



**Desarrollo de una aplicación geodésico - topográfica y cartográfica para la  
resolución de problemas geomáticos habituales**

Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda y Zapata Ramos, María Belén

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio

Ambiente

MSc. Leiva González, César Alberto

18 de agosto del 2021

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** DIAZ\_ZAPATA\_Desarrollo de una aplicación geodésico.docx  
(D111401695)  
**Submitted:** 8/18/2021 1:04:00 AM  
**Submitted By:** iisinde@espe.edu.ec  
**Significance:** 2 %

### Sources included in the report:

TESIS\_BALLESTEROS\_CORREGIDO\_FINAL.pdf (D98426867)  
[https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/120148/TFM\\_GarciaTenderoJP\\_Desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=yG](https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/120148/TFM_GarciaTenderoJP_Desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=yG)  
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20492/T3896.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/12300/TM-1794-Salazar%20Espinoza%2C%20Richard%20Jonel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### Instances where selected sources appear:

7

Firma:

CESAR  
ALBERTO  
LEIVA  
GONZALEZ

Firmado digitalmente por CESAR ALBERTO  
LEIVA GONZALEZ  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=SECURITY DATA S.A., ou=ENTIDAD DE  
CERTIFICACION DE INFORMACION,  
serialNumber=310220175540, cn=CESAR  
ALBERTO LEIVA GONZALEZ  
Fecha: 2021.09.06 13:18:21 -0500'

Ing. Leiva González, César Alberto, MSc

DIRECTOR



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Desarrollo de una aplicación geodésico - topográfica y cartográfica para la resolución de problemas geomáticos habituales**” fue realizado por las señoritas **Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda y Zapata Ramos, María Belén** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 de agosto 2021

CESAR  
ALBERTO  
LEIVA  
GONZALEZ

Firma:

Firmado digitalmente por CESAR  
ALBERTO LEIVA GONZALEZ  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=SECURITY DATA S.A.,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION,  
serialNumber=310320175049,  
cn=CESAR ALBERTO LEIVA  
GONZALEZ  
Fecha: 2021.09.06 13:18:08 -05'00'

Ing. Leiva González, César Alberto, MSc

C. C.: 1715416689



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotras, **Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda y Zapata Ramos, María Belén**, con cédulas de ciudadanía N° 1724885965 y 1755015821, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Desarrollo de una aplicación geodésico - topográfica y cartográfica para la resolución de problemas geomáticos habituales"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 18 de agosto 2021**

**Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda**

C.C.: 1724885965

**Zapata Ramos, María Belén**

C.C.: 1755015821



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotras, **Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda y Zapata Ramos, María Belén**, con cédulas de ciudadanía N° 1724885965 y 1755015821, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Desarrollo de una aplicación geodésico - topográfica y cartográfica para la resolución de problemas geomáticos habituales"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 18 de agosto 2021

**Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda**

C.C.: 1724885965

**Zapata Ramos, María Belén**

C.C.: 1755015821

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto principalmente a Dios por permitirme llegar a cumplir este objetivo, a mi madre Aurelia y a mi hermano Carlos, pilares fundamentales e importantes en mi vida. A mis tíos y primos quienes han estado muy pendientes de mí y por compartir momentos importantes conmigo. Gracias a cada uno de ustedes porque de alguna manera me apoyaron, me entregaron su confianza y su amor durante todos estos años para llegar a mi meta. Por último y no menos importante a mi compañera de tesis María Belén, por siempre estar ahí, aconsejarme y no dejar que desvanezca durante este largo camino, sin duda una amistad que perdurará con el paso del tiempo.

***Díaz Valarezo, Mayleen Fernanda.***

La Universidad me dio la bienvenida a este mundo como tal, me ha brindado oportunidades dentro de mi recorrido por la vida que nunca pensé tener. Dedico este proyecto a mi madre quien ha sabido apoyarme y fortalecerme con sus buenos sentimientos, a mi hermano por ser un pilar fundamental de aprendizaje día a día, a mi persona favorita que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos, mis tíos, primos, primas y familia en general quienes a pesar de las dificultades han sido un estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. Quedo agradecida con mi compañera de tesis quien a pesar de los contratiempos siempre supo cómo apoyarme para continuar con nuestra meta propuesta.

***Zapata Ramos, María Belén.***

## **Agradecimiento**

Queremos expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestras vidas, por guiarnos, apoyarnos y fortalecernos en aquellos momentos de dificultad.

Agradecemos a nuestro tutor el Ing. César Leiva quien ha sido un apoyo incondicional en nuestra formación profesional, por ser quien principalmente a promovido nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, además de sus valiosos consejos.

Al Ingeniero Izar Sinde, quien ha colaborado con sus valiosos conocimientos que nos hicieron crecer día a día como profesionales, gracias a su paciencia, dedicación y apoyo.

Finalmente expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente con su director a cargo Ing. Alexander Robayo por siempre estar al pendiente de todos sus estudiantes y su colaboración incondicional quien permitió la culminación exitosa de este trabajo.

## Tabla de Contenidos

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de Contenidos.....	8
Índice de Tablas .....	12
Índice de Figuras .....	13
Resumen .....	14
Abstract .....	15
Capítulo I .....	16
Planteamiento del Problema de Investigación .....	16
Antecedentes .....	16
Justificación e Importancia .....	19
Alcance .....	21
Objetivos .....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos.....	21
Descripción General del Trabajo .....	22
Capítulo II .....	24
Conceptos y Generalidades.....	24
Geodesia.....	24
Superficies de Referencia .....	24

Tipos de Alturas.....	25
Reducción de medidas al elipsoide.....	26
Sistema geodésico de referencia.....	28
Marco geodésico de referencia.....	29
Datum geodésico.....	30
Sistemas de coordenadas.....	30
Problema geodésico directo e inverso.....	34
Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos de referencia PSAD56 y WGS84 para el Ecuador.....	37
Modelo Digital de Elevación – SRTM.....	38
Cartografía.....	39
Campo de proyección.....	39
Deformaciones.....	39
Proyecciones cartográficas.....	40
Representación conforme de Gauss.....	41
Proyección Transversal de Mercator (TM).....	43
Sistema de proyección Universal Transversa de Mercator.....	44
Planos Topográficos Locales (PTL).....	46
Proyección Local Transversa de Mercator (LTM).....	47
Topografía.....	49
Planimetría.....	49
Mediciones angulares.....	49

	10
Problema directo e inverso de la topografía .....	51
Programación .....	53
Lenguajes de programación.....	53
Programación Web .....	53
Diseño de página web .....	54
Capítulo III .....	56
Marco Metodológico.....	56
Proceso para el desarrollo de la aplicación geodésico topográfica y cartográfica .....	57
Determinación y recopilación bibliográfica .....	57
Diseño de Algoritmos.....	58
Codificación mediante lenguaje de Programación .....	60
Ejecución y validación de la codificación.....	67
Generación de outputs.....	69
Proceso para el desarrollo de planos topográficos locales (PTLs).....	71
Shapefile de la división político administrativa del Ecuador Continental.....	71
Modelo Digital de Elevación – SRTM.....	72
Diseño de Algoritmo.....	76
Codificación mediante lenguaje de Programación .....	77
Ejecución y validación de la codificación.....	85
Generación de outputs.....	85
Proceso para el desarrollo de la página web con su aplicativo .....	86

