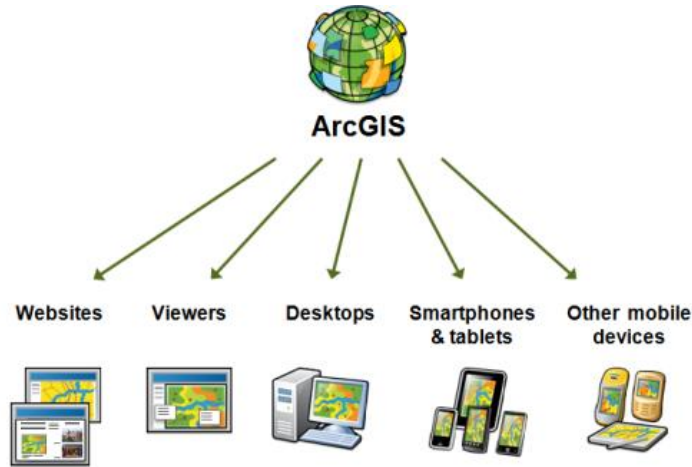


Ilustración 24. Plataforma integral ArcGIS. (ESRI, 2015)

En cuanto al manejo y análisis de información topográfica, existen productos que permiten realizar estos análisis de manera efectiva y con la capacidad de proporcionar una perspectiva más visual utilizando modelados en 3D entre ellos están:

- Arc Scene
- Arc Globe
- ArcGIS Pro

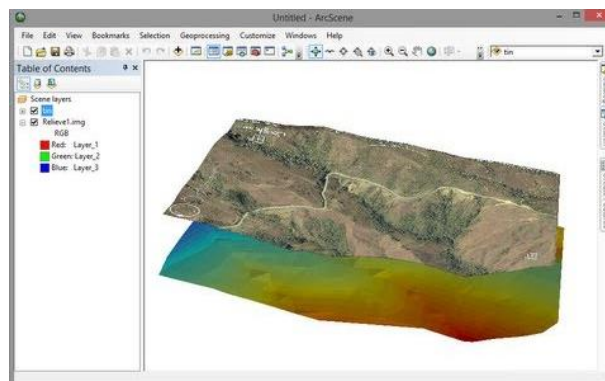


Ilustración 25. Arc Scene con información del terreno en 3D.



Arc Scene y Arc Globe han sido los productos de ArcGIS básicos para la visualización y consulta de información geoespacial en tres dimensiones, pero actualmente han lanzado una aplicación moderna llamada ArcGIS Pro, que permite de manera simultánea la visualización de la información en dos y tres dimensiones, esto para facilitar la realización de análisis e interpretación de los datos geográficos.

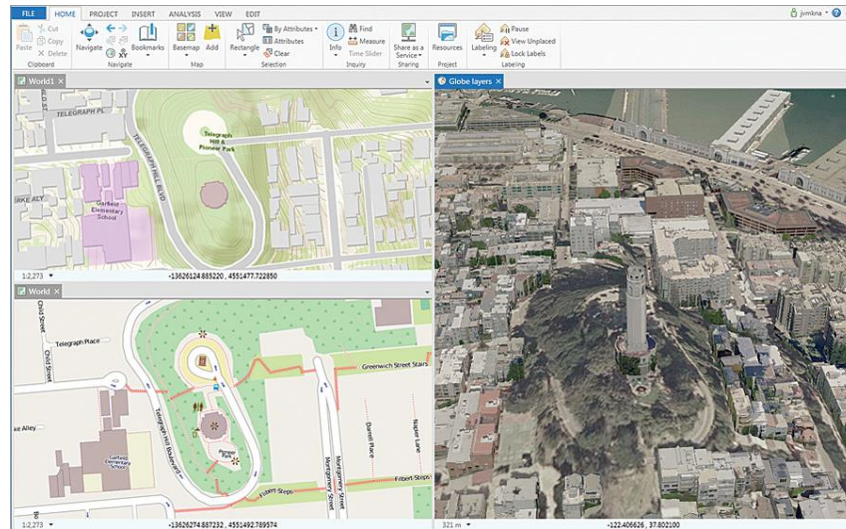


Ilustración 26. Pantalla de ArcGIS Pro.

Tomando como base los conceptos anteriormente expuestos, el sistema móvil que se trabaja dentro de este trabajo de investigación, deberá implementarlos de manera efectiva para ser capaz de trabajar con el sensor GPS, obtener las coordenadas de la ubicación del usuario, generar las curvas de nivel, el perfil del terreno y el modelo digital de elevación, todo esto utilizando un dispositivo móvil de características medianas.

Considerando que en el mercado existen productos muy especializados que requieren software avanzado y que, en el ámbito móvil, la mayoría de las aplicaciones existentes tienen limitaciones de funcionalidad o de diseño, el sistema móvil propuesto en este trabajo de tesis para el levantamiento y modelado topográfico cumple con los requerimientos y ofrece de manera completa los elementos necesarios en una aplicación de estas características. (ESRI, 2018)

## 6 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.

Para el desarrollo de la aplicación se seleccionó como primera plataforma al sistema operativo Android, esto debido a la cantidad de usuarios que utilizan este sistema móvil, que representa más del 90% de los dispositivos que existen en el país. (unocero, 2018)

A pesar de la fragmentación que tiene el sistema operativo Android, con el gran número de versiones diferentes, existe un claro dominio de un par de versiones del sistema operativo, siendo estas Marshmallow y Nougat, esto según datos del portal de noticias xatakandroid. (xatakandroid, 2018)

*Tabla 5. Versiones de Android y su distribución. (xatakandroid, 2018).*

<b>VERSIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>API</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>2.3.3 – 2.3.7</b>	Gingerbread	10	0.3
<b>4.0.3 – 4.0.4</b>	Ice Cream Sandwich	15	0.4
<b>4.1.x, 4.2.x, 4.3</b>	Jelly Bean	16,17,18	4.5
<b>4.4</b>	KitKat	19	10.5
<b>5.0, 5.1</b>	Lollipop	21,22	22.9
<b>6.0</b>	Marshmallow	23	26.0
<b>7.0, 7.1</b>	Nougat	24,25	30.8
<b>8.0,8.1</b>	Oreo	26,27	4.6

Para el desarrollo del sistema nativo para la plataforma Android se utiliza el editor de código fuente proporcionado por Google, llamado Android Studio versión 3.2.1, mientras que la versión del Android SDK utilizada es la numero 27, que corresponde a la versión 7.1 Nougat, este SDK es el que proporciona los componentes de desarrollo de la plataforma. Y es compatible con dispositivos que utilicen de la API 21 hacia arriba.

## 6.1 COMPONENTES UTILIZADOS.

Para el desarrollo del sistema de levantamiento y modelado topográfico se utilizaron componentes de terceros, esto para tener la capacidad de implementar la funcionalidad completa requerida por la aplicación, los componentes utilizados son:

*Tabla 6. Componentes externos para Android.*

<b>COMPONENTES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
ArcGIS Runtime SDK for Android	SDK de información geográfica para Android, desarrollado por ESRI como parte de la plataforma de ArcGIS.
SQLite	Manejador de bases de datos relacional para dispositivos móviles.
AndroidPlot	Librerías para la generación y definición de gráficas, componentes de distribución libre.
OpenGL ES	SDK de modelado y visualización de información en 3D especialmente desarrollado para dispositivos móviles.
Icons8.com	Iconos con licenciamiento gratuito distribuidos por el sitio icon8.com, bajo la licencia "Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported"

## 6.2 DISEÑO PRELIMINAR

En la etapa de diseño se determinó el desarrollo de una serie de pantallas que cumplirían con las funciones básicas de la aplicación, estas pantallas cubren sólo el aspecto operativo, pero no incluían el diseño de una interfaz de usuario o una gama de colores a utilizar. Cabe mencionar que para ambas aplicaciones se utilizó el mismo diseño de interface.

- Ventana 1. Esta pantalla inicial es la que contiene el menú general de la aplicación, en esta se muestra el título de la aplicación, así como las opciones para trabajar con los proyectos, estas opciones son: generar un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente y salir de la aplicación.
- Ventana 2. En esta pantalla se despliega el mapa sobre el cual se realiza el trabajo de campo, en este cuadro de trabajo se realiza la captura de puntos, así como el levantamiento de información, dando al usuario la posibilidad de visualizar los avances del trabajo directamente sobre el mapa.
- Ventana 3. La tercera ventana también muestra la vista de mapa, pero ahora se despliegan los resultados del análisis de la información en forma de curvas de nivel, en la cual se puede visualizar la información recolectada, así como los resultados del procesamiento de la misma, esto último en forma de las curvas de nivel.

Tabla 7. Diseño preliminar.



- Ventana 4. La ventana muestra una lista con los datos de los proyectos almacenados en el dispositivo, nombre del proyecto y fecha de creación, esta lista se muestra cuando el usuario requiere abrir un proyecto existente.

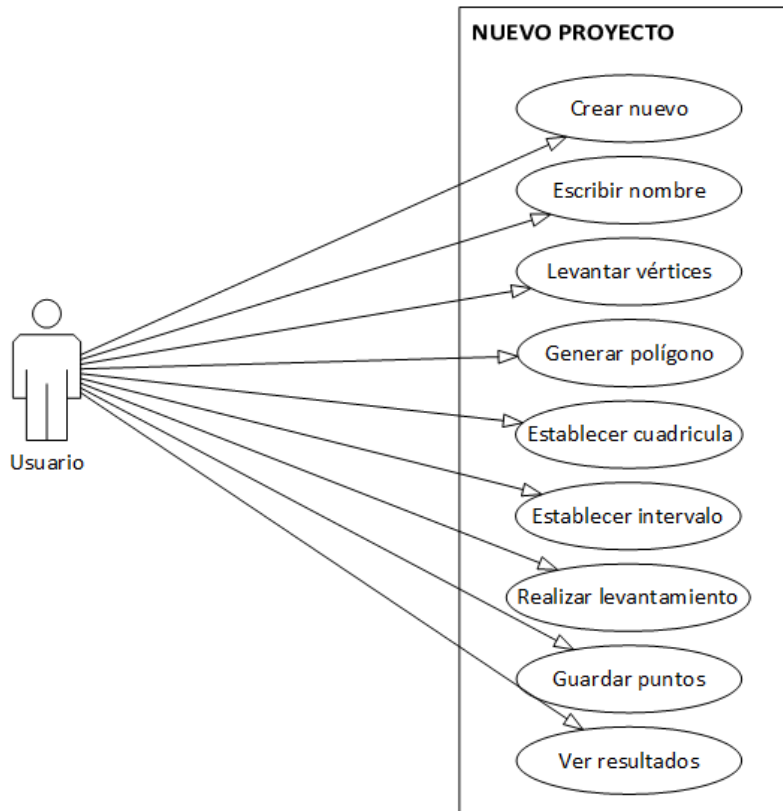
- Ventana 5. En esta pantalla se muestra la gráfica 2D que representa el perfil del terreno de una sección del terreno seleccionada previamente. En la cual se muestra como eje X el número de elementos capturados en esa sección del mapa y como eje Y las alturas en cada uno de los puntos.
- Ventana 6. En esta sección de la aplicación se despliega el grafico en 3D, en forma de una superficie tridimensional, la cual genera una gráfica las alturas capturadas en la zona de estudio, utilizando colores representativos un mapa de elevación.

*Tabla 8. Diseño preliminar.*



### 6.3 DIAGRAMA DE CASOS DE USO.

Un caso de uso es una descripción de la secuencia de interacciones que se producen entre un actor y el sistema, cuando el actor usa el sistema para llevar a cabo una tarea específica. Expresa una unidad coherente de funcionalidad, y se representa en el Diagrama de Casos de Uso mediante una elipse con el nombre del caso de uso en su interior. El nombre del caso de uso debe reflejar la tarea específica que el actor desea llevar a cabo usando el sistema. (Grady Booch, 2007)



*Ilustración 27. Caso de uso de nuevo proyecto.*

## 6.4 DIAGRAMA DE CLASES.

Representa la arquitectura de la aplicación, en la cual se muestran las clases existentes, así como los paquetes en los que están organizadas dentro de la estructura del proyecto en Android Studio, los diagramas de clases se pueden generar de manera automática mediante el uso del complemento de nombre "Code Iris". Este complemento para Android Studio está disponible dentro del editor de código fuente o en el sitio web de los complementos de "JetBrain", la dirección del sitio web es: <https://plugins.jetbrains.com/plugin/7324-code-iris>. (klewitz, 2019)

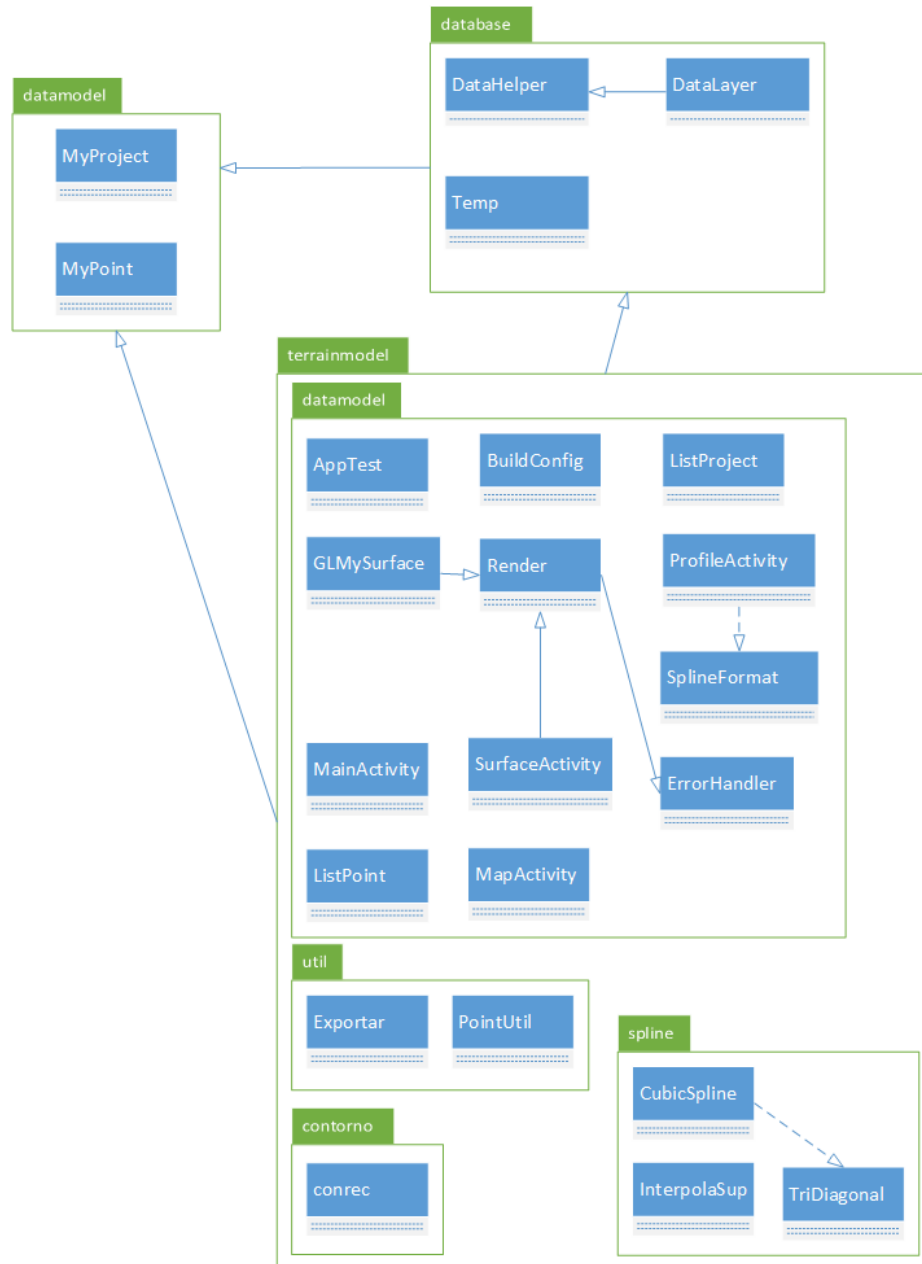


Ilustración 28. Diagrama de clases.

## 6.5 MODELO DE DATOS.

Para realizar el almacenamiento de los datos generados por la aplicación, se realizó la creación de una base de datos que queda almacenada dentro del dispositivo móvil, esta base de datos esta generada con SQLite y está formada por una serie de tablas que permiten almacenar y posteriormente consultar la información mediante consultas SQL.

Para la generación de este proyecto se utilizaron tres tablas de datos que permiten almacenar los elementos generados, estas tablas son: Proyectos, Vértices y Puntos. Los resultados del análisis no se almacenan, la aplicación realiza el cálculo de las curvas de nivel cada vez que se consulta un proyecto existente.