Estructura de la página web.....	86
Diseño del Interfaz.....	88
Vinculación de los scripts con la página web .....	88
Publicación del Aplicativo Web .....	89
Integración de la herramienta web con el micrositio de la carrera “CIGMA-ITGR” .....	90
Capítulo IV.....	91
Resultados.....	91
Capítulo V.....	94
Conclusiones y Recomendaciones .....	94
Conclusiones.....	94
Recomendaciones.....	96
Referencias.....	97
Anexos.....	104

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Principales parámetros geométricos para los elipsoides <i>Internacional1924/Hayford, GRS80 y WGS84</i> .....	29
<b>Tabla 2</b> Parámetros de transformación del sistema PSAD56 al sistema WGS84 .	38
<b>Tabla 3</b> Sentencias de codificación usadas en html .....	62
<b>Tabla 4</b> Sentencias de codificación usadas en JavaScript.....	65
<b>Tabla 5</b> Codificación por ítem y su comparación .....	68
<b>Tabla 6</b> Sentencias de codificación usadas en JavaScript para generación de resultados en archivos .txt .....	69
<b>Tabla 7</b> Especificaciones imágenes ráster SRTM.....	75
<b>Tabla 8</b> Sentencias de codificación usadas en html para generador de PTL´s .....	77

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Superficies de referencia.....	25
<b>Figura 2</b>	Reducción de la línea base .....	27
<b>Figura 3</b>	Coordenadas Cartesianas.....	31
<b>Figura 4</b>	Proyección Universal Transversa de Mercator .....	44
<b>Figura 5</b>	Metodología del Proyecto de Investigación .....	56
<b>Figura 6</b>	Estructura Software PSeInt .....	59
<b>Figura 7</b>	Estructura Diagrama de Flujo.....	60
<b>Figura 8</b>	Entorno Visual Studio Code .....	61
<b>Figura 9</b>	Resultados gráficos de sentencias de codificación para html .....	64
<b>Figura 10</b>	Diagrama de Flujo eliminación de vacíos (voids).....	74
<b>Figura 11</b>	Diagrama Modelo de alturas elipsoidales .....	76
<b>Figura 12</b>	Resultados diseño de sentencias para codificación de PTL's .....	85
<b>Figura 13</b>	Estructura Página Web .....	87
<b>Figura 14</b>	CPanel administrador de archivos.....	90
<b>Figura 15</b>	Código QR página web .....	90

## Resumen

El proyecto de investigación abarca el Ecuador Continental, considerando que el objetivo es desarrollar una aplicación geodésica, topográfica y cartográfica que dé solución a los problemas geomáticos habituales, incluido un generador de planos topográficos locales (PTL's), con la finalidad de generar cartografía a gran escala. Dicha aplicación debe ser de fácil acceso, usable, libre y disponible en la web, debido a esto se ha utilizado los lenguajes de programación asociados a internet como HTML, JavaScript y CSS. De esta manera se tiene como resultado un archivo index.HTML con la estructura de la página web, 18 scripts para soluciones, 4 scripts para estilos y animaciones de la página, finalmente un modelo de alturas elipsoidales de la zona de estudio en formato .tif con resolución de 30 metros y un peso aproximado de 1 GB; gracias a la consolidación de los archivos se obtuvo como resultado la aplicación denominada *SMART IT GEO* que ofrece 27 soluciones desde conversión de grados hasta un generador de parámetros para PTL's por zona de estudio siendo adaptable para navegadores como Microsoft Edge, Google Chrome y Brave, con tiempos de respuesta menores a un minuto para todas las soluciones a excepción del generador de PTL's que tiende a demorar de 1 – 10 minutos. El fin es que tanto estudiantes, academia como profesionales a fines a las ciencias de la tierra hagan uso de la herramienta lo cual ayudará en la densificación, validación y confiabilidad de resultados.

### **PALABRAS CLAVE**

- **ALTURA ELIPSOIDAL**
- **GEOMÁTICA**
- **JAVASCRIPT**
- **PROGRAMACIÓN WEB**
- **PTL**

### **Abstract**

The research project covers Continental Ecuador, considering that the objective is to develop a geodetic, topographic and cartographic application that provides a solution to common geomatics problems, including a local topographic plan generator (PTL's), with the aim of generating large-scale cartography. This application must be easy to access, usable, free and available on the web, which is why programming languages associated with the Internet such as HTML, JavaScript and CSS have been used. The result is an index.HTML file with the structure of the web page, 18 scripts for solutions, 4 scripts for styles and animations of the page, finally a model of ellipsoidal heights of the study area in .tif format with a resolution of 30 metres and an approximate weight of 1 GB; thanks to the consolidation of the files, we obtained as a result the application called SMART IT GEO that offers 27 solutions from degree conversion to a parameter generator for PTL's by study area being adaptable for browsers such as Microsoft Edge, Google Chrome and Brave, with response times of less than one minute for all solutions except for the PTL's generator that tends to take 1 - 10 minutes. The aim is for students, academia and professionals in the earth sciences to make use of the tool which will help in the densification, validation and reliability of results.

### **KEYWORDS**

- **ELLIPSOIDAL HEIGHT**
- **GEOMATICS**
- **JAVASCRIPT**
- **WEB PROGRAMMING**
- **PTL**

## Capítulo I

### Planteamiento del Problema de Investigación

La necesidad de resolver problemas enmarcados en las áreas de geodesia, topografía y cartografía por parte de profesionales, estudiantes y la academia, para generar productos cartográficos a diferentes escalas en el Ecuador Continental, ha revelado inconsistencias en sus precisiones, errores y falta de disponibilidad de algoritmos en la web que facilite la resolución de problemas habituales como: conversión y transformación de coordenadas geodésicas, cartográficas y topográficas, por punto o en bloque, generación de proyecciones locales en zonas de intervención para controlar deformaciones, reducciones al elipsoide, factor de escala de la proyección, problemas directo e inverso de la Geodesia y Topografía.

Por lo tanto, es indispensable concentrar todas las fórmulas, parámetros y especificaciones que otorgan estas ciencias para la adecuada solución de problemas habituales, en una aplicación web de fácil acceso con interfaz amigable para el usuario y que garantice la confiabilidad de sus resultados.

### Antecedentes

El desarrollo de las tecnologías en apenas una década ha pasado de la percepción de internet como una fuente de información a un recurso docente indispensable en el aula. Las ciencias de la información presentan el desarrollo de plataformas web a la cual emplean el diseño de calculadoras para la enseñanza en b-learning como e-learning, siendo un gran recurso didáctico que enriquece el proceso de aprendizaje (Vaca, 2012). Para el diseño es indispensable contemplar la articulación de tres enfoques: cognitivo, visual y de usabilidad (Parra et al., 2020).

De la misma manera el constante avance de la ciencia ha permitido considerar a la topografía, geodesia y cartografía como ciencias íntimamente relacionadas, por lo

general complementarias, es así que el plano o mapa constituye el soporte de información y comunicación más usual. Sin embargo, para la obtención de dicho producto es necesario adquirir información preliminar por ello se considera a la topografía como la ciencia que estudia instrumentos, métodos y procedimientos con la finalidad de determinar las posiciones relativas o absolutas de puntos sobre una parte limitada de la superficie terrestre con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales, al igual que su representación gráfica o analítica a una escala determinada; se encuentra presente en ingeniería para las actividades de: confección del plano topográfico, replanteo en el terreno, control de ejecución y explotación de obras (Peralta et al., 2020).

De esta manera Romero et al. (2013), afirma en su estudio que es importante mantener un sistema único de referencia de coordenadas, a fin de que la cartografía represente los detalles mínimos del terreno, sean fácilmente georrefenciados en campo y de esta manera el usuario pueda integrar nueva información cartográfica a la existente, el problema radica cuando se cuenta con diferentes sistemas de coordenadas y más aún cuando entre sistemas se presentan locales y globales que necesariamente requieren ser transformados para encajar la información.

Así mismo la transformación de coordenadas de puntos que se encuentran en diferentes sistemas geodésicos se lo realiza a partir del surgimiento de nuevos métodos de posicionamiento satelital, por ende es necesario que se defina y estandarice un sistema único de referencia para la cartografía, de manera que a partir de la utilización del sistema WGS84 (*World Geodetic System 1984*), en Ecuador se hizo necesario la transformación de la antigua cartografía referida al PSAD56 (*Provisional South American Datum*) (Romero et al., 2013). Por tal motivo el IGM adoptó los 7 parámetros de transformación para el Ecuador basado en la transformación de Helmert, la misma

que expresa la relación entre dos sistemas de referencia por medio de tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala (Leiva, 2003).

Por otro lado Sánchez (2008), en su estudio para la corrección de observaciones clásicas en levantamientos topográficos combinados, en el cual considera que para alturas elipsoidales superiores a los 1000 m, se deberá considerar la reducción al elipsoide, si se busca mejores exactitudes que las presentes en 1:5 000, independiente de la distancia considerada, a su vez las correcciones de reducción de observables al elipsoide, es correcto considerar que únicamente debe ser tomada en cuenta la reducción de distancias del terreno a la cuerda del elipsoide y además que se convierta en aplicar un factor único de escala para toda una zona, no obstante si se obtiene incremento en la altitud elipsoidal se considera como limitación por lo cual es recomendable dividir la región de trabajo en zonas donde se presente menor variación de altura.

Sevilla & Gil (1988), mencionan que el estudio ejecutado por Molodensky en 1962 establece fórmulas que resuelven el problema directo e inverso de la geodesia al cual denomino método de la cuerda o de Molodensky el mismo que propone un procedimiento de cálculo para redes geodésicas en el que los triángulos geodésicos elipsóidicos, se sustituyen por triángulos planos espaciales cuyos lados son cuerdas del elipsoide, entonces los problemas geodésicos directo e inverso poseen soluciones exactas en forma finita en términos de funciones elementales.

Portilla (2018), analiza que al utilizar la proyección UTM en la generación de cartografía a escalas grandes (1:10 000 y mayores), las deformaciones lineales aumentan a medida que se alejan de los meridianos automecoicos, impidiendo cumplir con las precisiones que la cartografía a detalle requiere. Finalmente, en su estudio

elabora planos topográficos locales (PTL) para el Ecuador continental formado por 7 zonas de estudio, en las cuales sus precisiones cumplen para escalas 1:500 y 1:1000.

Debido a esto, numerosas han sido las necesidades de disponer de herramientas informáticas para los distintos cálculos, tal es que García et al., (2011) presentan en su estudio que desde el simple cálculo de un acimut y distancia entre dos puntos, medidas de superficies encerradas en polígonos irregulares, datos de replanteo de puntos, cálculo de previsión de errores, o las diferentes transformaciones de coordenadas de grandes cantidades de puntos entre unas proyecciones y otras, y entre distintos Sistemas de Referencia Coordinados, se puede elaborar lenguajes de programación (*scripts*) y desarrollo rápido de aplicaciones, en muchas áreas y en la mayoría de plataformas, mediante el paquete chitón, creando así una librería “Geotopo”, que da soporte a la problemática.

En los últimos años se ha desarrollado trabajos ingenieriles referentes a topografía, geodesia y cartografía cuyos fines son levantamientos topográficos, replanteo, redes geodésicas, productos catastrales – cartográficos.

### **Justificación e Importancia**

La necesidad de resolver problemas habituales en los ámbitos geodésicos, topográficos y cartográficos, a la hora de generar cartografía a diferente escala, revelan la escasez de aplicaciones informáticas confiables de fácil y libre acceso para estudiantes y profesionales.

Partiendo desde el simple cálculo de acimut, distancia entre puntos, considerando las hipótesis topográficas y geodésicas, pasando por conversiones y transformaciones de coordenadas hasta el cálculo de planos topográficos locales (PTLs) para el control de deformaciones derivadas de las proyecciones utilizadas,

generan la necesidad de disponer de una aplicación web confiable, amigable y de acceso libre que resuelva los problemas enumerados anteriormente.

Justamente, este es el objetivo del presente proyecto de investigación, el desarrollo de una aplicación geodésica, topográfica y cartográfica mediante lenguajes de programación para la resolución de problemas geomáticos habituales.

El mismo que da soporte al objetivo 1 y 5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en el que se habla de garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas e impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible, de manera redistributiva y solidaria, de modo que este aporte como portal web beneficia a la academia ya que brindará mejores conocimientos prácticos a los estudiantes y referente a los profesionales obtendrán mayor productividad y mejor competitividad debido al adecuado uso de este servicio en sus proyectos (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

Mientras que al definir de manera automatizada Planos Topográficos Locales (PTLs), según zonas de estudio independientes para el Ecuador continental, se pretende cumplir con el objetivo 9 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, el cual garantiza la soberanía, la paz y posiciona estratégicamente al país en la región y el mundo, ya que permite la generación de cartografía en relación al ordenamiento institucional para la implementación de políticas y la operación de control de territorios como zonas fronterizas, marítimas, amazónicas con la finalidad de protección, control y regulación ambiental, económica y de seguridad (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). Finalmente, este proyecto es de gran interés debido a que funciona las necesidades de la academia como de los profesionales que requieren la automatización eficiente de procesos para la correcta entrega y uso de resultados.

## **Alcance**

El trabajo de investigación se enmarca en las áreas de Geodesia, Topografía y Cartografía, debido a que la metodología que se empleará se centra en la generación de una aplicación web con el fin de dar solución a los problemas presentados por estas ciencias, para otorgar facilidad y confianza a los profesionales, académicos y estudiantes que realizan productos cartográficos de ingeniería a diferentes escalas. El área de influencia está conformada por el Ecuador continental, el cual presenta la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) y se extiende sobre los husos 17 – 18, zona Norte y Sur, con Datum WGS84.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Desarrollar una aplicación geodésica, topográfica y cartográfica mediante lenguajes de programación web para la resolución de problemas geomáticos habituales, incluyendo un generador automático de Planos Topográficos Locales (PTLs).

### ***Objetivos Específicos***

- Analizar los problemas habituales que comprende la geodesia, topografía y cartografía aplicados a la realidad nacional mediante recopilación bibliográfica de fórmulas para el diseño de algoritmos.
- Generar los algoritmos correspondientes a los problemas anteriores mediante lenguaje de programación y dar solución a los problemas establecidos por la geodesia, topografía y cartografía.
- Definir Planos Topográficos Locales (PTLs) de forma automatizada en el Ecuador Continental mediante lenguaje de programación y consultas a bases de datos, con el fin de garantizar su uso para la generación de cartografía a gran escala.