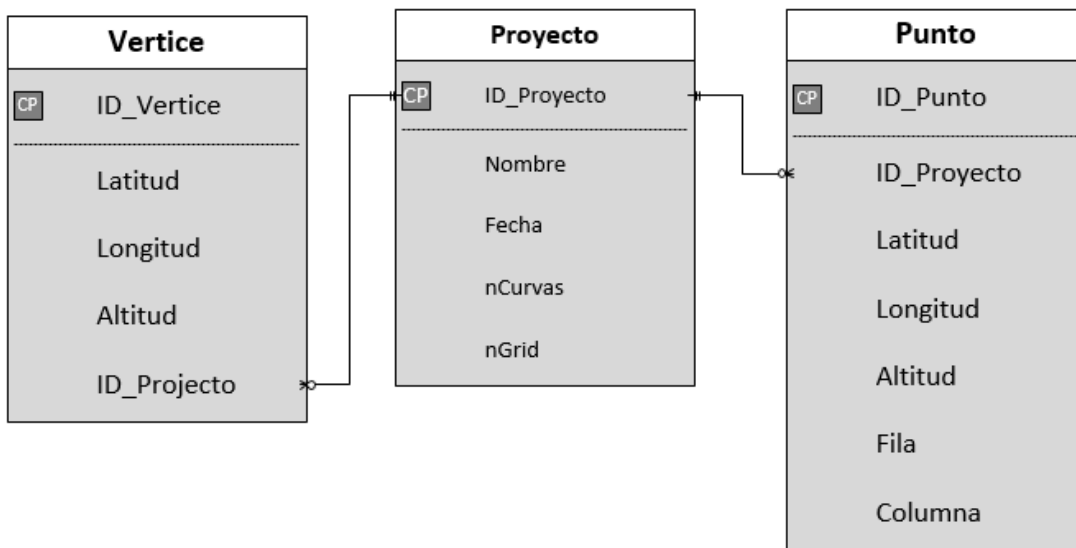


Ilustración 29. Modelo de datos.



## 6.6 MOBILE-D, COMO METODOLOGÍA DE DESARROLLO.

Para el desarrollo de la aplicación descrita en este trabajo, se utilizó una metodología de desarrollo ágil, llamada “Mobile-D”, la cual fue creada por el VTT de Finlandia, que es el Centro de Investigación Técnica de Finlandia, fue presentada en el evento “Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications” que se desarrolló en Vancouver, British Columbia, Canadá en Octubre del año 2004 (OOPSLA, 2004), y fue diseñado de manera muy estrecha con la industria y una participación importante de las empresas de TI. (VTT, 2004)

Se puede decir que Mobile-D es una mezcla de varias técnicas de desarrollo, pero al mismo tiempo consigue ser única y original para el nuevo escenario del desarrollo de aplicaciones para sistemas móviles. Está basada en *eXtreme Programming*, *Crystal Methodologies* y *Rational Unified Process*. (Abrahamsson, 2004)

Esta metodología está definida por 5 etapas generales, exploración, inicialización, producción, estabilización y pruebas.



Ilustración 30. Etapa de Mobile-D. (agile.vtt.fi, 2015)

- Exploración. Establecer plan del proyecto y conceptos básicos del mismo, definición de requerimientos.
- Inicialización. Preparar e identificar los recursos necesarios técnicos y de arquitectura, así como métodos y funciones necesarias.
- Producción. En esta etapa se realiza la programación de las funcionalidades planeadas, así como las pruebas básicas de las mismas.
- Estabilización. Se realizan las acciones necesarias para la integración de las funcionalidades, para garantizar que el sistema trabaja adecuadamente.
- Prueba del sistema. Esta etapa tiene como objetivo que se encuentren y soluciones defectos en el software, para poder liberar una versión completamente funcional.

## 6.7 DISEÑO ACTUAL DE LA APLICACIÓN.

Una vez realizado el desarrollo de las principales funciones e interfaces de la aplicación, surgió la necesidad de realizar un reordenamiento de elementos visuales, así como una nueva elección de iconos y colores, esto para crear una experiencia de usuario moderna y utilizando estilos adecuados a la actual generación de sistemas operativos móviles.

Resultando en una interfaz de usuario con colores claros e iconos vistosos pero ilustrativos que indican la función de las diferentes herramientas, esto ayuda a que el usuario pueda familiarizarse de manera rápida con la operación del sistema. La aplicación se divide en cuatro secciones que se describen a continuación:

- La primera correspondiente a la gestión de la aplicación y de los proyectos, permitiendo crear nuevos proyectos y consultar proyectos existentes.
- La segunda sección es la que corresponde a la realización del levantamiento topográfico, es decir, a la determinación del área de estudio mediante la recolección de sus vértices y al posterior levantamiento de los datos de elevación en los puntos determinados por la aplicación.
- La tercera etapa del proyecto es la correspondiente al cálculo y visualización de las curvas de nivel, desplegando las líneas sobre el mismo mapa sobre el cual se realizó el levantamiento topográfico.
- La sección esencial de este proyecto es la que tiene por objetivo la ejecución y visualización de los análisis realizados, estos resultados se dividen en tres elementos generados, el perfil del terreno, el modelo en tres dimensiones y las curvas de nivel.
- La última sección de la aplicación es la correspondiente al manual de usuario, en el cual se documentan los pasos que un usuario debe seguir para realizar el proceso de generación de un proyecto y además contiene la información de la versión de la aplicación y la opción para salir de la misma.

## 6.7.1 GESTIÓN DE PROYECTOS.

Esta sección del proyecto tiene las herramientas necesarias para la creación de un nuevo proyecto, la consulta de un proyecto existente para abrirlo en la aplicación. A continuación, se describen las pantallas principales.

- **Pantalla principal.** En esta pantalla se muestra el título de la aplicación y las opciones principales a las que el usuario tiene acceso. Estas opciones son generar un nuevo proyecto, abrir proyectos existentes, ayuda para mostrar el manual de usuario, el botón de acerca de para ver los datos de la versión y el botón de salir.
- **Nombre del proyecto.** Muestra un diálogo que solicita el nombre del proyecto, al momento de generar el proyecto, los datos se ingresan a la base de datos incluyendo la fecha y hora de creación.
- **Lista de proyectos.** Esta pantalla muestra los proyectos existentes en el dispositivo y permiten la selección de un elemento para poder realizar la consulta de la información referente al elemento seleccionado.

Tabla 9. Pantallas de la sección de gestión de proyectos.

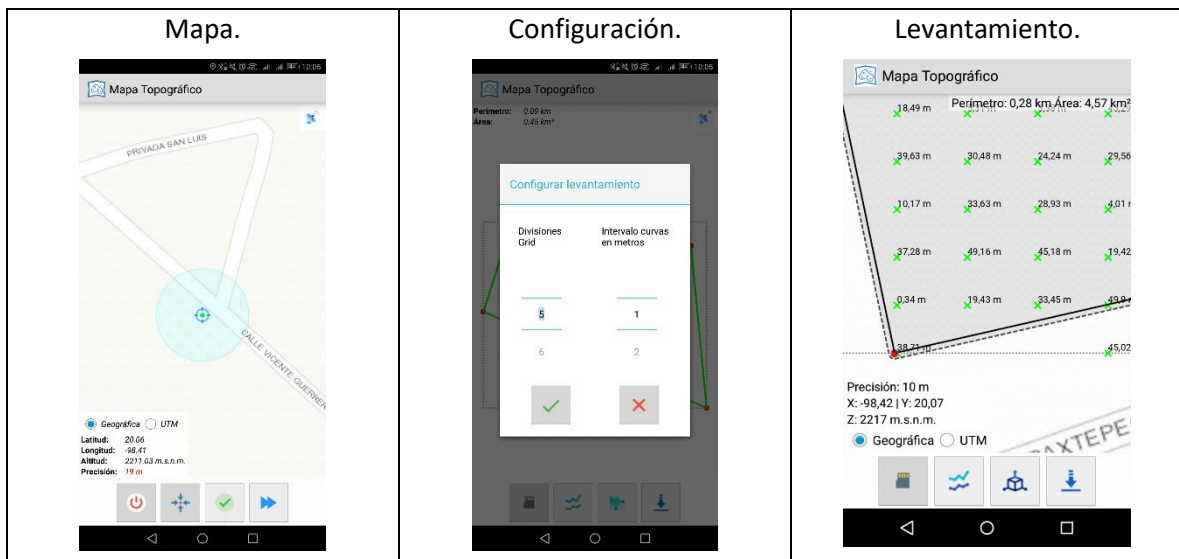


## 6.7.2 EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Esta sección de la aplicación es la que proporciona los mecanismos y métodos para realizar el levantamiento topográfico, mediante una serie de pantallas y una serie de herramientas que permiten trabajar de manera eficiente. A continuación, se describen las pantallas que intervienen en esta sección.

- **Mapa.** En esta pantalla se muestra un mapa, sobre el cual se realiza el levantamiento, además muestra las opciones que permiten realizar las diferentes actividades. Estas opciones son:
  - Activar el GPS, activa el sensor GPS del dispositivo.
  - Marcar un vértice del área de estudio en base a la posición actual del GPS.
  - Trazar el polígono de estudio y calcular área y perímetro de la misma.
  - Y avanzar a la sección para realizar el levantamiento.
- **Configuración.** Muestra un diálogo para configurar los datos del levantamiento, en esta pantalla se solicita el número de celdas en las que se dividirá el área de estudio, dividiendo el área de estudio en una rejilla con el mismo número de filas y de columnas y el intervalo de altura en el que se trazarán las curvas de nivel.
- **Levantamiento.** Esta pantalla muestra los puntos generados en color azul y durante el levantamiento se irán marcando de color verde y se les agrega una etiqueta con la altura computada en ese punto específico.

Tabla 10. Pantallas de la sección de levantamiento.



### 6.7.3 CURVAS DE NIVEL.

En cuanto el levantamiento geográfico está completo, se guardan los puntos en la base de datos, y posteriormente se realiza el cálculo de las curvas de nivel, estas curvas se despliegan sobre el mismo mapa en color rojo.

Debido a la funcionalidad del mapa, el usuario puede hacer acercamiento o alejamiento para visualizar de manera apropiada las geometrías generadas por la aplicación. Además de que para este punto el GPS del dispositivo ha quedado desactivado.



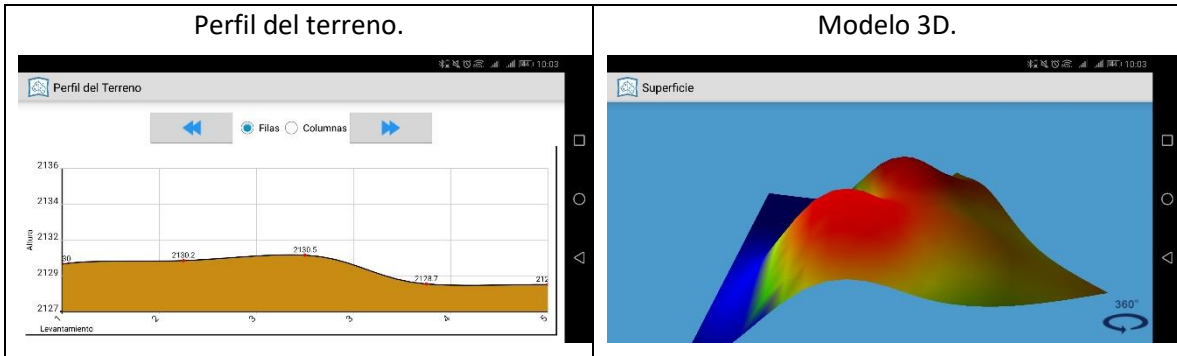
Ilustración 31. Curvas de nivel.

### 6.7.4 ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.

En esta sección de la aplicación se realiza el análisis de los datos para generar los productos de visualización, el primero son las curvas de nivel, el segundo es el perfil del terreno y el último es el modelo en 3D.

- **Perfil del terreno.** Esta pantalla muestra una gráfica de líneas, la cual representa las alturas en una fila de la rejilla de puntos. Esta pantalla permite ir cambiando entre las diferentes filas de puntos, una vez seleccionada la fila se obtienen las alturas correspondientes y se genera la serie para graficarla.
- **Modelo 3D.** En esta sección de la aplicación se muestra un modelo en 3D, en el cual se toman todas las alturas recolectadas y se genera la superficie con las alturas correspondientes, se establecen los colores en base a la altura de la zona, siendo la altura mayor de color rojo y las alturas menores de color verde.

Tabla 11. Pantallas de resultados del análisis.



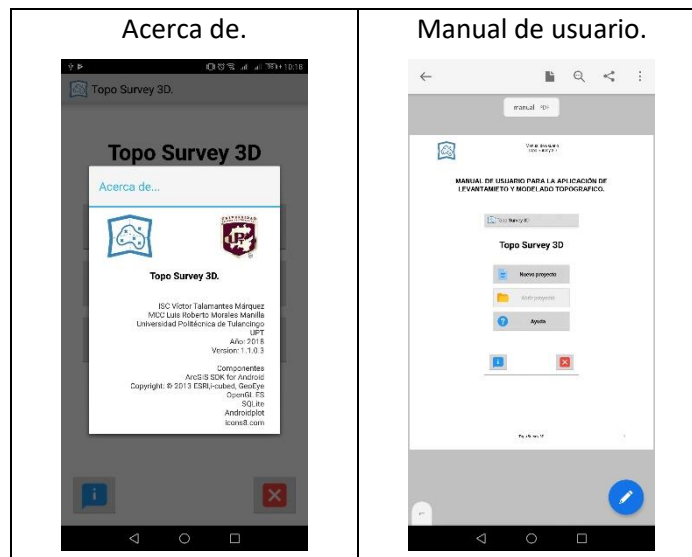
### 6.7.5 MANUAL DE USUARIO Y ACERCA DE.

Las últimas pantallas son las correspondientes al manual de usuario y a los datos de acerca de, que contienen un documento de ayuda para que el usuario se familiarice con las funciones de la aplicación y una lista de los componentes utilizados, así como de los datos del desarrollo.

La descripción de las pantallas se muestra a continuación:

- **Acerca de.** Muestra los datos de la aplicación, título, versión, desarrolladores, año y componentes utilizados. Se dan los créditos a las herramientas de terceros utilizadas, al origen de los iconos utilizados y a los mapas de fondo utilizados.
- **Manual de usuario.** Abre un documento en formato PDF, que contiene las instrucciones de uso de la aplicación.

Tabla 12. Sección de ayuda y acerca de.



## 6.8 DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES PRINCIPALES DE LA APLICACIÓN.

Las principales actividades que realiza la aplicación son: generar proyecto, abrir proyecto, realizar el levantamiento, calcular curvas de nivel, mostrar perfil del terreno y mostrar el modelo 3D. En esta sección se describen estas actividades, así como su funcionamiento interno.

### 6.8.1 GENERAR UN NUEVO PROYECTO.

La aplicación cuenta con las opciones para generar nuevos proyectos y para abrir proyectos existentes y almacenados en el dispositivo, la información queda almacenada en una base de datos de **SQLite**, la cual queda guardada en el equipo móvil, esta base de datos se elimina al momento de desinstalar la aplicación.



Ilustración 32. Principales opciones de la aplicación.

Después de seleccionar un nuevo proyecto, la aplicación solicita el nombre para guardar el proyecto e inmediatamente después muestra el mapa en el cual se realiza la captura y visualización de la información. En la base de datos interna, los datos del proyecto incluyen un identificador único, la fecha y hora de creación del proyecto.

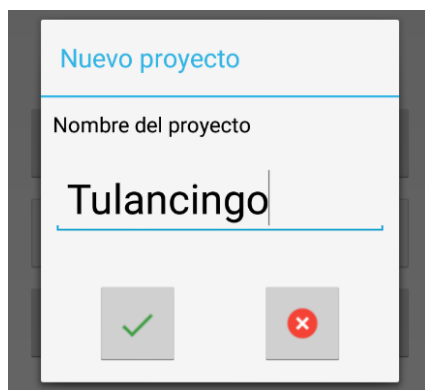
A form titled 'Nuevo proyecto' with a text input field labeled 'Nombre del proyecto' containing the text 'Tulancingo'. Below the input field are two buttons: a green checkmark button and a red 'X' button.

Ilustración 33. Formulario para capturar nombre del proyecto.

### 6.8.1.1 MARCAR LOS VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Para poder marcar y determinar los vértices del área de estudio, el sensor GPS del dispositivo debe proporcionar una precisión menor o igual a 3 metros, que en la mayoría de los dispositivos es la precisión mínima alcanzada. En caso de no contar con tal precisión, el dispositivo permanece a la espera de una mejor precisión. En caso de no estar en el rango necesario se muestra una alerta de “Esperando a mejorar la precisión.” Y no se permite el levantamiento del vértice.

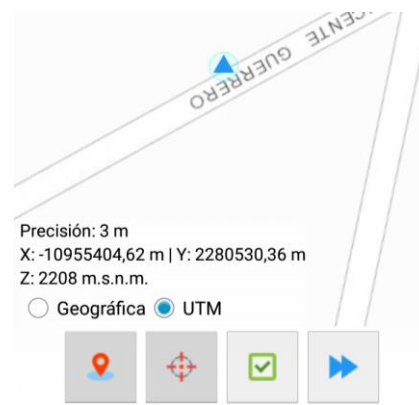


Ilustración 34. GPS activado en la aplicación.

Una vez que la ubicación del usuario esta mostrada en la aplicación, el botón para realizar la captura de los vértices queda activado y se pueden comenzar a agregar los puntos. Y para que el usuario pueda tener a la mano los datos de su ubicación se despliega en pantalla los datos básicos del GPS, que en este caso son: Precisión, Latitud, Longitud y Altura.



Ilustración 35. Levantamiento de vértices.



### 6.8.1.2 CALCULAR ÁREA Y PERÍMETRO DEL TERRENO DE ESTUDIO Y DELIMITARLO EN EL MAPA.

Una vez que se tienen los vértices, la aplicación muestra los puntos levantados en una lista para confirmar el levantamiento de vértices realizado, el siguiente paso consiste en delimitar el área de estudio mediante la generación de un polígono cerrado uniando los vértices recolectados en la etapa anterior.