- Ejecutar, evaluar y corregir la codificación mediante pruebas aleatorias con datos de casos reales con la finalidad de determinar la confiabilidad de la calculadora.
- Diseñar el interfaz web mediante lenguajes de programación y así vincular los scripts previamente realizados con el fin de consolidar la aplicación web para el uso de estudiantes, profesionales y académicos.

### **Descripción General del Trabajo**

En el presente documento se visualiza la siguiente estructura:

El capítulo 1, muestra de manera general la reseña del trabajo de titulación, acompañado de los antecedentes, justificación e importancia, alcance y objetivos.

El capítulo 2, abarca el estado del arte considerando los temas ligados al proyecto de titulación, de tal forma que detalla la teoría de cada uno de los problemas geomáticos habituales propuestos tomando en cuenta sus fórmulas, descripción y considerando el entorno de desarrollo de comunicación para su simulación como JavaScript, HTML y CSS.

El capítulo 3, describe la metodología para el diseño de algoritmos y diagramas de flujo en pseudocódigo, generación de scripts mediante la codificación de lenguajes de programación en JavaScript, HTML y CSS. Además del prediseño para el modelo de elevación elipsoidal generado en base al modelo SRTM – NASA con ayuda del polígono de la división político administrativa del Ecuador Continental.

El capítulo 4, analiza e interpreta los resultados obtenidos de las codificaciones mediante JavaScript y HTML, comparando sus resultados con software de pago para obtener congruencia en las soluciones propuestas como ArcGIS, Trimble Business Center y Civil 3D.

Para concluir en el capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que llego el presente trabajo de titulación, además de los posibles trabajos que pueden derivar del estudio.

## Capítulo II

### Conceptos y Generalidades

#### **Geodesia**

Según el Instituto Geográfico Nacional (2015), la Geodesia es la ciencia encargada de estudiar la forma y dimensiones de la Tierra, incluyendo la determinación del campo gravitatorio externo de la Tierra, la orientación del fondo oceánico además de la orientación y posición de la tierra en el espacio mediante puntos sobre la superficie terrestre con coordenadas (latitud, longitud, altura).

De esa manera proporciona las técnicas necesarias para determinar las posiciones de una serie de puntos (vértices) distribuidos por toda la zona objeto de sus trabajos y a partir de las cuales se puede deducir la forma de ésta. Es así que estos puntos pueden servir también de apoyo a los trabajos topográficos (Moya & Cedeño, 2017).

#### ***Superficies de Referencia***

Para Drewes et al., (2002), toda nivelación clásica parte de un punto de referencia, el cual es determinado mediante la observación del nivel del mar en largos períodos de tiempo y se asume coincidente con el geoide, sin embargo, el dinamismo que posee el océano presenta diferentes niveles que dependen de la variación temporal de la superficie del mar y de la posición geográfica del mareógrafo. Para ello se termina la superficie equipotencial del campo de gravedad que coincide con el nivel medio del mar en completa calma.

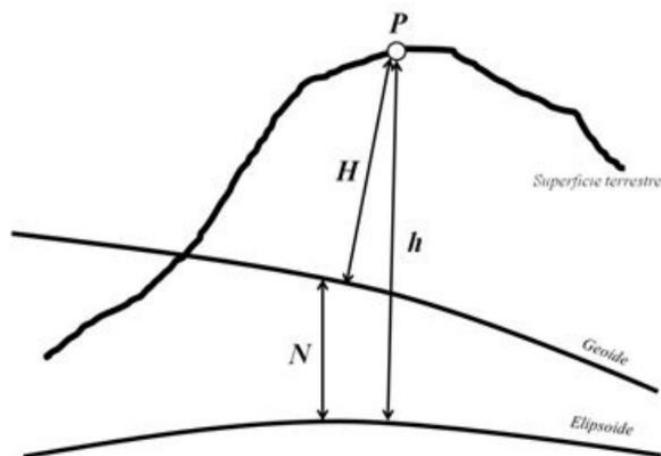
Su determinación, se basa en ciertas teóricas que permiten tener en cuenta dos conceptos:

- *Geoide*, superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre.

- *Cuasi-geoide*, superficie no equipotencial, muy cercana al geoide.

### Figura 1

#### Superficies de referencia



Nota. Tomado de Moya & Cedeño (2017)

#### **Tipos de Alturas**

La altura de un punto sobre la superficie terrestre es la distancia sobre la línea vertical, la determinación se realiza en función de un procedimiento conocido como nivelación el cual puede ser barométrico, trigonométrico, geométrico o espacial. Sin embargo, por la influencia del campo de gravedad terrestre en el proceso de medición, los resultados deben ser cualificados considerando correcciones gravimétricas (Drewes et al., 2002).

Dentro de este marco, se denotan alturas de tipo geométrico (niveladas y elipsoidales), alturas de tipo físico (dinámicas, normales y ortométricas).

Para Moya & Cedeño (2017), la Figura 1 muestra que el punto P ubicado en la superficie terrestre tiene dos coordenadas verticales, la altura elipsoidal ( $h$ ) y la altura física ( $H$ ) cuya distancia se da desde el punto P hasta la normal ubicada en el geoide. Por otra parte, la relación entre el elipsoide y el geoide está dada por la ondulación

geoidal (N), si durante el proceso de nivelación se acompaña de medidas de gravedad y se realiza el procesamiento de forma adecuada, se podrá obtener los números geopotenciales (C).

Si sobre la superficie terrestre se conoce el punto A, de altura elipsoidal  $h_A$  y además mediante mediciones convencionales de nivelación y gravedad se permite conocer las correspondientes alturas ortométricas  $H_A$ , la relación de la ondulación geoidal viene dada por la siguiente ecuación:

$$N_A = h_A - H_A \quad (1)$$

Donde:

$N_A$  : es la ondulación geoidal en el punto A

$h_A$  : es la altura elipsoidal en el punto A

$H_A$  : es la altura ortométrica en el punto A

### ***Reducción de medidas al elipsoide***

Los cálculos para los levantamientos geodésicos, las distancias inclinadas también llamadas distancias oblicuas deben reducirse a la superficie del elipsoide, el método para reducir distancias largas inclinadas a sus longitudes de elipsoide o geodésicas se basa en la diferencia de elevación entre los puntos finales de la línea inclinada (Wolf & Ghilani, 2016).



$$D_2 = \frac{D_1 * R}{R + h_m} \quad (5)$$

Donde:

$$R = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi^2}} \quad (6)$$

$$h_m = \frac{Altura_A + Altura_B}{2} \quad (7)$$

R : radio de curvatura del primer vertical

$h_m$  : altura media entre los dos puntos

Para calcular la distancia geodésica es decir el paso de la cuerda al arco se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_3 = D_2 + \frac{D_2^3}{24R^2} \quad (8)$$

Y por último para calcular el factor de reducción al elipsoide (altura) se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_{reducción} = \frac{D_2}{D} \quad (9)$$

### ***Sistema geodésico de referencia***

Es una estructura geométrica para enlazar las coordenadas de puntos del espacio, se define por la posición del origen, dirección de los ejes, escala y algoritmos para transformación. Considera al sistema elipsoidal de referencia como la representación aproximada de la superficie terrestre mediante un elipsoide de revolución (Valverde, 2020).