Adicionalmente a la generación del polígono, se realiza el cálculo del perímetro y el área de la zona de estudio, datos que se muestran en la parte superior derecha de la pantalla. También calcula el recuadro que contiene al polígono completo, este recuadro se muestra en color gris, utilizando una línea punteada, este polígono es utilizado en el paso siguiente para realizar la división del área de estudio y marcar los puntos necesarios para generar el modelo del terreno.

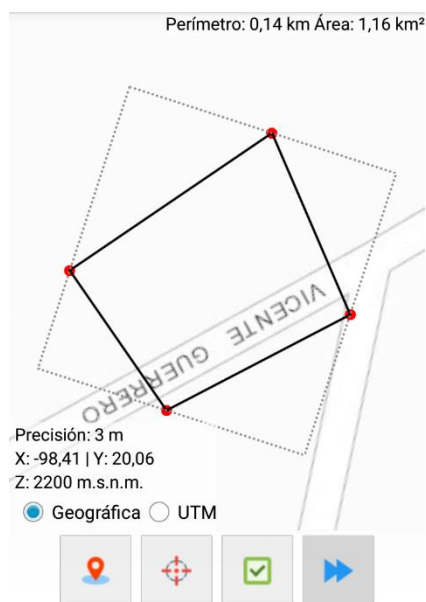


Ilustración 36. Límites del área de estudio.

Todas estas operaciones de visualización de mapas, despliegue de información de ubicación y creación de polígonos y otros elementos gráficos, así como la medición y las operaciones geográficas, son soportadas por el ArcGIS SDK para Android.

Mientras que el almacenamiento de información y la posterior consulta es posible gracias a la implementación de SQLite en la aplicación móvil.

### 6.8.1.3 ESTABLECER LAS CARACTERÍSTICAS DEL LEVANTAMIENTO.

El siguiente paso es determinar los datos para el levantamiento y el cálculo de las curvas de nivel, para esto la aplicación requiere un par de datos que son solicitados en un formulario, estos datos son:

1. El número de celdas en las que se dividirá el área de estudio.
2. Y el intervalo de altura para el cálculo de las curvas de nivel.



Divisiones Grid	Intervalo Curvas
4	4
5	5
6	6

Ilustración 37. Configuración del levantamiento.

Con los datos del número de divisiones, se generan una serie de marcas en el mapa, para esto se obtiene el ancho y alto de la zona de estudios, se dividen entre el valor que el usuario seleccionó, esto para tener una serie de puntos equidistantes sobre todo el terreno.

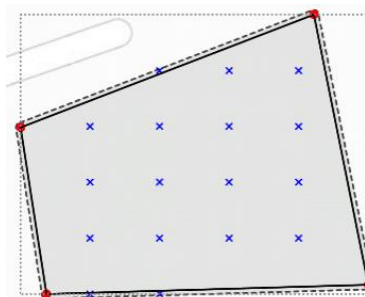


Ilustración 38. Puntos para realizar el levantamiento.

En pantalla no se muestran todos los puntos debido a que se realiza una operación que permite seleccionar únicamente los puntos que están dentro del área de estudio o cerca de los bordes del mismo, tomando como margen los que se encuentran a menos de un metro de distancia de los bordes del polígono.

#### 6.8.1.4 REALIZAR EL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Después de establecer los valores de configuración, en el mapa se muestra la división del área de estudio en una cuadrícula marcada con puntos de color azul y de nuevo se muestra el triángulo de color azul, que representa la ubicación actual del usuario.

El levantamiento de datos debe realizarse desplazándose por el terreno de estudio, pasando lo más cerca posible de cada uno de los puntos, en cuanto se obtenga la altitud de un punto, este cambia de color y muestra una etiqueta con el valor de la altura registrado.

En este paso, el GPS también debe obtener una precisión de por lo menos 3 metros, de lo contrario el usuario tiene que esperar hasta que las condiciones de recepción mejoren.

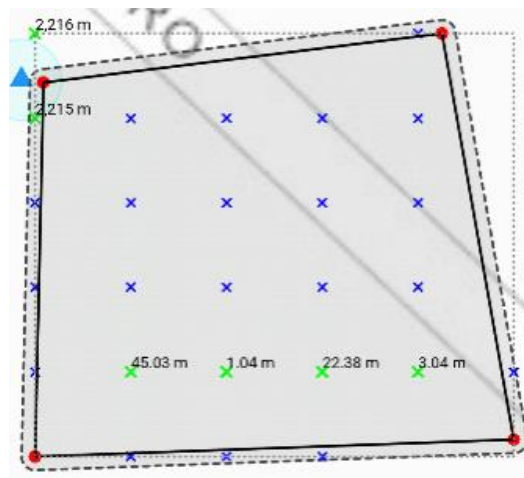


Ilustración 39. Levantamiento de datos en campo.

El usuario determina cuando ha levantado suficientes puntos y puede dar por concluido el proceso de levantamiento en cualquier momento mediante la opción de guardar puntos, que para este paso es la única opción disponible en la aplicación.

### 6.8.1.5 CÁLCULO DE LAS CURVAS DE NIVEL.

Después de terminar con el levantamiento de todos los puntos, se puede proseguir a guardar los puntos del proyecto en la base de datos de la aplicación y calcular las curvas de nivel utilizando el conjunto de valores capturado. Esto mediante la implementación de un algoritmo de muy bajo costo computacional, como lo es el algoritmo *conrec*.

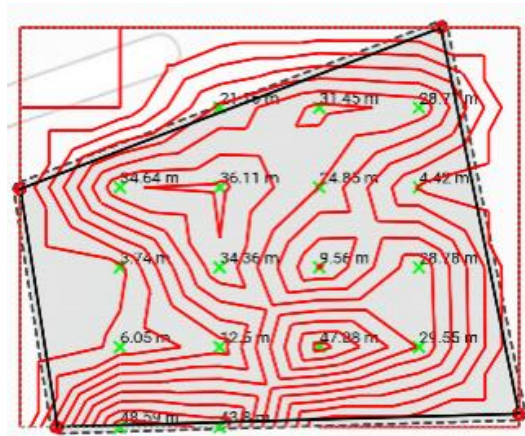


Ilustración 40. Curvas de nivel.

### 6.8.1.6 ALGORITMO CONREC PARA CURVAS DE NIVEL.

Para realizar el cálculo de las curvas de nivel se implementó el algoritmo “CONREC”, descrito por Paul Bourke en Julio de 1987. Esta subrutina consiste en calcular las coordenadas por donde pasa la curva de nivel y basa su eficiencia y simplicidad en la selección de únicamente 4 puntos en cada iteración, además de calcular el punto central. El algoritmo devuelve los puntos por donde pasaría una curva de nivel, con la cual se genera la línea y se despliega en la aplicación. (Bourke, 1987)

#### 6.8.1.6.1 SUBROUTINA CONREC.

Para realizar el trazo de un contorno es necesario describir la superficie y la altura de los contornos que se van a dibujar. Con esta información el software ejecuta el algoritmo que calcula los segmentos de línea que forman la curva de nivel para después imprimir los segmentos de línea.

La subrutina CONREC satisface la descripción anterior, es relativamente simple de implementar, muy confiable, no requiere técnicas complicadas de programación o un nivel elevado de matemáticas para entender cómo funciona. (Bourke, 1987)

Los parámetros de entrada de la subrutina CONREC son:

1. El número de puntos horizontales y verticales. "iub" y "jub".
2. El número de niveles de contorno, "nc".
3. Un arreglo de una dimensión que contiene la lista de niveles en orden ascendente.
4. Un arreglo de dos dimensiones que contiene la descripción de los datos que serán perfilados (alturas). Cada elemento del arreglo es una sección de la superficie estudiada en un punto (x, y).
5. Dos arreglos de una dimensión que contienen las coordenadas horizontales y verticales para cada uno de los puntos. Esto permite trabajar con una rejilla rectangular de puntos.

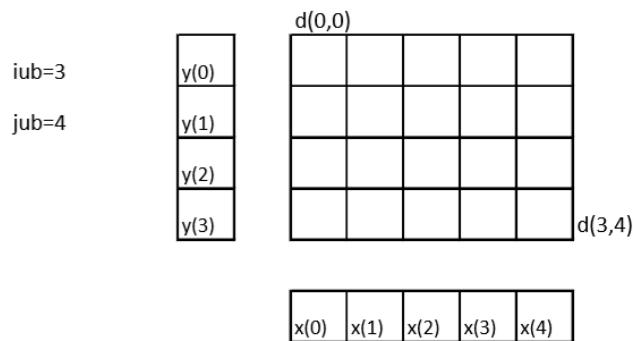


Ilustración 41. Parámetros de la rutina. (Bourke, 1987)

#### 6.8.1.6.2 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO CONREC.

Los datos en 3 dimensiones se almacenan en una matriz de dos dimensiones, esta rejilla rectangular considera 4 puntos a la vez, el rectángulo dado por los valores  $d(i, j)$ ,  $d(i+1, j)$ ,  $d(i, j+1)$  y  $d(i+1, j+1)$ . Al centro de cada rectángulo se le asigna un valor correspondiente al promedio de los 4 vértices. Cada rectángulo a su vez es dividido en cuatro regiones triangulares cortando a lo largo por diagonales. Cada uno de estos planos triangulares puede ser cortado por un contorno horizontal. La intersección de los dos planos es una línea recta, parte de la curva a la altura del contorno. (Bourke, 1987)

$$h_0 = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}$$

Ecuación 1. Promedio de alturas.

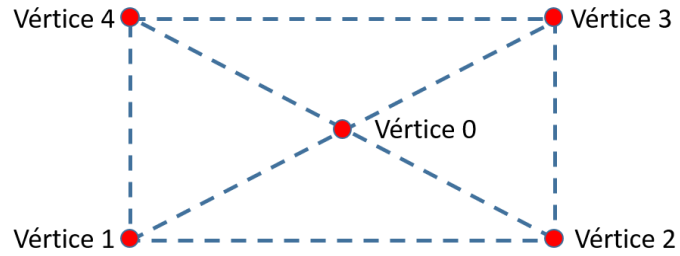


Ilustración 42. Vértices usados en cada iteración.

Y para calcular el punto central se utiliza una operación sencilla que consiste en hacer la diferencia entre los extremos y dividirla en 2, tanto para el eje “x” como para el eje “y”, lo cual se ilustra con la siguiente figura.

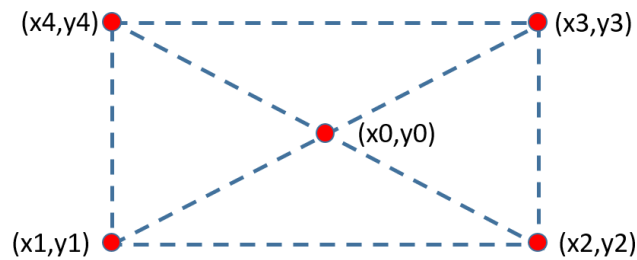


Ilustración 43. Puntos con coordenadas.

Para calcular las coordenadas correspondientes al punto central, se utilizan las siguientes ecuaciones e igualdades relativas a los vértices utilizados para el cálculo.

$$x1 = x4, \quad x2 = x3, \quad y1 = y2, \quad y3 = y4$$

Ecuación 2. Igualdades de los vértices.

$$x0 = \frac{x2 - x1}{2}$$

Ecuación 3. Ecuación para la coordenada X.

$$y0 = \frac{y2 - y1}{2}$$

Ecuación 4. Ecuación para la coordenada Y.

Dependiendo del valor del nivel del contorno con respecto a la altura en los vértices del triángulo, ciertos tipos de líneas son trazadas. Existen 10 posibles casos que pueden ocurrir, y son los siguientes:

- a. Todos los vértices se encuentran por debajo del nivel del contorno.
- b. Dos vértices se encuentran por debajo y uno en el nivel de contorno.
- c. Dos vértices se encuentran por debajo y otro por encima del nivel del contorno.
- d. Un vértice se encuentra por debajo y dos en el nivel de contorno.
- e. Un vértice se encuentra por debajo, uno sobre y uno por encima del nivel del contorno.
- f. Un vértice se encuentra por debajo y dos por encima del nivel del contorno.
- g. Tres vértices se encuentran en el nivel de contorno.**
- h. Dos vértices se encuentran en y uno por encima del nivel del contorno.
- i. Un vértice se encuentra en y dos por encima del nivel del contorno.
- j. Todos los vértices se encuentran por encima del nivel del contorno.

En los casos 'a', 'b', 'i' y 'j' los dos planos no se interceptan, no se requiere dibujar una línea. Para los casos 'd' y 'h' los dos planos se interceptan a través del borde del triángulo y la línea se traza entre los dos vértices que caen en el nivel del contorno.

El caso 'e' requiere que una línea sea dibujada del vértice del contorno de nivel a un punto en el borde opuesto. Este punto es determinado por la intersección del nivel de contorno con la línea recta entre dos vértices. El caso 'c' y 'f' son las situaciones más comunes donde la línea es dibujada de un borde al otro del triángulo. La última posibilidad es el caso 'g' y no tiene una solución satisfactoria afortunadamente ocurre muy rara vez en la aritmética real, lo cual queda marcado en el mapa con un recuadro que pasa por todos los vértices.

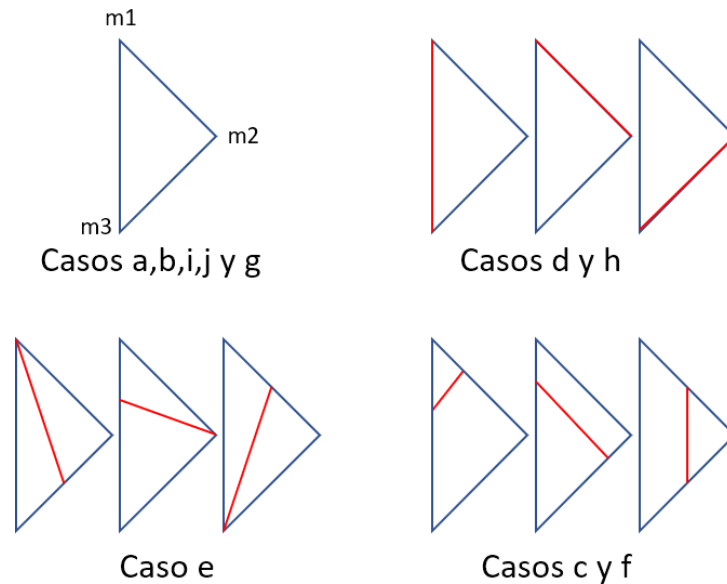


Ilustración 44. Casos del algoritmo. (Bourke, 1987)

Una vez encontrado el caso al que corresponde cada trazo de la curva, se calculan los puntos por los que pasan la línea de la curva de nivel, para lo cual se tienen que aplicar un par de fórmulas, siempre y cuando los puntos de origen no sean los mismos vértices ya almacenados por el algoritmo.

$$x_h = \frac{(h_2 * x_1) - (h_1 * x_2)}{(h_2 - h_1)}$$

*Ecuación 5. Ecuación para la coordenada X.*

$$y_h = \frac{(h_2 * y_1) - (h_1 * y_2)}{(h_2 - h_1)}$$

*Ecuación 6. Ecuación para la coordenada Y.*

Devolviendo así, dos pares de coordenadas correspondientes a un segmento de la curva de nivel en cada iteración realizada por el algoritmo, dichas coordenadas son utilizadas después para dibujar las líneas de contorno en el mapa de la aplicación.



### 6.8.1.7 GENERACIÓN DEL PERFIL DE TERRENO.

En la generación del perfil del terreno únicamente se muestra una gráfica en 2D, utilizando el componente externo llamado **AndroidPlot**, publicado por una comunidad de desarrolladores en Silicon Valley, es distribuido bajo la licencia Apache 2.0 de código abierto. (AndroidPlot, 2019)

Este componente permite generar varios tipos de gráficos y configurar múltiples orígenes de datos, lo cual permite que la gráfica se pueda generar de manera dinámica, para ajustar los valores de los ejes o de las series de valores de manera ágil y eficiente.

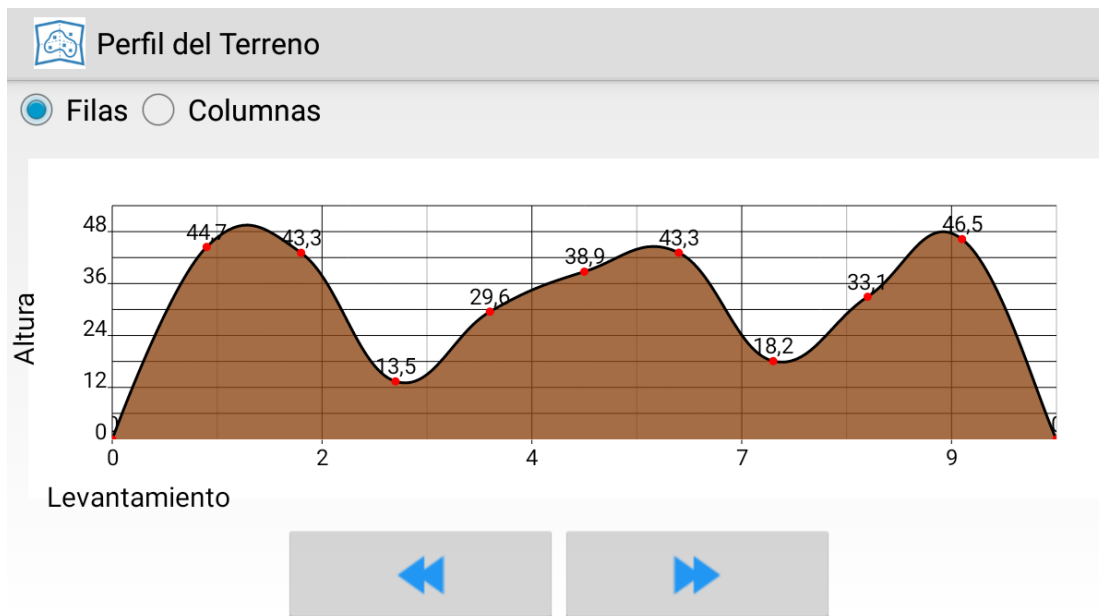


Ilustración 45. Gráfica del perfil del terreno.