Del cual se tienen las siguientes referencias:

**Tabla 1**

*Principales parámetros geométricos para los elipsoides Internacional1924/Hayford, GRS80 y WGS84*

Parámetro	Internacional Hayford	GRS80	WGS84
$a$	6378388 m	6378137 m	6378137 m
$b$	6356911.946 m	6356752.314 m	6356752.314 m
$f$	296.999998230593	298.257221538148	298.25722932869
$1/f$	0.003367003387	0.003352810688	0.003352810672
$e^2$	0.006722670062	0.006694380036	0.006694380004
$e'^2$	0.006768170238	0.006739496788	0.006739496757

*Nota.* Adaptado de Moya & Cedeño (2017).

### **Marco geodésico de referencia**

Es la realización del sistema de referencia y que contempla dos partes: la física, que es la materialización sólida del sistema por medio de un conjunto de puntos, y la matemática que es la determinación de parámetros, por ejemplo, las coordenadas de las estaciones de monitoreo continuo (REGME-IGM). El acceso a estos puntos se da por medio de ocupaciones o mediciones (Moya & Cedeño, 2017).

El ITRF es un marco de referencia geocéntrico global 3D que, rota conjuntamente, con la corteza de la Tierra en su movimiento diurno en el espacio. La más reciente versión del ITRF es ITRF2008, con la época de referencia 2005.00 y la información completa de varianza-covarianza (Federación Internacional de Geómetras, 2017).

### ***Datum geodésico***

Se define como el punto tangente al elipsoide y el geoide, donde ambos son coincidentes también llamado como punto fundamental, está compuesto por un elipsoide y este punto se lo define por las coordenadas geográficas longitud y latitud, además del acimut de una dirección en base al origen del punto fundamental (Fernández-Coppel, 2016).

A menudo se necesita transformar datos entre distintos sistemas de referencia, como la transformación de coordenadas, recientemente, obtenidas de un datum oficial a un datum más antiguo, o viceversa. Este capítulo proporciona información sobre los métodos de transformación entre datums.

Las coordenadas pueden convertirse de un datum a otro si se conoce la relación entre ambos, que describen dos componentes:

- Un set de fórmulas que describen las matemáticas del proceso de transformación
- Un conjunto de parámetros, descritos como parámetros de transformación, que se utilizan en las fórmulas (Moya & Cedeño, 2017).

### ***Sistemas de coordenadas***

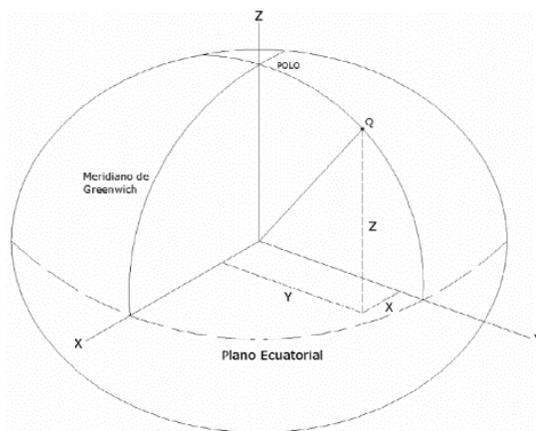
Los sistemas de coordenadas se utilizan para determinar las posiciones sobre la superficie de la Tierra sus correspondientes coordenadas. De ellos derivan los conceptos de latitud, longitud, paralelos y meridianos empleados para establecer las coordenadas geográficas de un punto (Malpica & Sevilla, 2006).

Las coordenadas cartesianas están definidas por una terna ordenada de ejes mutuamente perpendiculares (XYZ). De esta manera un sistema de ejes cartesiano puede soportar un sistema geodésico con estas características:

- El origen del sistema está ubicado en centro de masas de la tierra.
- El eje Z es coincidente con el eje de rotación de la tierra y formando un ángulo recto con el eje X
- Plano Ecuatorial medio perpendicular al eje Z (plano XY)
- Plano XZ formado por el plano del meridiano de Origen.
- El eje Y es coincidente con el plano Ecuatorial y forma ángulo recto con el eje X, definiendo un sistema dextrógiro (giro hacia la derecha).

**Figura 3**

*Coordenadas Cartesianas*



*Nota.* Tomado de Drewes et al., 2002

Las coordenadas geográficas globales (esféricas), son usadas para muchas representaciones ya que es preferible un sistema esférico global, la relación entre las coordenadas esféricas y las cartesianas es un producto de matrices correspondiente a la parametrización regular de la esfera (Furones, 2010).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \sin v \cos \lambda \\ \sin v \sin \lambda \\ \cos v \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (10)$$

Donde:

r : distancia radial a geo centro

$u$  : distancia polar (colatitud)

$\lambda$  : longitud del punto

$\varphi$  : latitud del punto

En las coordenadas geodésicas (elipsoidales), el sistema elipsoidal de superficie se extiende al espacio mediante la inclusión de la altura  $h$  (elipsoidal o geométrica) del punto sobre el elipsoide, medido a lo largo de la normal, utilizando el radio  $N$  con la ecuación 11 y se puede convertir las coordenadas elipsoidales a cartesianas utilizamos la ecuación 12, y la inversa de esta en función de las ecuaciones (13-15).

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{0.5}} \quad (11)$$

$$\vec{r} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\ ((1 - e^2)N + h) \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde:

$N$  : radio de curvatura normal

$h$  : altura elipsoidal del punto

$\lambda$  : longitud del punto

$\varphi$  : latitud del punto

Conversión de coordenadas cartesianas a geodésicas:

$$\varphi = \frac{\text{atan}(Z + e^2 N \sin \varphi)}{(X^2 + Y^2)^{0.5}} \quad (13)$$

$$\lambda = \text{atan} \frac{Y}{X} \quad (14)$$

$$h = X \sec \lambda \sec \varphi - N \quad (15)$$

Las coordenadas locales topocéntricas, consisten en un sistema de referencia local, ligado al campo de gravedad, el origen es el punto del observador “topocentro”, donde se proyecta un plano tangente a la tierra. El eje z apunta en la dirección del cenit, perpendicular al plano x, y.

Por otro lado, el eje x apunta hacia el norte elipsoidal (meridiano). x, y, z equivalen a norte (n), este (e) y “up” (u) (Morales, 2018).

Para la conversión de coordenadas topocéntricas a cartesianas globales se utiliza las siguientes fórmulas:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R^{-1} * \begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Donde:

$$R^{-1} = R^T = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \\ 0 & \cos \varphi_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Donde:

$X_0$ ,  $Y_0$  y  $Z_0$  : son las coordenadas de origen topocéntrico

$\lambda_0$  : es la longitud en el punto origen 0

$\varphi_0$  : es la latitud en el punto de origen 0

Y para la conversión de coordenadas cartesianas globales a topocéntricas se utiliza las siguientes fórmulas:

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Donde:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Donde:

$X_0$ ,  $Y_0$  y  $Z_0$  : son las coordenadas de origen topocéntrico

$\lambda_0$  : es la longitud en el punto origen 0

$\varphi_0$  : es la latitud en el punto de origen 0

### ***Problema geodésico directo e inverso***

Bowring dedujo ecuaciones para los problemas directo e inverso en función de las líneas geodésicas de hasta 150 km de longitud. El método usa una proyección conforme del elipsoide en una esfera, llamada la proyección gaussiana de segunda clase (Rapp, 2002).

El procedimiento para la solución directa e inversa no es iterativo usando las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones comunes

$$A = (1 + e'^2 \cos^4 \varphi_1)^{1/2} \quad (20)$$

$$B = (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1)^{1/2} \quad (21)$$

$$C = (1 + e'^2)^{1/2} \quad (22)$$

$$w = \frac{A(\lambda_2 - \lambda_1)}{2} \quad (23)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (24)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad (25)$$

**Problema directo.**

$$\sigma = \frac{sB^2}{aC} \quad (26)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \frac{1}{A} \tan^{-1} \left( \frac{A \tan \sigma \sin \alpha_{12}}{B \cos \varphi_1 - \tan \sigma \sin \varphi_1 \cos \alpha_1} \right) \quad (27)$$

$$D = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left[ \sin \sigma \left( \cos \alpha_{12} - \frac{1}{A} \sin \varphi_1 \sin \alpha_{12} \tan \omega \right) \right] \quad (28)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + 2D \left[ B - \frac{3}{2} e'^2 D \sin(\sin \varphi_1 \sin \alpha_{12} \tan \omega) \right] \quad (29)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{-B \sin \alpha_{12}}{\cos \sigma (\tan \sigma \tan \varphi_1 - B \cos \alpha_1)} \right) \quad (30)$$

**Problema inverso.**

$$D = \frac{\Delta\varphi}{2B} \left[ 1 + \frac{3e'^2}{4B^2} \Delta\varphi \sin \left( 2\varphi_1 + \frac{2}{3} \Delta\varphi \right) \right] \quad (31)$$

$$E = \sin D \cos \omega \quad (32)$$

$$F = \frac{1}{A} \sin \omega (B \cos \varphi_1 \cos D - \sin \varphi_1 \sin D) \quad (33)$$

$$\tan G = \frac{F}{E}; \sin \frac{\sigma}{2} = (E^2 + F^2)^{1/2} \quad (34)$$

$$\tan H = \left[ \frac{1}{A} (\sin \varphi_1 + B \cos \varphi_1 \tan d) \tan \omega \right] \quad (35)$$

$$\alpha_1 = G - H; \alpha_2 = G + H \pm 180^\circ; s = \frac{aC\sigma}{B^2} \quad (36)$$

Las fórmulas de Vicenty son un algoritmo eficiente para el cálculo de la distancia entre dos puntos de la superficie y que son muy utilizadas en geodesia. El algoritmo fue publicado en 1975 por Vicenty Thaddeus (Vicenty, 1975).

El procedimiento para la solución directa e inversa es iterativo usando las siguientes ecuaciones:

**Problema directo.**

$$\tan \sigma_1 = \tan U_1 / \cos \alpha_1 \quad (37)$$

$$\cos \alpha = \cos U_1 \sin \alpha_1 \quad (38)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} \{4096 + u^2[-768 + u^2 (320 - 175u^2)]\} \quad (39)$$

$$B = \frac{u^2}{16384} \{256 + u^2[-128 + u^2 (74 - 47u^2)]\} \quad (40)$$

$$2\sigma_m = 2\sigma_1 + \sigma \quad (41)$$

$$\Delta\sigma = B \sin \sigma \left\{ \cos 2\sigma_m + \frac{1}{4}B \left[ \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m) - \frac{1}{6}B \cos 2\sigma_m (-3 + 4 \sin^2 \sigma)(-3 + 4 \cos^2 2\sigma_m) \right] \right\} \quad (42)$$

$$\sigma = \frac{s}{bA} + \Delta\sigma \quad (43)$$

Las ecuaciones (41), (42) y (43) se repiten hasta que tiene un cambio insignificante en  $\sigma$ . La primera aproximación de  $\sigma$  es el primer término de (43).

$$\tan \varphi_2 = \frac{\sin U_1 \cos \sigma + \cos U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1}{(1-f)[\sin^2 \alpha + (\sin U_1 \sin \sigma - \cos U_1 \cos \sigma \cos \alpha_1)^2]^{1/4}} \quad (44)$$

$$\tan \lambda = \frac{\sin \sigma \sin \alpha_1}{\cos U_1 \cos \sigma - \sin U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1} \quad (45)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2 \alpha [a + f(4 - 3 \cos^2 \alpha)] \quad (46)$$

$$L = \lambda - (1 - C) f \sin \alpha \{ \sigma + C \sin \sigma [\cos 2\sigma_m + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m)] \} \quad (47)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\sin \alpha}{-\sin U_1 \sin \sigma + \cos U_1 \cos \sigma \cos \alpha_1} \quad (48)$$

**Problema inverso.**

$$\lambda = L \text{ (first approximation)} \quad (49)$$

$$\sin^2 \sigma = (\cos U_2 \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda)^2 \quad (50)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_1 \cos U_2 \cos \lambda \quad (51)$$

$$\tan \sigma = \sin \sigma / \cos \sigma \quad (52)$$

$$\sin \alpha = \cos U_1 \cos U_2 \sin \lambda / \sin \sigma \quad (53)$$

$$\cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \sin U_1 \sin U_2 / \cos^2 \alpha \quad (54)$$

$\lambda$  se obtiene por las ecuaciones (46) y (47). Este procedimiento se repite comenzando con la ecuación (50) hasta que el cambio en  $\lambda$  sea insignificante.

$$s = bA(\sigma - \Delta\sigma) \quad (55)$$

Donde  $\Delta\sigma$  proviene de las ecuaciones (39), (40) y (42)

$$\tan \alpha_1 = \frac{\cos U_2 \sin \lambda}{\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda} \quad (56)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{\cos U_1 \sin \lambda}{-\sin U_1 \cos U_2 + \cos U_1 \sin U_2 \cos \lambda} \quad (57)$$

### ***Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos de referencia***

#### ***PSAD56 y WGS84 para el Ecuador***

El IGM como organismo rector de la cartografía en el país, investigo el cálculo de nuevos parámetros de transformación entre los sistemas PSAD56 y WGS84. El cálculo, de estos nuevos parámetros, se basó en el modelo matemático de transformación de semejanza en espacio tridimensional. Esta transformación también es llamada transformación Isogonal, Conforme o de Helmert (Leiva, 2003).

La transformación, expresa la relación entre dos sistemas de referencia por medio de tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala, según la siguiente expresión:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + (1 + \delta) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_x & \varepsilon_y \\ -\varepsilon_x & 2 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (58)$$

**Tabla 2**

*Parámetros de transformación del sistema PSAD56 al sistema WGS84*

7 parámetros de transformación del sistema PSAD56 al sistema WGS84							
Parámetros	$x_0$ (m)	$y_0$ (m)	$z_0$ (m)	$\varepsilon_x$ (seg)	$\varepsilon_y$ (seg)	$\varepsilon_z$ (seg)	$\delta$ (ppm)
Valor	-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447
$\frac{1.96 * RMS}{\sqrt{n}}$	$\pm 1.900$	$\pm 1.172$	$\pm 1.698$	$\pm 0.055$	$\pm 0.0371$	$\pm 0.062$	

*Nota.* Tomado de Leiva, 2003

### Modelo Digital de Elevación – SRTM

Un Modelo Digital de Elevación (DEM), hace referencia a una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar (Burgos, 2012). En este sentido la NASA ha liberado datos de su misión para uso global; con respecto al manejo de escenas altitudinales el *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) es responsable del archivo y distribución del conjunto de datos de la NASA, los productos de datos NASADEM se derivaron de datos de telemetría originales de la *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), una colaboración entre la NASA y la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA), así como la participación de agencias espaciales alemana e italiana, su objetivo principal era generar un DEM casi global utilizando interferometría de radar. Además de los datos de la versión 2 del modelo de elevación digital global (GDEM) *Terra Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer* (ASTER), NASADEM también se basó en los puntos de control terrestre del sistema de altímetro láser de geociencias (ICESat) y del

satélite de elevación de hielo, nubes y tierra (GLAS) de sus tomas LIDAR para mejorar las mediciones de elevación de la superficie que llevaron a una mayor precisión de geolocalización. Otras mejoras de reprocesamiento incluyen la conversión a referencia geoidal, el uso de GDEM, el instrumento de detección remota pancromática satelital y la interpolación para el llenado de vacíos (NASA JPL, 2020).