La grafica cuenta con las opciones necesarias para seleccionar el corte a graficar, ya sea filas o columnas, además de que permite desplazarse entre los diferentes cortes existentes, es decir, se pueden navegar entre el número de filas o columnas de la cuadrícula utilizada para el levantamiento de información.

Para lograr el aspecto redondeado y suavizado de la gráfica, se implementa una función de interpolación cubica, lo cual evita que la gráfica utilice líneas rectas para unir los puntos y por el contrario genera una línea más atractiva y realista. (Matlab, 2018). La expresión está dada por la ecuación 1, que se muestra posteriormente.

### 6.8.1.8 GENERACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL.

Para trazar el modelo tridimensional se utiliza OpenGL® ES, dentro de la plataforma de Android, el cual es una API gráfica de uso libre y multiplataforma que permite realizar modelos en 2 y 3 dimensiones. Además, nos permite utilizar los gestos comunes para acercar, alejar y girar el modelo. (Khronos Group, 2018)

Para poder realizar el trazo del modelo del terreno, se utiliza el concepto de buffer de vértices, el cual consta en un arreglo con los valores de altura y automáticamente OpenGL® ES genera una superficie formada por triángulos. Entre más puntos se tengan en el arreglo, la superficie tendrá un desplazamiento más suave y delineado.

Al tiempo que se genera la superficie, se envían los valores de los colores con los que se pinta la superficie, usando una escala de colores que va del verde para los valores de elevación más bajos y rojo para los valores de mayor elevación, utilizando el azul para los valores iguales o menores a 0 metros. Para obtener estos colores se utiliza una escala de valores, en las cuales, el cambio de valor en cada color se divide entre 30, para tener una paleta de colores con 60 tonalidades dependiendo de la altura a representar.

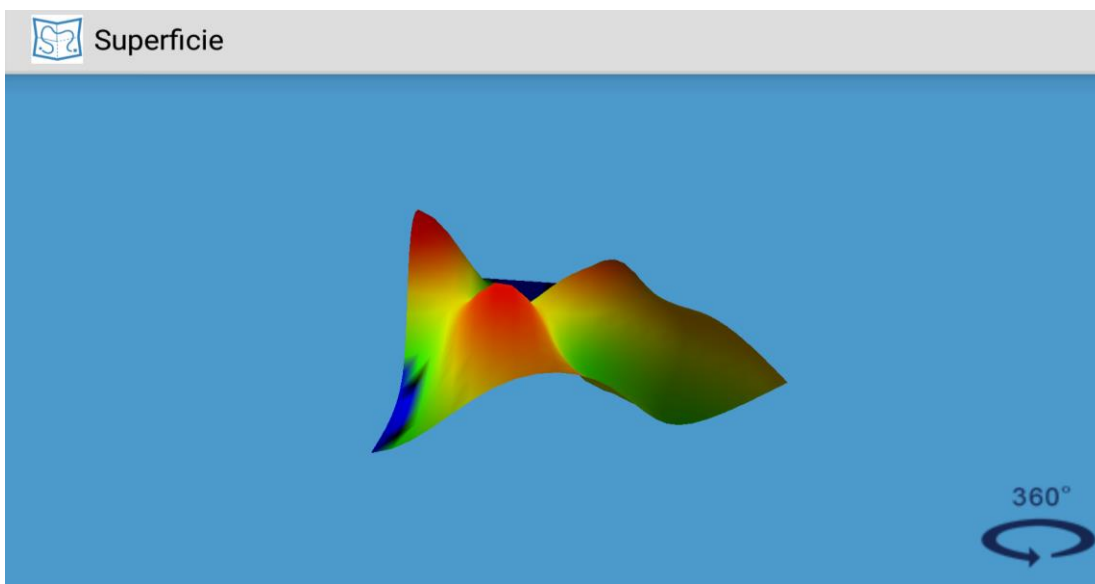


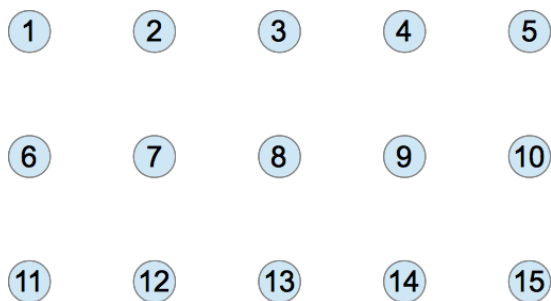
Ilustración 46. Modelo 3D del terreno.



Ilustración 47. Escala de colores.

### 6.8.1.8.1 OPENGL ES, BUFFER DE VÉRTICES.

Un buffer de vértices es únicamente un arreglo de vértices que es directamente representado en OpenGL, se pueden usar arreglos independientes para cada uno de los atributos, como posiciones y colores o se puede usar un arreglo individual e intercalar todos los datos juntos.



*Ilustración 48. Arreglo con los valores de altura. (Brothaler, 2013)*

Para el ejemplo de la ilustración, el arreglo es como sigue: arreglo = {1, 6, 2, 7, 3, 8, ...}.

Cuando se realiza el dibujo de las superficies mediante **GL\_TRIANGLE\_STRIP**, OpenGL construye triángulos tomando cada uno de los conjuntos de 3 vértices, avanzando un vértice para cada triángulo. Cada uno de los triángulos subsecuentes comparte 2 vértices con el triángulo anterior.

Los triángulos para los datos mostrados en el ejemplo se forman de la siguiente manera:

- a) Triángulo 1 = 1, 6, 2
- b) Triángulo 2 = 6, 2, 7
- c) Triángulo 3 = 2, 7, 3
- d) Triángulo 4 = 7, 3, 8
- e) Triángulo 5 = 3, 8, 4
- f) Triángulo 6 = 8, 4, 9

De esta manera, los puntos recolectados en la sección del levantamiento geográfico mediante la aplicación se envían en forma de un arreglo de dos dimensiones, para generar el buffer de vértices y sean trazados por OPENGL en una superficie dedicada a la visualización y manipulación de elementos de dibujo. (Brothaler, 2013)

### 6.8.1.9 INTERPOLACIÓN POR SEGMENTACIÓN CÚBICA.

Para mejorar la definición de la superficie tridimensional, se implementa en el arreglo de alturas un algoritmo de interpolación que permita realizar trazos más suaves para representar la superficie del terreno.

La interpolación consiste en encontrar un dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores de los extremos, o en encontrar una función que pueda aplicarse a una serie de puntos existentes.

Existen varios tipos de interpolación, así como métodos para resolver este problema, en la imagen siguiente se muestran 4 tipos de interpolación elementales que pueden ser utilizados para determinar los valores intermedios entre dos puntos.

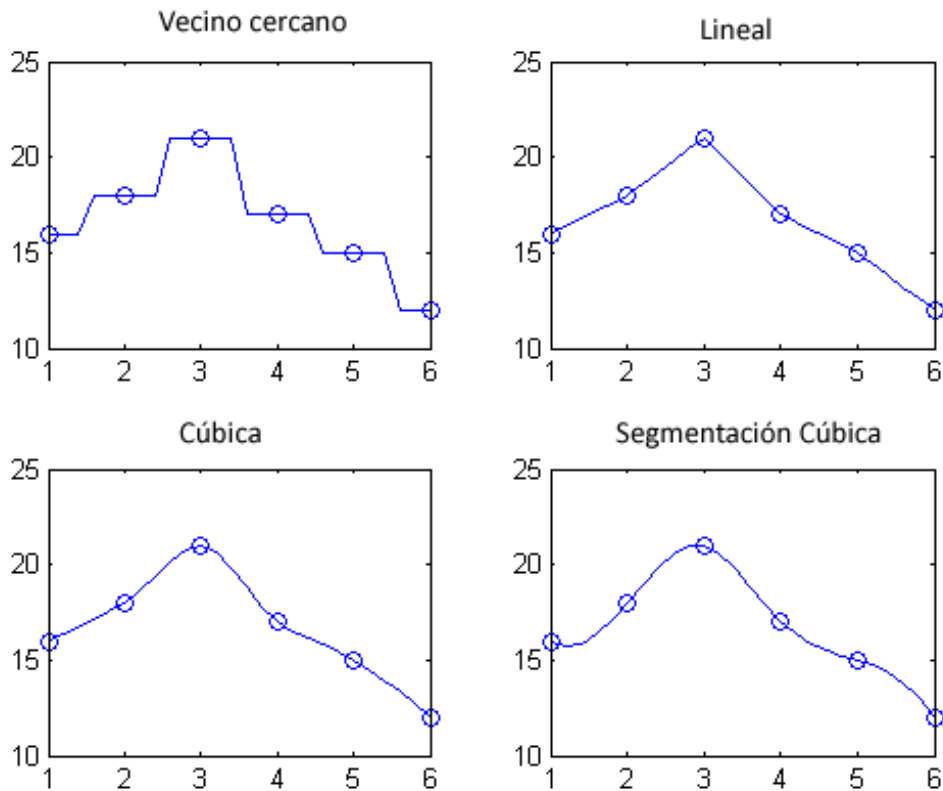


Ilustración 49. Tipos de interpolación. (Matlab, 2018)

La interpolación por segmentación cubica está formada por varios polinomios que se unen entre si obedeciendo a ciertas condiciones de continuidad y que tienen por característica principal el estar formado por expresiones de grado 3. Este tipo de interpolación es de los más empleados, debido a que el ajuste a la serie de puntos es muy bueno y a que el cálculo no es excesivamente complejo.

Para cada intervalo de puntos  $[t_0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{n-1}, t_n]$ , se define un polinomio cubico diferente y sea  $S_i$  el polinomio cubico que representa a  $S$  en el intervalo  $[t_i, t_{i+1}]$ , por tanto:

$$S(x) = \begin{cases} S_0(x) = S_0, & x \in [t_0, t_1] \\ S_1(x) = S_1, & x \in [t_1, t_2] \\ \vdots \\ S_{n-1}(x) = S_{n-1}, & x \in [t_{n-1}, t_n] \end{cases}$$

*Ecuación 7. Polinomios cúbicos.*

Como los polinomios  $S_{i-1}$  y  $S_i$  interpolan el mismo valor en el punto  $t_i$ , se garantiza que  $S$  es continuo en todo el intervalo. Teniendo como expresión analítica del segmento cubico la siguiente expresión:

$$S_i(x) = \frac{z_i}{6h_i} (t_{i+1} - x)^3 + \frac{z_{i+1}}{6h_i} (x - t_i)^3 + \left(\frac{y_{i+1}}{h_i} + \frac{z_{i+1}h_i}{6}\right) (x - t_i) + \left(\frac{y_i}{h_i} + \frac{z_i h_i}{6}\right) (t_{i+1} - x) \quad (1)$$

*Ecuación 8. Expresión analítica.*

En la expresión anterior  $h_i = t_{i+1} - t_i$  y  $z_0, z_1, \dots, z_n$  son las incógnitas, para determinar los valores se utilizan las condiciones de continuidad que se deben cumplir, las cuales dan como resultado:

$$h_{i-1}z_{i-1} + 2(h_i + h_{i-1})z_i + h_i z_{i+1} = \frac{6}{h_{i-1}}(y_{i+1} - y_i) - \frac{6}{h_{i-1}}(y_i - y_{i-1})$$

*Ecuación 9. Condiciones de continuidad.*

La ecuación anterior genera un sistema de  $n - 1$  ecuaciones lineales, el sistema de ecuaciones lineales se puede expresar de manera matricial de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} u_1 & h_1 & & & & & & & & & \\ h_1 & u_2 & h_2 & & & & & & & & \\ & h_2 & u_3 & h_3 & & & & & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & & & & & \\ & & & h_{n-3} & u_{n-2} & h_{n-2} & & & & & \\ & & & & h_{n-2} & u_{n-1} & & & & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_{n-2} \\ z_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \\ \vdots \\ \nu_{n-2} \\ \nu_{n-1} \end{pmatrix}$$

*Ecuación 10. Sistema matricial.*

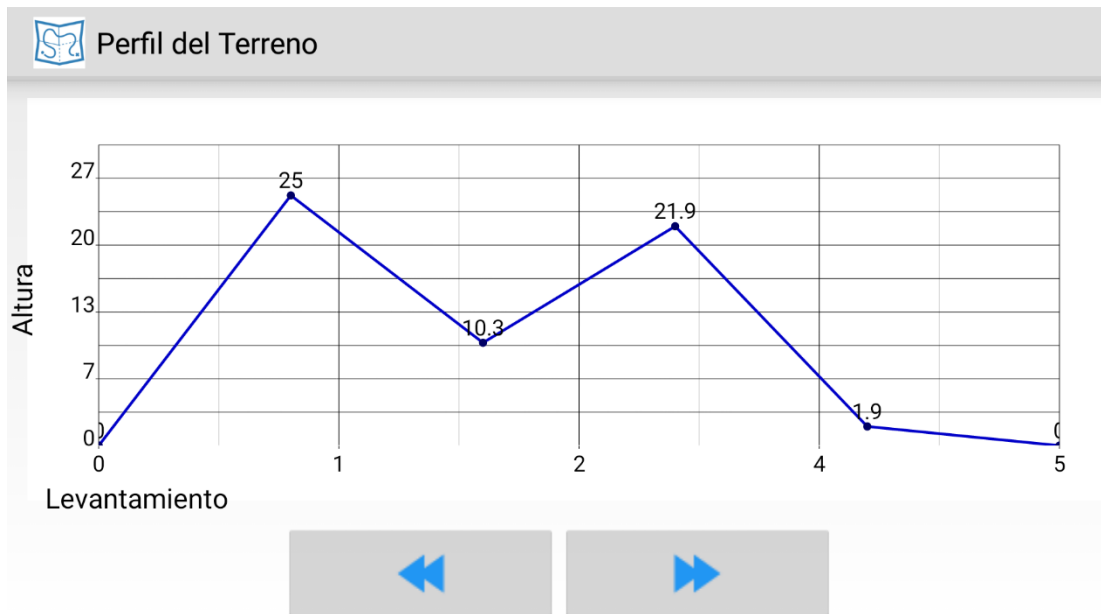
En donde se establecen las siguientes igualdades:

$$\begin{aligned}h_i &= t_{i+1} - t_i \\u_i &= 2(h_i + h_{i-1}) - \frac{h_{i-1}^2}{u_{i-1}} \\b_i &= \frac{6}{h_i} (y_{i+1} - y_i) \\v_i &= b_i - b_{i-1} - \frac{h_{i-1}v_{i-1}}{u_{i-1}}\end{aligned}$$

*Ecuación 11. Sistema de ecuaciones.*

En la aplicación se implementa el método de interpolación por segmentación cúbica, el cual permite realizar el suavizado de los trazos, en la imagen se muestra cómo se visualiza la información antes y después de aplicar este método, tanto en la gráfica del perfil del terreno como en la superficie tridimensional. (Matlab, 2018)

En las siguientes imágenes, se muestra la diferencia en el resultado del perfil del terreno, al graficar los puntos con interpolación lineal y con interpolación cubica.



*Ilustración 50. Perfil de terreno con interpolación lineal.*

La siguiente imagen muestra el detalle del gráfico después de aplicar el método de interpolación cubica.

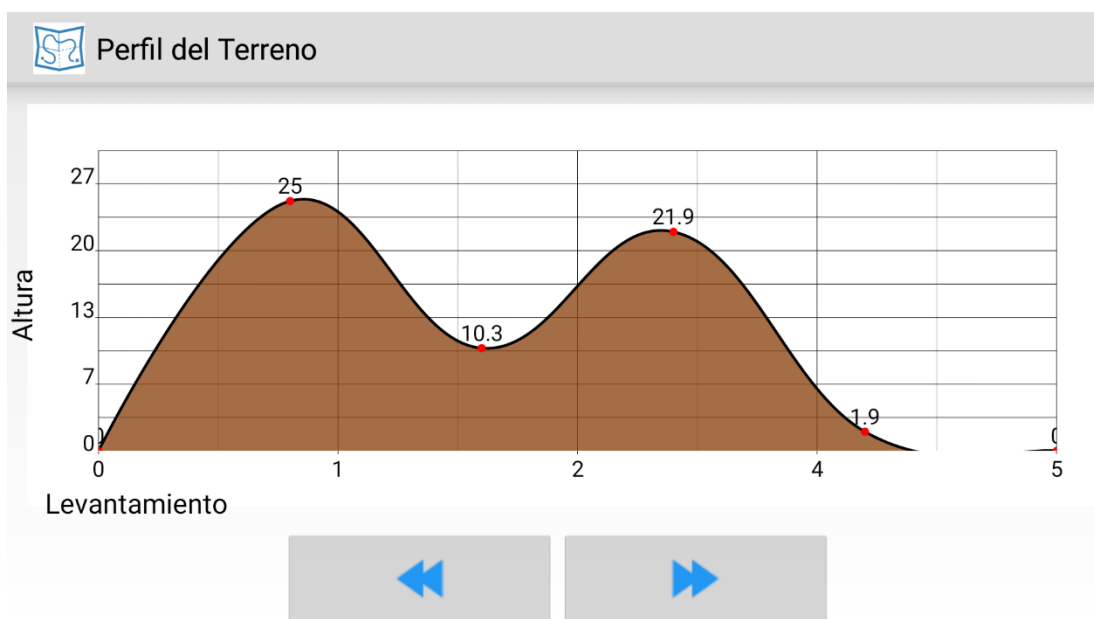


Ilustración 51. Perfil del terreno con interpolación cubica.

En las siguientes imágenes, se muestra la diferencia en el resultado del modelo tridimensional del terreno, al representar los puntos con interpolación lineal y con interpolación cubica.

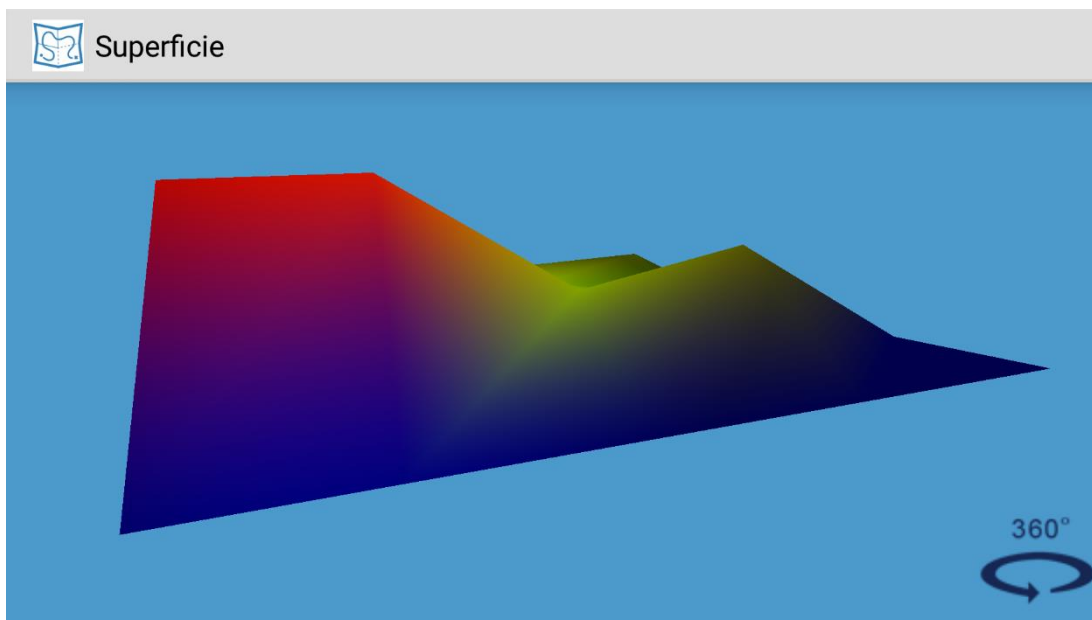
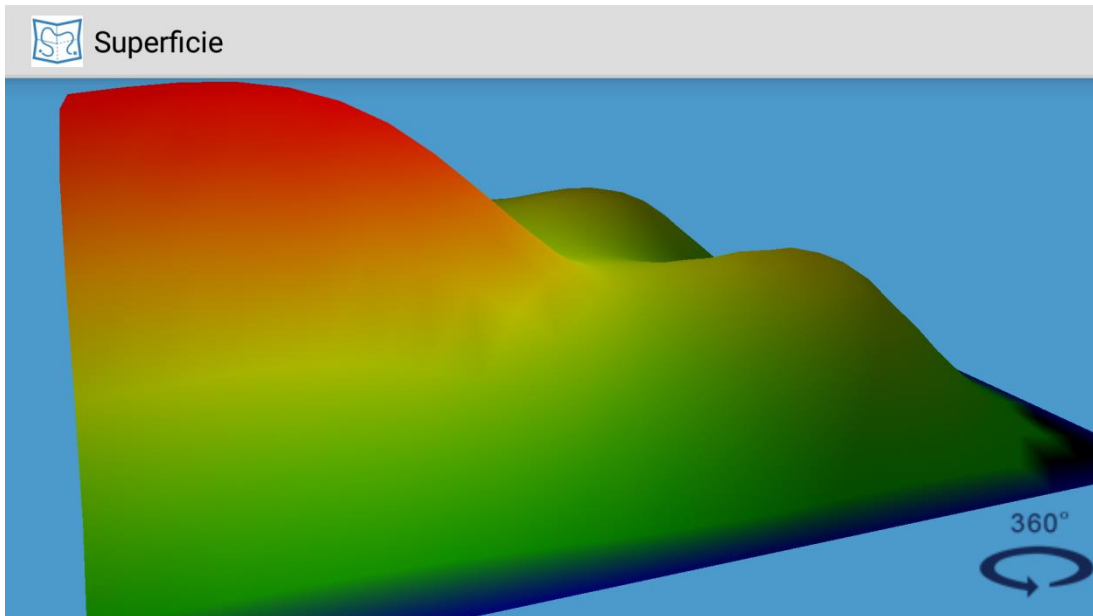


Ilustración 52. Modelo 3D sin interpolación.

La siguiente imagen muestra el detalle del modelo 3D después de aplicar el método de interpolación cubica.



*Ilustración 53. Modelo 3D con interpolación cubica.*



### 6.8.1.10 EXPORTAR DATOS DEL PROYECTO.

Cada uno de los proyectos pueden ser exportados a un archivo de texto con formato **geojson**, formato que fue estandarizado por la Internet Engineering Task Force (IETF) en 2015, para lo cual se generan tres archivos con la información, estos archivos se almacenan con el mismo nombre que el proyecto y además tienen un sufijo que indica el tipo de geometría que almacena, el detalle de cada uno de los archivos generados se describe en la siguiente lista. (IETF, 2016)

1. El archivo con el sufijo “**área**”, que contiene las coordenadas del polígono que define el área de estudio de proyecto.
2. El archivo con el sufijo “**curvas**”, que almacena los datos de las curvas de nivel, almacena las líneas y también la altura correspondiente a cada una de ellas.
3. Y el tercer archivo que se genera es el que lleva por sufijo “**puntos**”, que tiene los datos del levantamiento, incluyendo como atributos las coordenadas de latitud, longitud y altura.

Estos archivos se generan dentro del directorio de descargas del dispositivo en la carpeta de nombre topo y muestra una estructura similar a la siguiente.

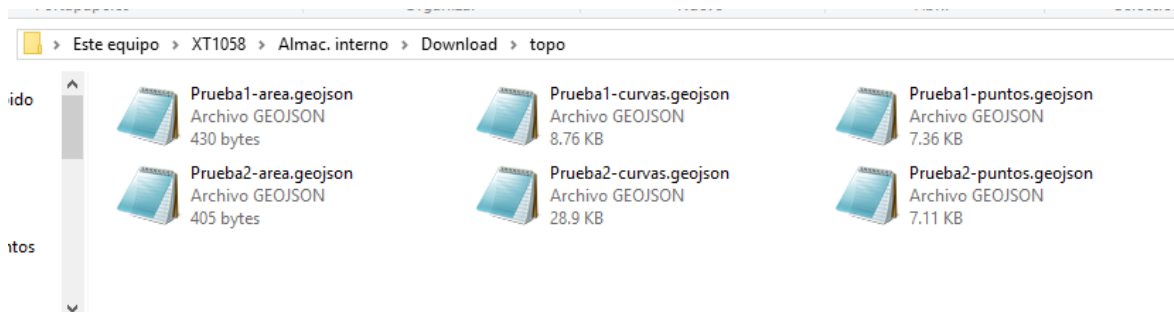


Ilustración 54. Directorio donde se generan los archivos.

El formato utilizado para exportar los datos es compatible con múltiples plataformas geográficas, tanto de escritorio como ArcGIS o QGIS, así como también en sitios web como, por ejemplo, [geojson.io](http://geojson.io), este sitio permite generar un mapa interactivo con la información contenida en el archivo geojson, lo cual ayuda a que los datos puedan ser consultados en herramientas de terceros esto para comprobar para realizar análisis más sofisticados.

## 7 EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA APLICACIÓN.

Se realizaron trabajos en campo, para comprobar la funcionalidad de la aplicación, una vez realizado el trabajo de recolección con la aplicación, los resultados se exportaron para poder ser visualizados en software GIS y poder verificar la correcta recolección y almacenamiento de la información.

### 7.1 EQUIPOS DE PRUEBA Y DESARROLLO.

Para el desarrollo y las pruebas de la aplicación, se utilizaron principalmente 3 equipos móviles, los cuales son descritos en la tabla siguiente.

Tabla 13. Equipos de desarrollo. (smart-gsm, 2015)

EQUIPO	MARCA	PROCESADOR	RAM	ALMACENAMIENTO
<b>Xperia XZ2</b>	Sony	8-cores 2.8 GHz	4 GB	64 GB
<b>Mate 10 Lite</b>	Huawei	8-cores 2.36GHz	4 GB	64 GB
<b>Grand Prime+</b>	Samsung	4-cores 1.4GHz	1 MB	16 GB

De estos equipos el que mayormente fue utilizado para el desarrollo fue el Mate 10 Lite, el cual se considera un equipo de gama media alta, mientras que el Xperia XZ2 es de gama alta y el Grand Prime+ es de gama baja.

En todos los casos la aplicación funciona de manera apropiada y lo único que cambia es el despliegue del modelo en 3D, esto de acuerdo a las características de sus procesadores gráficos.

La primera imagen corresponde al equipo Mate 10 Lite, la segunda al Grand Prime+ y la última imagen al Xperia XZ2, en los 3 equipos el despliegue es bueno, solo cambia la definición y resolución de los elementos gráficos.

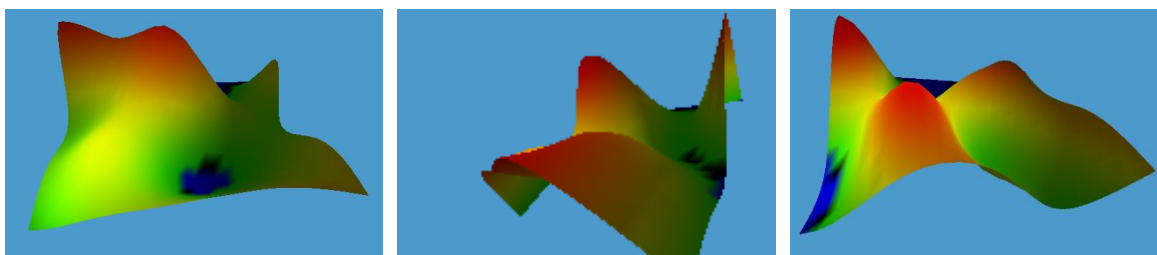
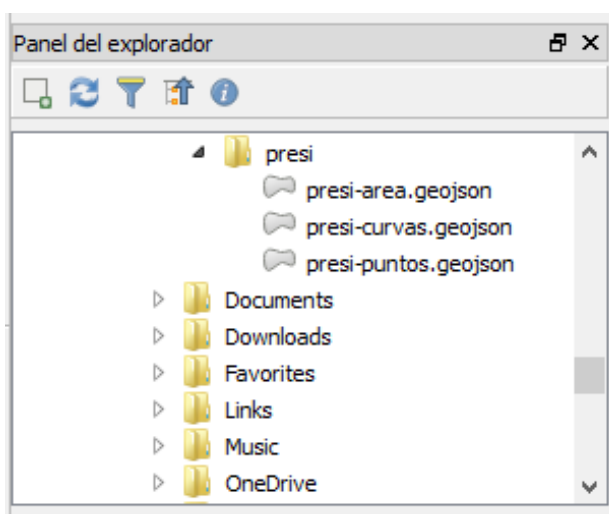


Ilustración 55. Modelo 3D en 3 equipos diferentes.

## 7.2 VERIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO EN QGIS Y ARCGIS.

QGIS es un software de manejo de información geográfica con licenciamiento de tipo software libre, por lo cual se puede descargar de manera gratuita de internet de la siguiente dirección, <https://www.qgis.org>, y comenzar a utilizarlo para trabajar con datos geográficos, es desarrollado por la Open Source Geospatial Foundation. (OSGeo, 2018)

Este software reconoce el formato geojson sin problemas, por lo cual agregarlos a un mapa y poder visualizarlos resulta una tarea sencilla. El panel de exploración de archivos geográficos muestra los archivos listos para agregar al área de trabajo.



*Ilustración 56. Panel de exploración.*

Debido a que los archivos aparte de la geometría de los elementos vectoriales incluye atributos con los valores de altura, el software permite realizar una clasificación sencilla de los elementos, además de que se pueden asignar etiquetas para tener una idea más clara de lo que cada elemento está representando.

Además, el software es compatible con servicios de mapa, lo cual ayuda a que se puedan agregar elementos de fondo que den contexto a la ubicación del trabajo estudiado. La imagen tiene como mapa base información satelital de Google Maps.



Ilustración 57. Datos en QGIS con mapa base de google maps.

QGIS tiene un panel en el que muestra la información actual en el mapa, y en este caso se muestran las capas que se tiene como parte del mapa. En la tabla de contenido se muestra la capa con el área de estudio, la capa con los puntos obtenidos durante el levantamiento y las curvas generadas, como mapa base se tiene el servicio de imágenes de google maps, el cual debido a que no cuenta con imágenes detalladas de la zona, al realizar un mayor acercamiento, queda sin contenido, sin embargo, esto no afecta de ninguna manera al momento de realizar análisis espaciales con las herramientas de software.

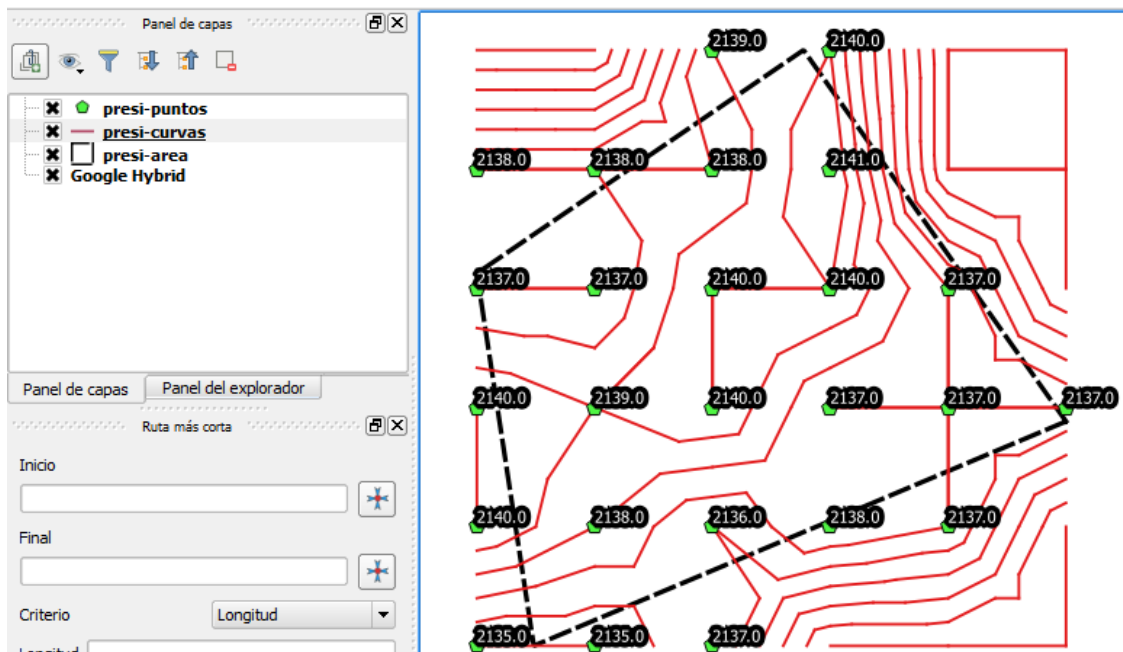


Ilustración 58. Acercamiento al terreno de estudio sin mapa base.

Estos datos también pueden ser consultados de manera directa mediante ArcGIS, de la misma manera que en el caso anterior, ArcMap reconoce los archivos y permite agregarlos como contenido del mapa. Aunque para realizar esto, es necesario contar con la extensión de Data Interoperability para ArcGIS, la cual proporciona soporte entre una gran variedad de formatos. (ESRI, 2018)

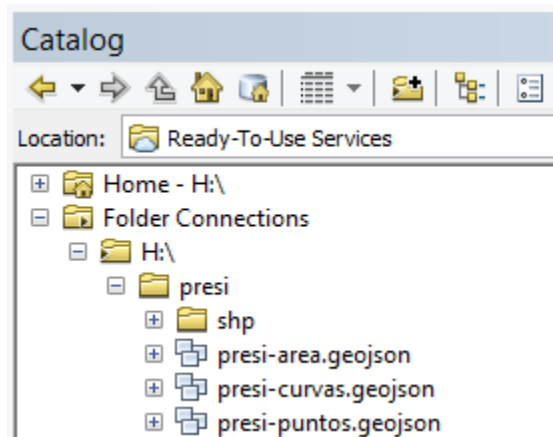


Ilustración 59. Archivos geojson en ArcMap.