De esta manera, actualmente es posible obtener acceso a este tipo de información mediante fuentes abiertas como Earth Explorer, Google Earth Engine y USGS, para productos SRTM a 1 arco de segundo, equivalente a 30 metros de resolución espacial.

### **Cartografía**

La cartografía es la ciencia que estudia los diferentes sistemas o métodos para representar una parte o la totalidad de la superficie terrestre sobre un plano, de forma que las deformaciones que se producen sean conocidas manteniéndose dentro de determinados límites o condiciones, dependiendo de las características que se requiere para su representación a una escala reducida, pero de tal modo que todos los elementos y detalles sean claramente visibles (Santamaría, 2011).

### ***Campo de proyección***

Dentro del estudio de las proyecciones se establece un límite hasta donde puede aplicarse un desarrollo respecto del origen de la proyección, para así poder aceptar las deformaciones que se van produciendo y que irán aumentando a medida que nos alejamos del origen (D. Sánchez, 2008).

### ***Deformaciones***

El elipsoide de revolución no es una superficie desarrollable, es así que aplicarlos sobre un plano no será posible y, por tanto la representación de este se dará

con deformaciones que pueden ser superficiales, lineales y angulares (Malpica & Sevilla, 2006).

### ***Proyecciones cartográficas***

Según Lapaine & Usery (2016), las proyecciones cartográficas tienen sus mayores y más frecuentes aplicaciones en la producción de mapas, en los cuales se muestran las partes más pequeñas o más grandes de la superficie de la Tierra, con el fin de elaborar el mapa de una región. Es necesario hacer un estudio geodésico de esa zona y luego visualizar los resultados.

De tal estudio se tienen las siguientes proyecciones:

**Proyección cilíndrica.** Aquellas que proporcionan la apariencia de un rectángulo. El rectángulo puede ser visto como una superficie cilíndrica desenrollada, que puede volverse a enrollar. Puede tener una o dos líneas sin distorsión de escala. Ejemplos clásicos de proyecciones cilíndricas incluyen la proyección conforme de Mercator y la proyección equivalente de Lambert.

**Proyección cónica.** Tiene la vista de una superficie desarrollada en forma de un cono. Puede haber una sola línea o dos líneas como líneas sin ninguna distorsión de escala. Ejemplos clásicos de proyecciones cónicas son la proyección conforme de Lambert y la equivalente de Albers.

**Proyección azimutal.** Aquellas que preservan los azimuts (es decir, las direcciones relativas al Norte en su punto de vista normal). Ejemplos clásicos de proyecciones azimutales incluyen la estereográfica y la azimutal equivalente de Lambert.

### **Representación conforme de Gauss**

Esta representación plantea y resuelve el problema de obtener las fórmulas de correspondencia de una representación cartográfica, cuyas características se han establecido previamente, adoptando procedimientos puramente analíticos, de manera que el problema queda desvinculado de cualquier concepto geométrico.

Estas características la hacen particularmente apropiada para ser usada, como paso intermedio entre el elipsoide y el plano, en la ejecución de los cálculos de las triangulaciones geodésicas (Millán, 2006). Las condiciones de contorno que definen la representación de Gauss son las siguientes:

- Un meridiano determinado del elipsoide (meridiano origen) se debe transformar, en el plano en un segmento de recta a lo largo del cual se conservan las distancias.
- El Ecuador se debe transformar en una recta.
- La representación debe ser conforme.

**Fórmulas de correspondencia directas.** Una vez definidas las condiciones de contorno, se empleará la teoría de variable compleja para encontrar unas expresiones analíticas que las verifiquen. Las fórmulas de correspondencia directa serán aquellas que permitan obtener las coordenadas planas a partir de las coordenadas geodésicas, las fórmulas son:

$$Y(\varphi, \lambda) = \beta - a_2\lambda^2 + a_4\lambda^4 - a_6\lambda^6 + \dots \quad (59)$$

$$X(\varphi, \lambda) = a_1\lambda - a_3\lambda^3 + a_5\lambda^5 + \dots \quad (60)$$

en las que  $\beta$  y  $a_i$  viene determinado por:

$$a_1 = N \cos \varphi \quad (61)$$

$$a_2 = -\frac{1}{2!} N \sin \varphi \cos \varphi \quad (62)$$

$$a_3 = -\frac{1}{3!} N \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2) \quad (63)$$

$$a_4 = -\frac{1}{4!} N \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - t^2 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) \quad (64)$$

$$a_5 = -\frac{1}{5!} N \cos^5 \varphi (5 - 18t^2 + t^4 + 14 \eta^2 - 58 \eta^2 t^2 + \dots) \quad (65)$$

$$a_6 = -\frac{1}{6!} N \sin \varphi \cos^5 \varphi (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330 \eta^2 t^2 + \dots) \quad (66)$$

Donde:

$N$  : es el radio de curvatura normal

$\lambda$  : es la longitud del punto

$\varphi$  : es la latitud del punto

**Fórmulas de correspondencia inversa.** Para obtener las fórmulas de forma análogo, se procede a desarrollar la serie de Taylor en potencias y considerando como origen  $Z_0$  la recta definida por el entorno complejo  $Z_0 = (0, y)$ , teniendo así las siguientes formulas:

$$\phi(x, y) = F(y) - b_2 x^2 + b_4 x^4 - b_6 x^6 + \dots \quad (67)$$

$$\lambda(x, y) = b_1 x - b_3 x^3 + b_5 x^5 + \dots \quad (68)$$

en las que  $F(y)$  y  $b_i$  viene determinado por:

$$b_1 = \frac{1}{N \cos \varphi'} \quad (69)$$

$$b_2 = -\frac{1}{2!} \frac{t}{N^2 \cos \varphi'} \quad (70)$$

$$b_3 = -\frac{1}{3!} \frac{(1+2t^2+\eta^2)}{N^3 \cos \varphi'} \quad (71)$$

$$b_4 = -\frac{1}{4!} \frac{t(5+6t^2+\eta^2-4\eta^4)}{N^4 \cos \varphi'} \quad (72)$$

$$b_5 = -\frac{1}{5!} \frac{(5+28t^2+24t^4+6\eta^2+8\eta^2t^2+\dots)}{N^5 \cos \varphi'} \quad (73)$$

$$b_6 = -\frac{1}{6!} \frac{(61+180t^2+120t^4+46\eta^2+48\eta^2t^2+\dots)}{N^6 \cos \varphi'} \quad (74)$$

### **Proyección Transversal de Mercator (TM)**

Conocida también como conforme de Gauss; es rigurosamente conforme, por lo que los meridianos y paralelos se intersecan en ángulo recto. La forma de obtenerla es la utilización de un cilindro transverso al eje de rotación y que envuelve al elipsoide terrestre. El meridiano central tiene la particularidad de ser el único representado por una línea recta y posee igual valor de escala para todo el meridiano (D. Sánchez, 2008).