Utilizando el ArcMap de la plataforma ArcGIS, para visualizar la misma información, utilizando como mapa de base un servicio de imágenes generadas por SIGSA, empresa mexicana dedicada a la generación de cartografía y productos derivados, como modelos de elevación e imágenes orto rectificadas y geo referenciadas. (SIGSA, 2018)

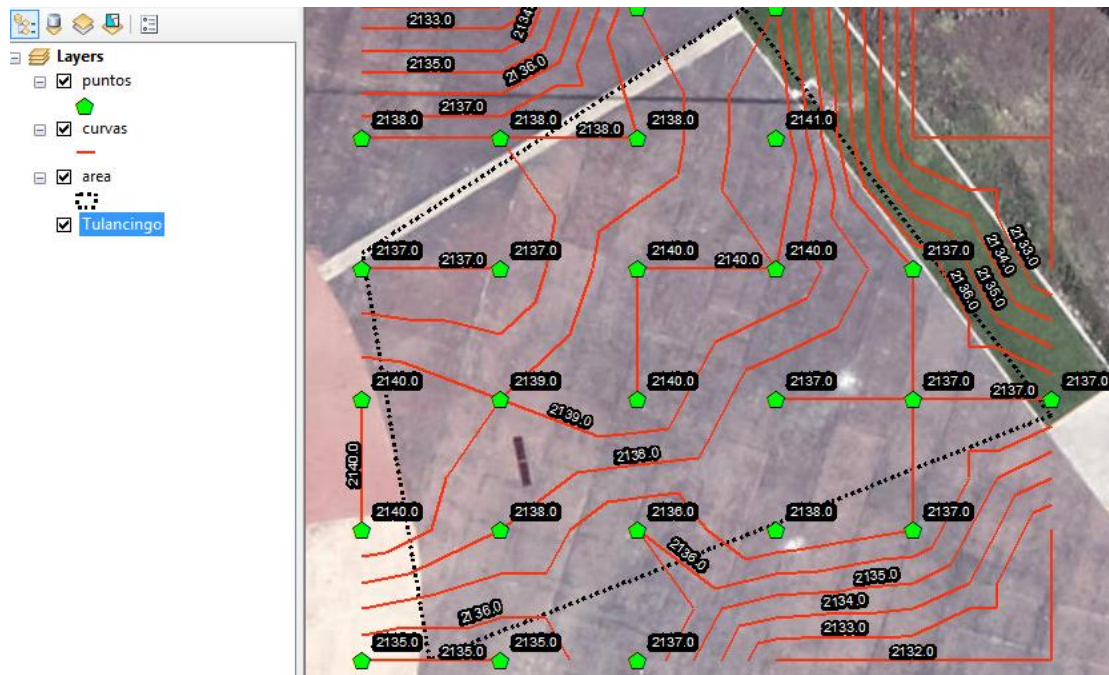


Ilustración 60. Datos en ArcGIS con un servicio de imágenes aéreas como fondo

En la siguiente imagen se puede observar en la línea sólida el área real del terreno estudiado, trazado sobre el mapa base, mientras que la línea punteada representa el polígono levantado con el equipo GPS, en ambos se aprecia un ligero desplazamiento, esto provocado por la precisión tanto

del trazo como del sensor utilizado para recolectar la información, Este tipo de defectos depende de la escala a la que se consulte la información.

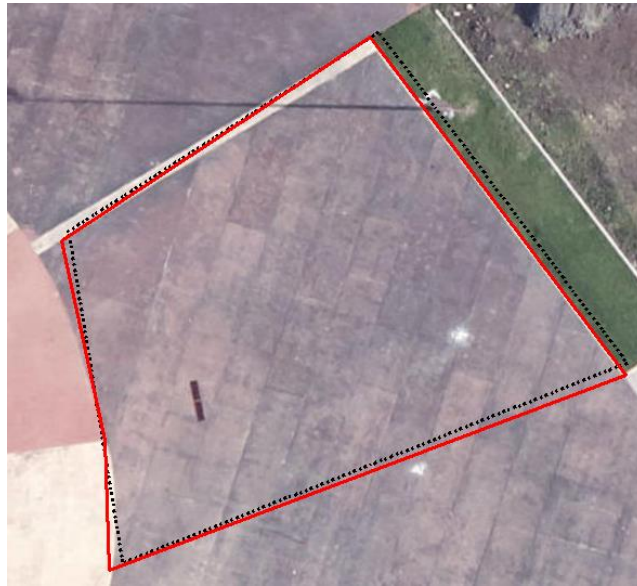


Ilustración 61. Área de estudio.

Utilizando las herramientas propias del software ArcGIS, se realizó la medición de la distancia existente entre un vértice del área levantada y uno del área observada en la imagen, con lo cual se obtiene que la diferencia es menor a un metro como se puede observar en la siguiente imagen tomada del software. Este margen de error puede impedir que los resultados de la aplicación puedan ser usados con fines catastrales o de ingeniería aplicada, debido a que en el ámbito profesional existen mecanismos más exactos para este tipo de mediciones.

Esto quiere decir que tomando como base la imagen, el levantamiento tiene un desplazamiento de 90 centímetros, si tomamos como referencia las imágenes satelitales de Google Earth, las cuales cuentan con un desplazamiento de hasta 30 metros, esto según un estudio realizado en 2016 por parte de la Universidad de la Republica de Uruguay. (Colombana, Reyes, & Carlevaro, 2015)

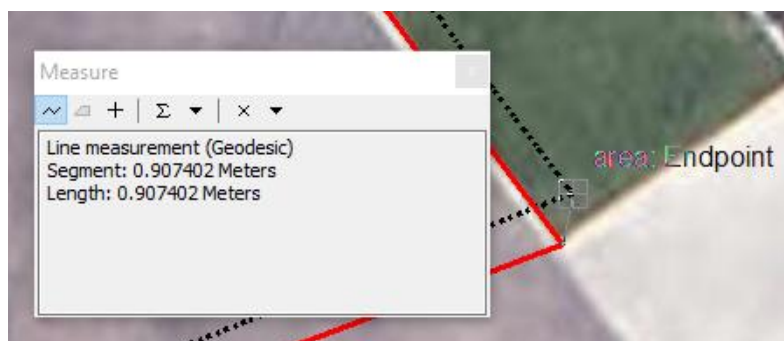


Ilustración 62. Distancia entre los vértices.

### 7.3 PRUEBAS DE PRECISIÓN.

Se realizó una prueba en campo con apoyo del Ingeniero Civil Edgar Ríos López, utilizando un equipo profesional para levantamientos topográficos, un dispositivo profesional para levantamiento en campo y un equipo móvil de uso normal.

*Tabla 14. Tabla de equipos utilizados en la prueba.*

MARCA	MODELO	USO	PRECIO APROX.
TopCon	GR5	Topografía	12,000 Dls.
Trimble	TDC 100	Colector portátil	1,250 Dls.
Huawei	Mate 10 Lite	General	200 Dls.

Procedimiento:

1. Se definieron los puntos a levantar para tener la referencia exacta de la posición.
2. Se colocó el GPS/GNSS en posición para obtener el punto de referencia.
3. Se realizó el levantamiento con el equipo colector y la base TopCon GR5.
4. Se realizó el levantamiento de los mismos puntos, pero en esta ocasión con el equipo de colección Trimble TCD 100.
5. Y finalmente se realizó la captura de los puntos utilizando el teléfono Huawei.



*Ilustración 63. Ing. Edgar Ríos con el equipo TopCon GR5.*

El levantamiento se realizó en una de las áreas verdes a un costado del estacionamiento de la Universidad Politécnica de Tulancingo.



*Ilustración 64. Puntos levantados en la colectora TopCon.*



*Ilustración 65. Equipo Huawei utilizado para la prueba.*



*Ilustración 65. Equipo Trimble utilizado en la prueba.*



La siguiente tabla muestra los puntos que se levantaron con cada uno de los diferentes equipos.

*Tabla 15. Puntos levantados con cada equipo.*

ID	DISPOSITIVO	X	Y
1	TopCon	564620.037	2226478.197
2	TopCon	564608.218	2226489.499
3	TopCon	564595.181	2226492.631
4	TopCon	564597.763	2226502.709
5	TopCon	564621.595	2226501.593
1	Trimble TDC 100	564621.783	2226480.66
2	Trimble TDC 100	564608.8693	2226491.458
3	Trimble TDC 100	564595.6883	2226494.452
4	Trimble TDC 100	564599.6239	2226504.224
5	Trimble TDC 100	564622.4682	2226502.538
1	Huawei Mate 10 Lite	564619.9855	2226477.652
2	Huawei Mate 10 Lite	564609.5694	2226489.921
3	Huawei Mate 10 Lite	564595.6738	2226492.258
4	Huawei Mate 10 Lite	564598.2496	2226503.573
5	Huawei Mate 10 Lite	564621.3794	2226501.118

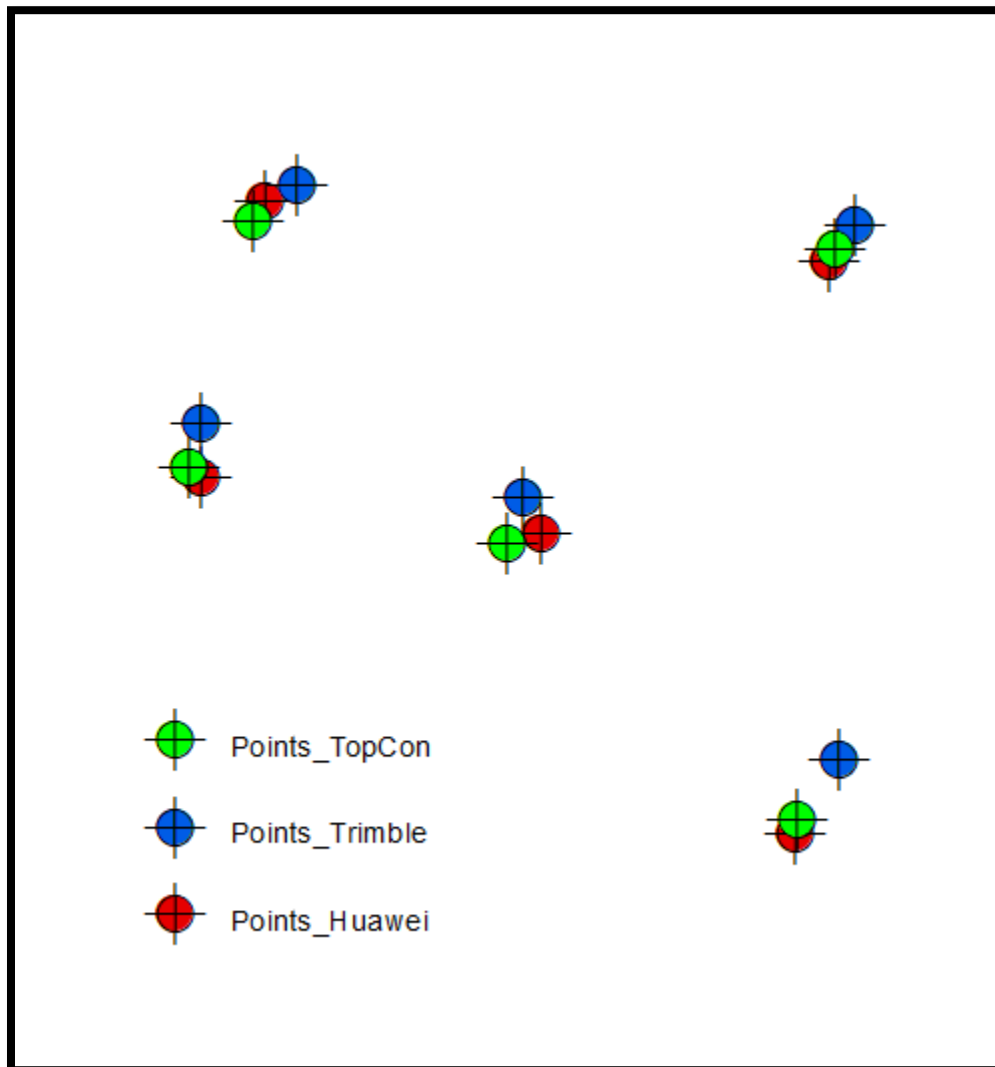
En la siguiente tabla se muestra el desplazamiento existente entre cada uno de los vértices levantados con cada uno de los dispositivos, comparados contra el vértice correspondiente levantado con la estación topográfica.

*Tabla 16. Diferencia entre cada punto con respecto a los puntos de la TopCon.*

PUNTO	DISPOSITIVO	
	HUAWEI	TRIMBLE
Punto 1	0.547627 m.	3.01925 m.
Punto 2	1.468413 m.	2.064146 m.
Punto 3	0.617805 m.	1.890535 m.
Punto 4	0.99169 m.	2.399683 m.
Punto 5	0.522004 m.	1.286811 m.

### 7.3.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Para evaluar el resultado del levantamiento, se cargaron los datos en ArcMap versión 10.6, esto permitió visualizar de manera clara, la diferencia entre cada uno de los levantamientos realizados, en la siguiente imagen se muestran los puntos que se levantaron con cada uno de los equipos.



*Ilustración 66. Puntos recolectados.*

Para este caso tomaremos como puntos de referencia los capturados por la estación topográfica TopCon.

Con los puntos obtenidos se generó un polígono, el cual permite realizar la medición del área y el perímetro de la zona de estudio.

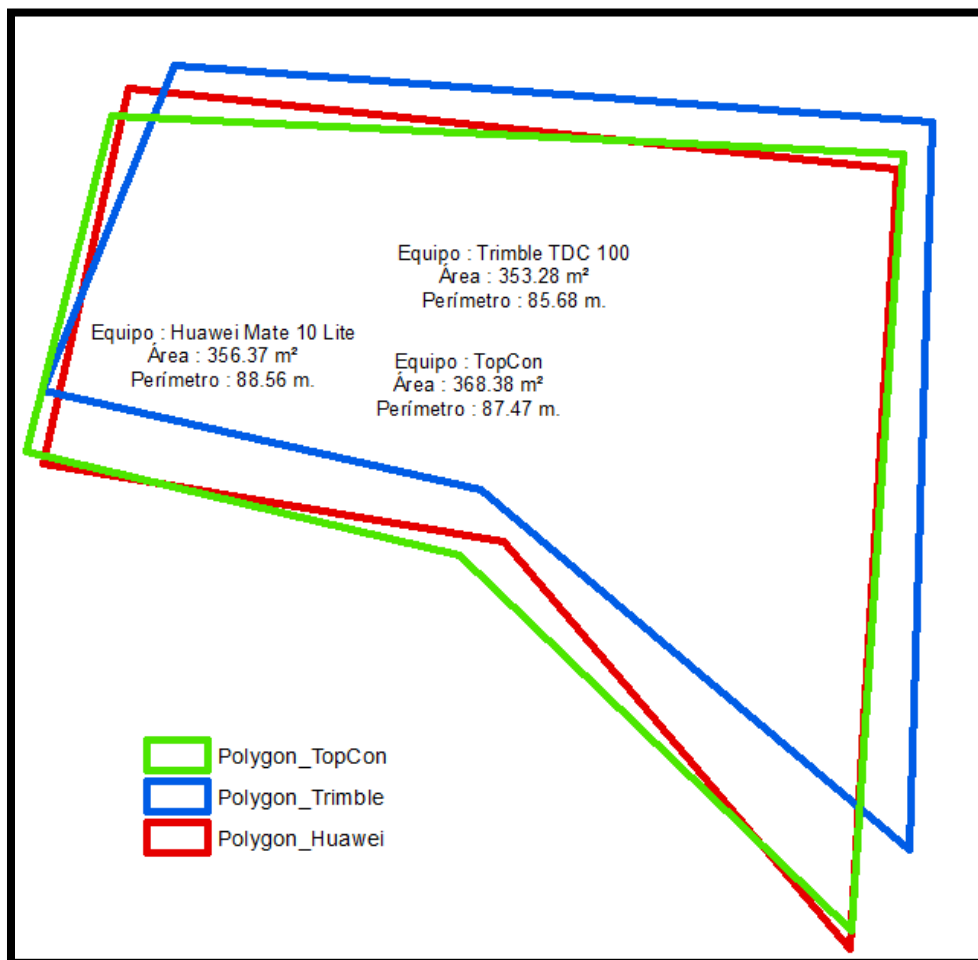


Ilustración 67. Polígonos generados.

La tabla siguiente muestra los datos de área y *perímetro* de cada polígono generado por el levantamiento con cada uno de los dispositivos.

Tabla 17. Diferencia entre cada punto.

Dispositivo	Área	Perímetro
Huawei	356.37 m <sup>2</sup>	88.56 m
Trimble	353.28 m <sup>2</sup>	85.68 m
TopCon	368.38 m <sup>2</sup>	87.47 m

En la siguiente tabla se muestran las diferencias existentes entre las mediciones de área y perímetro realizadas a los polígonos levantados con cada uno de los dispositivos.

*Tabla 17. Diferencias de áreas y perímetros.*

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>DIF. ÁREA</b>	<b>DIF. PERÍMETRO</b>
<b>Huawei</b>	12.01 m <sup>2</sup>	-1.09 m
<b>Trimble</b>	15.1 m <sup>2</sup>	1.79 m

Estos datos muestran que el dispositivo Huawei, el cual es un dispositivo de uso general y gama media, se acerca más a los resultados obtenidos con la estación topográfica. Estas diferencias de resultados se deben a la capacidad propia de los sensores GPS utilizados en los dispositivos móviles.

Esto limita la aplicación a la realización de estudios de baja precisión, los cuales pueden servir como pueden ser anteproyectos, estudios preliminares o de reconocimiento de zonas de interés.

## 7.4 REVISIÓN POR PARTE DE UN EXPERTO.

Se realizó la solicitud de validación de la aplicación a un experto, para lo cual se envió el manual de usuario y la ruta de descarga de la aplicación, para que esta persona la descargara y pudiese darnos algunas observaciones.

El experto que se encargó de realizar esta validación fue el Doctor Luis Miguel Morales Manilla, quien es el secretario técnico del CIGA (Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental) de la Universidad Nacional Autónoma de México.



*Ilustración 68. Datos del experto en geografía.*

Y las observaciones realizadas fueron positivas, haciendo notar una serie de características que, de ser incluidas en la aplicación, darían una presentación profesional y completamente entendible de los datos mostrados.

Las observaciones expresadas por este experto con respecto a las funcionalidades presentadas en la aplicación se transcriben en los siguientes puntos.

- *En general la App tiene un buen diseño, especialmente la interfaz de inicio, tiene los botones que debería, ni más ni menos.*
- *Cuando despliega los datos de cada vértice, faltaría agregar 'm.s.n.m.' (metros sobre el nivel del mar) a la coordenada Z para precisar las unidades de medición y que son sobre el nivel del mar.*

- *Algo que es muy bueno es que incluye la precisión del posicionamiento para cada vértice. Muy pocas Apps lo hacen, pero esto es esencial para saber cuánto error se tiene en la posición.*
- *En la parte de reporte de área sería bueno incluir al menos 3 opciones de unidades de área: metros cuadrados, kilómetros cuadrados y hectáreas. Esto permitiría adecuar las unidades al tamaño del área de la que se desea conocer su superficie. Para algunos usuarios, por ejemplo, en agricultura, se necesita el dato en hectáreas, etc. Para el perímetro la opción sería la de kilómetros nada más.*
- *Aunque quizá ya sea demasiado, algo que por ejemplo es útil para algunos usuarios es que las coordenadas sean opcionalmente reportadas según el sistema UTM, es decir, en metros en lugar de grados decimales como está programado actualmente.*
- *En la pantalla de recolección de información, el manual de usuario menciona 5 botones, pero yo solo veo cuatro en el recorte de pantalla, falta el de Guardar, ¿o éste aparece cuando se usa alguno de los otros cuatro? Si es así en el manual hay que decir que este parece cuando se usa alguno de los otros.*
- *Cuando se especifican el número de celdas, hay ¿un mínimo y un máximo? Máximo.*
- *El intervalo de curvas en qué unidades está especificado ¿metros? Habría que poner el símbolo de las unidades debajo de la etiqueta 'Intervalo de Curvas' metros.*
- *Lo de las curvas de nivel está genial. A lo mejor se podrían suavizar algo si se utilizara otro método de interpolación, para evitar los picos.*
- *Lo del perfil esta genial también. Solo que me gustaría tener la opción de que también fuese posible hacer perfiles por columna y no solo por fila.*
- *Y para cerrar con broche de oro, el modelo 3d es una buena manera de ver con más aproximación el relieve del terreno. Lo único que yo agregaría a esta parte sería que se desplegara la posición actual del usuario sobre la superficie en 3D.*
- *Las opciones de exportación son también adecuadas.*
- *¡En resumen, fuera de los detalles yo le daría un 10!*

## 8 DISTRIBUCIÓN DE LA APLICACIÓN.

Actualmente la aplicación se encuentra disponible en la tienda de Google Play, bajo el nombre de Topo Survey 3D y la descarga se puede realizar de manera gratuita.



Ilustración 69. Aplicación en la tienda de Google Play.

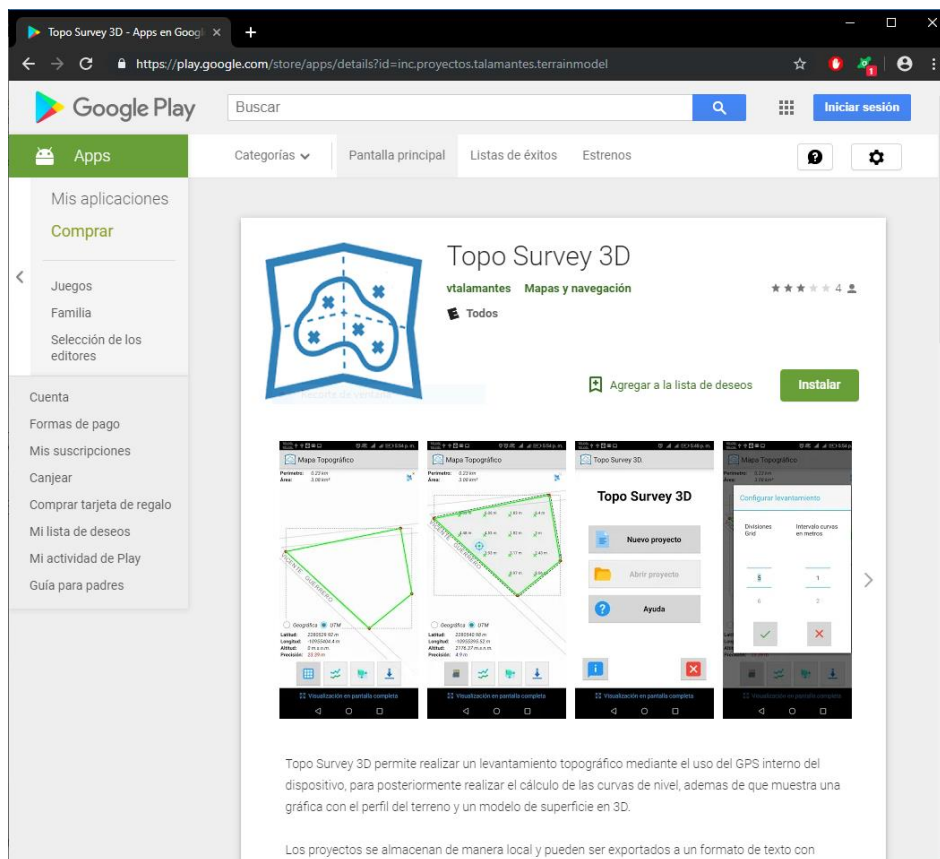


Ilustración 70. Aplicación en el sitio web de Google Play.

Según los datos del portal de Google Play la aplicación Topo Survey 3D, cuenta con más de 500 descargas, entre las cuales destaca que se han utilizado teléfonos con todas las versiones de Android soportadas por la aplicación, desde la versión 5 hasta la 9.

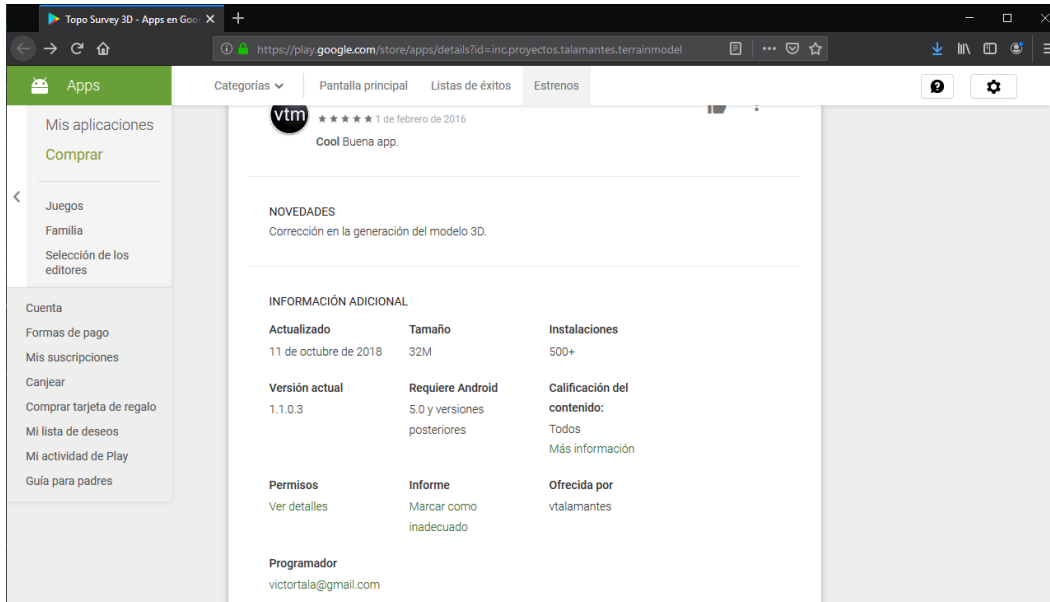


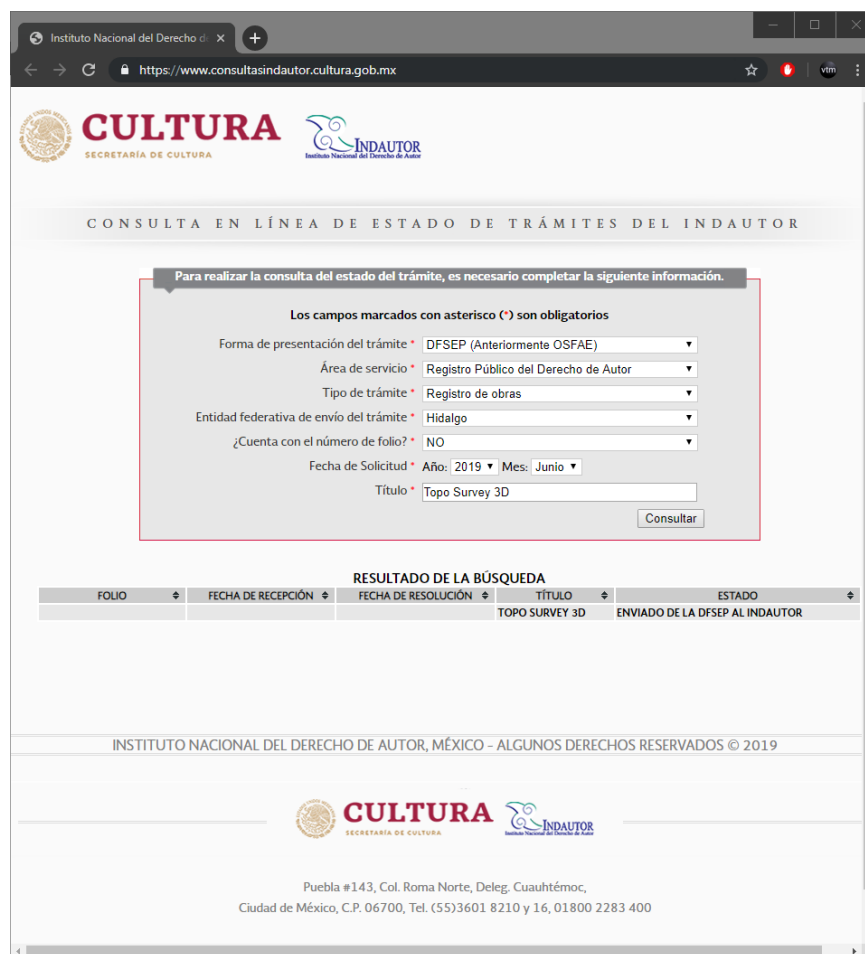
Ilustración 71. Panel de Google Play.



## 9 REGISTRO ANTE INDAUTOR.

Como parte de las tareas para formalizar la publicación y la disposición de la aplicación al público en general, se realizó el trámite de registro de derechos de autor ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR), órgano descentralizado encargado de proteger y fomentar los derechos de autor.

En este momento el trámite se encuentra en curso, y según los datos obtenidos de la página de INDAUTOR, el estado de este es: enviado de la oficina regional a la oficina central de la dependencia para su validación.



Para realizar la consulta del estado del trámite, es necesario completar la siguiente información.

Los campos marcados con asterisco (\*) son obligatorios

Forma de presentación del trámite \* DFSEP (Anteriormente OSFAE) ▼  
Área de servicio \* Registro Público del Derecho de Autor ▼  
Tipo de trámite \* Registro de obras ▼  
Entidad federativa de envío del trámite \* Hidalgo ▼  
¿Cuenta con el número de folio? \* NO ▼  
Fecha de Solicitud \* Año: 2019 ▼ Mes: Junio ▼  
Título \* Topo Survey 3D

Consultar

**RESULTADO DE LA BÚSQUEDA**

FOLIO	FECHA DE RECEPCIÓN	FECHA DE RESOLUCIÓN	TÍTULO	ESTADO
			TOPO SURVEY 3D	ENVIADO DE LA DFSEP AL INDAUTOR

INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR, MÉXICO - ALGUNOS DERECHOS RESERVADOS © 2019

**CULTURA** SECRETARÍA DE CULTURA **INDAUTOR** Instituto Nacional del Derecho de Autor

Puebla #143, Col. Roma Norte, Deleg. Cuauhtémoc,  
Ciudad de México, C.P. 06700, Tel. (55)3601 8210 y 16, 01800 2283 400

Ilustración 72. Registro de la aplicación ante INDAUTOR.

## 10 TRABAJOS FUTUROS.

La aplicación Topo Survey 3D puede seguir recibiendo mejoras, las cuales pueden incluir las que se muestran en la siguiente lista.

- Utilizar equipos con GNSS de alta precisión, un ejemplo de dispositivos de alta precisión son los de la marca Trimble, estos equipos por sí solos proporcionan información más precisa. Esta acción no requiere modificación del código fuente ya que existen dispositivos de este tipo que utilizan el sistema operativo Android.
- Implementar funcionalidad para utilizar receptores o antenas GNSS externas, entre las más comunes están las que se pueden sincronizar vía bluetooth. Este tipo de antenas/receptores proporcionan una mejor precisión.
- Implementar la funcionalidad necesaria para leer las cadenas de valores nmea (solo en el caso de utilizar GPS externos o equipos de alta precisión), que son cadenas de texto con los valores recibidos por el GPS y así poder determinar cuando los valores son exactos y precisos y realizar la captura.
- Como todo software, puede recibir mejoras en el diseño general de la plataforma, incluso podrá o tendrá actualizarse a los requerimientos más recientes de la plataforma Android, para mantenerse disponible a los usuarios.

## 11 CONCLUSIONES.

La aplicación desarrollada en este trabajo proporciona una forma sencilla, que puede ser utilizada por usuarios con poca experiencia en el manejo de información geográfica, proporcionando productos terminados que ayudan a interpretar de manera rápida y eficiente la información recolectada.

Otro punto a favor es que los productos profesionales, son costosos, requieren software, recursos y conocimientos muy específicos para poder ser consultados, procesados e interpretados, mientras que la aplicación para levantamientos topográficos proporciona una herramienta sencilla para realizar estudios preliminares del terreno, teniendo como restricción la zona de cobertura, debido a que el usuario debe ser capaz de desplazarse por toda la zona para realizar el levantamiento de información de manera completa.

Al estar desarrollada para Android, que es la plataforma móvil más utilizada en México y estar publicada en la tienda de aplicaciones de Google Play, puede ser instalada y utilizada por un gran número de usuarios, en este caso particular, de manera gratuita.

Las características propias de los sensores incluidos en la mayoría de los teléfonos inteligentes y del mismo sistema de geoposicionamiento, limitan la precisión de los datos geoespaciales obtenidos, sin embargo, estos datos pueden servir sin problema para la realización de estudios preliminares, estudios de reconocimiento general de zonas de interés, censos o levantamientos que no requieran de exactitud muy precisa o incluso anteproyectos topográficos.

De acuerdo a la validación de la aplicación por parte de un experto en la materia, la aplicación cumple de manera aceptable con su funcionalidad principal. Comenta que tanto la interfaz de usuario, así como las funciones diseñadas para realizar el trabajo son las adecuadas, menciona de manera individual que cada una de las herramientas de análisis y visualización de la información topográfica son apropiadas.

Además, la aplicación ofrece una característica muy importante, que es la de permitir exportar la información a un formato de intercambio de datos geográficos, como lo es el formato geojson, para que los resultados del levantamiento puedan ser vistos y analizados en algún otro software que permita el análisis y la visualización de información geográfica.

## REFERENCIAS

- Abrahamsson, P. (2004). Mobile-D: An Agile Approach for Mobile Application . *University of Oulu, Department of Information Processing Science,*, 174-175. Retrieved from VTT, MOBILE-D: <http://agile.vtt.fi/mobiled.html>
- agile.vtt.fi. (2015). *AGILE*. Retrieved from <http://agile.vtt.fi/mobiled.html>
- AndroidPlot. (2019, Diciembre 1). *AndroidPlot*. Retrieved from AndroidPlot: <http://androidplot.com/>
- ArcGIS Help*. (2015, Diciembre 6). Retrieved from Getting Started: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>
- Bourke, P. (1987). CONREC, A Contouring Subroutine. *BYTE*.
- Brothaler, K. (2013). *OpenGL ES 2 for Android*. The Pragmatic Programmers.
- Colombana, C. I., Reyes, J. I., & Carlevaro, M. (2015). *EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD POSICIONAL PLANIMETRICA DE GOOGLE EARTH PARA URUGUAY*. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/0B0R54rI8Eyf1V0ZubVdwUmJaVjQ/view>
- Cosas que ocurren en un elipsoide llamado tierra*. (2015, Octubre 29). Retrieved from IES Gaia: <http://iesgaia.edu.gva.es/departamentos/matematicas2/2015/10/29/cosas-que-ocurren-en-un-elipsoide-llamado-tierra/>
- Davis, R. E., Foote, F., & Kelly, J. (1976). *Tratado de topografía*. Aguilar.
- Diego, J. P. (2014, Agosto 14). *navegar.com*. Retrieved from Cómo funciona el sistema de localización por GPS: <http://www.navegar.com/como-funciona-el-sistema-de-localizacion-por-gps/>
- Digital Globe*. (2015). Retrieved from Digital Globe: <https://www.digitalglobe.com/>
- Domínguez, J. A. (2014, Noviembre 12). *Coordenadas geográficas*. Retrieved from paralelos y meridianos, latitud y longitud: <http://jadonceld.blogspot.mx/2014/11/coordenadas-geograficas-paralelos-y.html>
- ESRI*. (2015). Retrieved from ArcGIS: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000012000000.htm>
- ESRI*. (2018, Diciembre 2). *ESRI Products*. Retrieved from ESRI: <http://www.esri.com/products>
- GPS, T. (2019, Enero 5). *SIGSA*. Retrieved from Tienda GPS: <http://www.tiendagps.com.mx/computadoras-trimble>
- Grady Booch, J. R. (2007). *Lenguaje Unificado de Modelado*. Pearson - Addison-Wesley.
- Hansen, F. (2015). *Cartografía básica*. México: INEGI.

- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS: posicionamiento satelita*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- IETF. (2016, Agosto). <https://geojson.org/>. Retrieved from <https://geojson.org/>: <https://geojson.org/>
- IFT. (2018, Agosto 1). *Instituto Federal de Telecomunicaciones*. Retrieved from <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/2ite18v3.pdf>
- INEGI. (2015, Diciembre 5). *Modelos digitales de elevación*. Retrieved from Datos de relieve: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/quesmde.aspx>
- INEGI. (2015, Diciembre 5). *Proyecciones cartográficas*. Retrieved from Tipología y: [http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/Proyecciones\\_Cartograficas\\_tipologia\\_%20y\\_claves\\_cartograficas.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/Proyecciones_Cartograficas_tipologia_%20y_claves_cartograficas.pdf)
- INEGI. (2015, Diembre 7). *Red Geodésica Nacional Activa*. Retrieved from INEGI Geodesia: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/rgna.aspx?p=22>
- Ivi. (2014, Septiembre 12). *wikimedia*. Retrieved from coordenadas: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa\\_coordenadas\\_geogr%C3%A1ficas\\_editado.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa_coordenadas_geogr%C3%A1ficas_editado.jpg)
- Khronos Group. (2018). *khronos.org*. Retrieved from [khronos.org](http://www.khronos.org): <https://www.khronos.org/opengles/>
- klewitz, m. (2019, Mayo). <https://plugins.jetbrains.com/plugin/7324-code-iris>. Retrieved from <https://plugins.jetbrains.com/plugin/7324-code-iris>: <https://plugins.jetbrains.com/plugin/7324-code-iris>
- Lehmann, C. H. (1989). *Geometría Analítica*. Limusa.
- Lerma, M. J. (2012). *INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LA GEODESIA*. Madrid: Instituto de Astronomía y Geodesia.
- Martha. (2011, Octubre 12). *PRÁCTICA DE GEOGRAFÍA*. Retrieved from PRÁCTICA V: <http://practicadebiologiaii.blogspot.mx/2011/10/bloque-iv.html>
- Martinez, C. (2018, 07 23). <http://www.eluniversal.com.mx>. Retrieved from Android domina mercado nacional de smarthphones: <http://www.eluniversal.com.mx/cartera/telecom/android-domina-mercado-nacional-de-smartphones>
- Matlab*. (2018, Julio 5). Retrieved from Comparison of Four Interpolation Methods: <https://www.mathworks.com/help/matlab/math/interpolating-gridded-data.html>
- NASA. (2015). Retrieved from Aster: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- NASA. (2018). *ASTER*. Retrieved from <https://search.earthdata.nasa.gov/search>
- Nociones de Topografía, Geodesia y Cartografía*. (1999). Extremadura: Universidad de Extremadura Servicio de publicaciones.

- OOPSLA. (2004, Octubre). *OOPSLA*. Retrieved from OOPSLA:  
<http://www.oopsla.org/2004/ShowEvent.do?id=580>
- OPENGL ES. (2013, Noviembre 14). Retrieved from FUNDAMENTOS BÁSICOS:  
<http://www.creationalstate.com/2013/opengl-es-fundamentos-basicos>
- OSGeo. (2018). <https://www.qgis.org/es/site/>. Retrieved from <https://www.qgis.org/es/site/>:  
<https://www.qgis.org/es/site/>
- OXTS. (2015). Retrieved from GPS Base Station: <http://www.oxts.com/products/rt-base-gps-base-station/>
- Pascual, J. A. (2018, Julio 07). *computerhoy.com*. Retrieved from computerhoy.com:  
<https://computerhoy.com/reportajes/industria/android-vs-iphone-guerra-smartphones-cifras-271447>
- Representación tridimensional de una zona*. (2015, Diciembre 5). Retrieved from Mapas geográficos: <http://www.jisanta.com/Geologia/Maqueta.htm>
- SIGSA. (2018). *SIGSA*. Retrieved from SIGSA: <https://www.sigsa.info/es-mx/home>
- SIGSA. (2019). *Tienda GPS*. Retrieved from Productos:  
<http://www.tiendagps.com.mx/computadoras-trimble>
- smart-gsm. (2015). <http://www.smart-gsm.com/>. Retrieved from <http://www.smart-gsm.com/>:  
<http://www.smart-gsm.com/>
- Tomlinson, R. (2008). *Pensando en el SIG*. California: Esri Press.
- Universidad de Salamanca*. (2015, Diciembre 7). Retrieved from SIG:  
[http://www.stig.usal.es/objetos/capas\\_sig.png](http://www.stig.usal.es/objetos/capas_sig.png)
- unocero. (2018, Julio 23). *No crearás lo aplastante que es el dominio de Android sobre iOS en México*. Retrieved from Stio Web UNOCERO: <https://www.unocero.com/smartphones/no-creeras-lo-aplastante-que-es-el-dominio-de-android-sobre-ios-en-mexico/>
- VTT. (2004, Octubre). *AGILE SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGIES AT VTT ELECTRONICS*. Retrieved from <http://agile.vtt.fi/prodserv.html>: <http://agile.vtt.fi/prodserv.html>
- xatakandroid. (2018, Julio 7). *Solo el 4,6% de los dispositivos Android están actualizados a la versión 8.0/8.1 Oreo*. Retrieved from [www.xatakandroid.com](http://www.xatakandroid.com):  
<https://www.xatakandroid.com/mercado/solo-el-4-6-de-los-dispositivos-android-estan-actualizados-a-la-version-8-0-8-1-oreo>
- Zans, I. (2017, Julio 25). *GPS, Glonass y Galileo*. Retrieved from GPS, Glonass y Galileo:  
<http://www.infoespacial.com/es/2017/07/25/noticia-navegacion-europea-frente-glonass.html>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Sistema de coordenadas. (OPENGL ES, 2013) .....	8
Ilustración 2. Mapa con un sistema de coordenadas. (Ivi, 2014).....	9
Ilustración 3. Paralelos y meridianos de la tierra. (Domínguez, 2014) .....	9
Ilustración 4. Capas de información de un SIG. (Universidad de Salamanca, 2015).....	10
Ilustración 5. Equipo topográfico, estación total a), teodolito b). .....	11
Ilustración 6. Resultado de un levantamiento topográfico, curvas de nivel. (Martha, 2011) .....	12
Ilustración 7. Perfil del terreno. (Representación tridimensional de una zona, 2015) .....	12
Ilustración 8. Principales sistemas operativos para dispositivos móviles. (Pascual, 2018).....	13
Ilustración 9. Uso por plataforma móvil en México. (Martinez, 2018).....	13
Ilustración 10. Funcionamiento de un GPS. (Diego, 2014) .....	14
Ilustración 11. Forma de la tierra. (Cosas que ocurren en un elipsoide llamado tierra., 2015) .....	18
Ilustración 12. Tipos de proyecciones. (INEGI, Proyecciones cartográficas, 2015).....	19
Ilustración 13. Representación de la proyección UTM. (Hansen, 2015) .....	20
Ilustración 14. Modelo ráster y vectorial. ....	21
Ilustración 15. Escala de mapa reducción 1:50 a), 1:10 b).....	22
Ilustración 16. Modelo digital de elevación. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015) .....	23
Ilustración 17. Método fotogramétrico. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015) .....	24
Ilustración 18. Captura de LiDAR. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015).....	25
Ilustración 19. DGPS utiliza satélites y estaciones terrestres. (OXTS, 2015).....	26
Ilustración 20. Cobertura de la RGNA. (INEGI, Red Geodésica Nacional Activa, 2015) .....	27
Ilustración 21. Logo de Digital Globe. (Digital Globe, 2015) .....	27
Ilustración 22. Modelo de elevación. (INEGI, Modelos digitales de elevación, 2015) .....	28
Ilustración 23. Ejemplo de un producto ASTER. (NASA, 2015) .....	29
Ilustración 24. Plataforma integral ArcGIS. (ESRI, 2015).....	31
Ilustración 25. Arc Scene con información del terreno en 3D. ....	31
Ilustración 26. Pantalla de ArcGIS Pro.....	32
Ilustración 27. Caso de uso de nuevo proyecto. ....	37
Ilustración 28. Diagrama de clases.....	38
Ilustración 29. Modelo de datos. ....	39
Ilustración 30. Etapa de Mobile-D. (agile.vtt.fi, 2015) .....	40
Ilustración 31. Curvas de nivel. ....	44
Ilustración 32. Principales opciones de la aplicación. ....	46
Ilustración 33. Formulario para capturar nombre del proyecto. ....	46
Ilustración 34. GPS activado en la aplicación. ....	47
Ilustración 35. Levantamiento de vértices. ....	47
Ilustración 36. Límites del área de estudio. ....	48
Ilustración 37. Configuración del levantamiento. ....	49
Ilustración 38. Puntos para realizar el levantamiento. ....	49
Ilustración 39. Levantamiento de datos en campo.....	50
Ilustración 40. Curvas de nivel. ....	51
Ilustración 41. Parámetros de la rutina. (Bourke, 1987).....	52

Ilustración 42. Vértices usados en cada iteración.....	53
Ilustración 43. Puntos con coordenadas.....	53
Ilustración 44. Casos del algoritmo. (Bourke, 1987) .....	54
Ilustración 45. Gráfica del perfil del terreno.....	56
Ilustración 46. Modelo 3D del terreno.....	57
Ilustración 47. Escala de colores. ....	57
Ilustración 48. Arreglo con los valores de altura. (Brothaler, 2013) .....	58
Ilustración 49. Tipos de interpolación. (Matlab, 2018) .....	59
Ilustración 50. Perfil de terreno con interpolación lineal. ....	61
Ilustración 51. Perfil del terreno con interpolación cubica.....	62
Ilustración 52. Modelo 3D sin interpolación.....	62
Ilustración 53. Modelo 3D con interpolación cubica. ....	63
Ilustración 54. Directorio donde se generan los archivos.....	64
Ilustración 55. Modelo 3D en 3 equipos diferentes.....	65
Ilustración 56. Panel de exploración. ....	66
Ilustración 57. Datos en QGIS con mapa base de google maps. ....	67
Ilustración 58. Acercamiento al terreno de estudio sin mapa base. ....	67
Ilustración 59. Archivos geojson en ArcMap.....	68
Ilustración 60. Datos en ArcGIS con un servicio de imágenes aéreas como fondo .....	68
Ilustración 61. Área de estudio. ....	69
Ilustración 62. Distancia entra los vértices. ....	69
Ilustración 63. Ing. Edgar Ríos con el equipo TopCon GR5. ....	70
Ilustración 64. Puntos levantados en la colectoras TopCon.....	71
Ilustración 65. Equipo Huawei utilizado para la prueba. ....	71
Ilustración 66. Puntos recolectados.....	73
Ilustración 67. Polígonos generados. ....	74
Ilustración 68. Datos del experto en geografía.....	76
Ilustración 69. Aplicación en la tienda de Google Play. ....	78
Ilustración 70. Aplicación en el sitio web de Google Play.....	78
Ilustración 71. Panel de Google Play.....	79
Ilustración 73. Registro de la aplicación ante INDAUTOR.....	80



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes sistemas de posicionamiento global existentes. (Zans, 2017).....	15
Tabla 2. Aplicaciones existentes.....	16
Tabla 3. Sistemas de posicionamiento global. (Zans, 2017).....	26
Tabla 4. Equipos GPS Trimble. (SIGSA, 2019).....	30
Tabla 5. Versiones de Android y su distribución. (xatakandroid, 2018). ....	33
Tabla 6. Componentes externos para Android. ....	34
Tabla 7. Diseño preliminar. ....	35
Tabla 8. Diseño preliminar. ....	36
Tabla 9. Pantallas de la sección de gestión de proyectos. ....	42
Tabla 10. Pantallas de la sección de levantamiento. ....	43
Tabla 11. Pantallas de resultados del análisis. ....	45
Tabla 12. Sección de ayuda y acerca de. ....	45
Tabla 13. Equipos de desarrollo. (smart-gsm, 2015).....	65
Tabla 14. Tabla de equipos utilizados en la prueba. ....	70
Tabla 15. Puntos levantados con cada equipo.....	72
Tabla 16. Diferencia entre cada punto con respecto a los puntos de la TopCon. ....	72
Tabla 17. Diferencias de áreas y perímetros.....	75

## GLOSARIO

**Algoritmo.** Procedimiento lógico-matemático, aplicado para resolver un problema.

**Altimetría.** Determinación de las cotas de los diferentes puntos del terreno, con respecto al plano horizontal de comparación, el cual, aunque puede ser tomado a una altura arbitraria, en general se relaciona con el plano horizontal teórico formado por el nivel medio del mar.

**Altitud.** Distancia vertical sobre el elipsoide o geoide. Siempre se almacena como altura sobre el elipsoide, pero puede visualizarse como altura sobre el nivel medio del mar.

**Aplicación.** Programa diseñado para una determinada función

**Azimut.** Ángulo que forma una línea con la dirección Norte-Sur, medida de 0º a 360º en el sentido de las manecillas del reloj.

**Base de datos relacional.** Colección de datos organizada y relacionada, para evitar duplicaciones y permitir la obtención de datos combinados, satisfaciendo la necesidad de usuarios con diferentes necesidades de información.

**Cartografía.** Representación del terreno sobre un plano. Conjunto de técnicas para la elaboración de mapas o planos realizados a través de datos topográficos, geodésicos y fotogramétricos.

**Coordenadas.** Cada una de las magnitudes que determinan la posición de un punto en un sistema de referencia.

**Curvas de nivel.** Líneas que unen puntos de igual elevación en un terreno, referidas a un datum de nivel.

**Elevación.** Distancia vertical sobre del geoide o del nivel medio del mar.

**Geodesia.** Estudio global de la forma y dimensiones de la Tierra. La Tierra es un geoide con variaciones, se puede representar como un elipsoide de 6378 km de radio en el ecuador y 6357 km en los polos. Considerando que la Tierra es una esfera se utilizan las coordenadas geográficas (latitud y longitud).

**GeoJSON.** Javascript Object Notation, un formato de texto que es muy rápido de analizar en máquinas virtuales JavaScript. En el ámbito espacial, la especificación extendida GeoJSON se utiliza frecuentemente.

**GIS.** Geographic Information System o SIG, sistema de información geográfica. Un SIG captura, almacena, analiza, gestiona y representa datos vinculados a una locación.

**Huso.** Sección de un globo limitado por dos meridianos o círculos máximos, el volumen esférico correspondiente se llama cuña. En la proyección UTM cada huso viene determinado por dos meridianos separados por una diferencia de longitud de seis grados sexagesimales.

**Mapa.** Representación gráfica del terreno o de una parte de la superficie terrestre, en un plano. Se clasifican en función de su extensión, por la finalidad que persigan y por la escala.

**Modelo Digital de Elevación (MDE).** Representación digital de la topografía de la Tierra. Los MDE permiten que la altura sea adicionada a una imagen, ofrece imágenes con efecto tridimensional.

**Modelo Digital de Terreno (MDT).** También llamado Modelo digital de elevaciones (MDE) es una estructura digital de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información de un MDT es un valor de elevación Z, al que acompañan los valores correspondientes de X e Y, que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial.

**NMEA.** especificación combinada eléctrica y de datos entre aparatos electrónicos marinos y, también, más generalmente, receptores GPS.

**Lenguaje de programación.** Conjunto de sentencias utilizadas para escribir secuencias de instrucciones para ser ejecutadas en una computadora.

**Levantamiento topográfico.** Es el conjunto de operaciones necesarias para determinar geoméricamente el contorno de una figura (relieve).

**Raster.** Modelo de datos de un SIG basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se le asigna el valor de elevación.

**Resolución.** La resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga.

**SQL.** Structured query language es él es el medio estándar para la consulta de bases de datos relacionales.