El factor escala varía para cada punto y se mantiene constante para cada punto en todas las direcciones. Este factor es necesario ya que permite relacionar las distancias medidas a partir de coordenadas de proyección y la distancia sobre el elipsoide (Castillo, 2015).

En el caso particular de la proyección cartográfica transversal de Mercator el factor de escala  $k$  se calcula según la ecuación (78), cuando se tiene como dato coordenadas geodésicas (Wolf & Ghilani, 2016):

$$A = (\lambda_0 - \lambda) * \cos(\varphi) \quad (75)$$

$$t = \tan^2(\varphi) \quad (76)$$

$$c = e'^2 * \cos^2(\varphi) \quad (77)$$

$$K_{esc} = K_0 \left[ 1 + (1 + c) * \frac{A^2}{2} + (5 - 4t + 42c + 13c^2 - 23e'^2) * \frac{A^4}{24} + (61 - 148t + 16t^2) * \frac{A^6}{720} \right] \quad (78)$$

Donde:

$K_0$  : factor de escala en el meridiano central

$\varphi$  : latitud del punto

$\lambda$  : longitud del punto

$\lambda_0$  : meridiano central calculado en función de la zona

A : variación de la longitud

$e'^2$  : segunda excentricidad del elipsoide de referencia

### **Sistema de proyección Universal Transversa de Mercator**

Esta proyección toma como base la proyección de Mercator, pero la posición del cilindro de proyección es transversal respecto del eje de la tierra, aquí se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos, con  $6^\circ$  de longitud, estos meridianos se generan a partir del meridiano de Greenwich, cada huso formado es mediante el empleo de un cilindro distinto para generar cada uno de ellos, cuya longitud es de  $3^\circ$ , o múltiplo de esta cantidad con  $6^\circ$  de separación. El módulo de deformación lineal K es la unidad, creciendo linealmente conforme aumenta la distancia a este meridiano central (Fernández, 2001).

**Figura 4**

*Proyección Universal Transversa de Mercator*



*Nota.* Tomado de Fernández, 2001

**Modelo Coticchia-Surace.** Actualmente existen varios modelos matemáticos que permiten realizar proyecciones de coordenadas geográficas a coordenadas planas, proceso que es necesario en la generación de información espacial de zonas cuya superficie no afecta la curvatura de la tierra, es así que el método de Coticchia –

Suarace permite generar esta transformación de manera directa y sencilla publicado por Coticchia - Suarace en el "Bollettino di geodesia e scienze affini"(Aponte, 2020).

Según Almagro (2014), las fórmulas de Coticchia - Suarace se presentan de la siguiente manera:

$$X = X - 500\ 000 \quad (79)$$

Si pertenecen al hemisferio Norte:

$$Y = Y \quad (80)$$

Si pertenecen al hemisferio Sur:

$$Y = Y - 10\ 000\ 000 \quad (81)$$

$$\lambda_0 = (Huso * 6) - 183 \quad (82)$$

$$\varphi' = \frac{Y}{6366197.724 * 0.996} \quad (83)$$

$$v = \frac{c}{(1 + e'^2 * \cos^2 \varphi)^2} * 0.9996 \quad (84)$$

$$a = \frac{X}{v} \quad (85)$$

$$A_1 = \text{sen}(2 * \varphi') \quad (86)$$

$$A_2 = A_1 * \text{Cos}^2(\varphi') \quad (87)$$

$$J_2 = \varphi' + \frac{A_1}{2} \quad (88)$$

$$J_4 = \frac{3 * J_2 + A_2}{4} \quad (89)$$

$$J_6 = \frac{5 * J_4 + A_2}{4} \quad (90)$$

$$\alpha = \frac{3}{4} * e'^2 \quad (91)$$

$$\beta = \frac{5}{3} * \alpha^2 \quad (92)$$

$$\gamma = \frac{35}{27} * \alpha^3 \quad (93)$$

$$B_{\phi} = 0.9996 * c * (\varphi' - \alpha * J_2 + \beta * J_4 - \gamma * J_6) \quad (94)$$

$$b = \frac{Y - B_{\phi}}{v} \quad (95)$$

$$\tau = \frac{e'^2 * a^2}{2} * \cos^2(\varphi') \quad (96)$$

$$\varepsilon = a * \left(1 - \frac{\tau}{3}\right) \quad (97)$$

$$n = b * (1 - \tau) + \varphi' \quad (98)$$

$$\sinh(\varepsilon) = \frac{e^{\varepsilon} - e^{-\varepsilon}}{2} \quad (99)$$

$$\Delta\lambda = \arctan\left(\frac{\sinh(\varepsilon)}{\cos(n)}\right) \quad (100)$$

$$\tau = \arctan(\cos(\Delta\lambda) * \tan(n)) \quad (101)$$

Longitud:

$$\lambda = \Delta\lambda * \frac{180}{\pi} + \lambda_0 \quad (102)$$

Latitud:

$$\varphi = \left[ \varphi' + \left( 1 + e'^2 * \cos^2(\varphi') - \frac{3}{2} * e'^2 * \sin(\varphi') * \cos(\varphi') * (\tau - \varphi') * (\tau - \varphi') \right) * \frac{180}{\pi} \right] \quad (103)$$

### ***Planos Topográficos Locales (PTL)***

El Plano Topográfico Local (PTL), es una herramienta topográfica indispensable, debido a que es un sistema de representación de las posiciones de los puntos de un

levantamiento topográfico, respecto a un origen de coordenadas geodésicas conocidos, que se lo realiza sobre un plano. En este sistema, todos los ángulos y distancias de las operaciones topográficas se encuentran proyectados en su verdadera magnitud sobre un plano tangente a la superficie de referencia (elipsoide de referencia), donde no se toma en cuenta la curvatura terrestre (Idoeta, 2005).

### ***Proyección Local Transversa de Mercator (LTM)***

Este tipo de proyección presenta las mismas características que la proyección UTM, lo que implica un sistema cilíndrico transverso conforme, al que se le han impuesto ciertos parámetros específicos para crear cartografía de superficie terrestres de no mucha extensión minimizando principalmente las diferencias en las distancias medidas en terreno y las diferencias de los ángulos y así obtener precisiones adecuadas aplicable a proyectos de ingeniería (Comisión Nacional de Riego, 2015).

Debido a las características que definen el sistema LTM-PTL, este puede ser transformado sin dificultad a UTM y viceversa. A continuación, se muestran los parámetros.

#### **Parámetros de la Proyección LTM**

Falso Norte: 10'000.000 (m)

Falso Este: 200.000 (m)

Factor de Escala: 0,999995

Ancho del Huso: 1° (un grado sexagesimal)

Meridiano Central: Se define según la zona del estudio

Para definir un PTL en el LTM de acuerdo a la Comisión Nacional de Riego, (2015) bastaría con definir la cota media de la zona de estudio (HPTL) considerando

siempre un rango de trabajo de 300m hacia arriba y 300m hacia abajo respecto de la cota media. Con esta cota se podrá calcular el factor de escala específico.

$$K_{oh} = \frac{R+h}{R} \quad (104)$$

Donde:

R : es el radio medio.

h : es la altura elipsoidal media del terreno.

Considerando que el radio medio se calcula en base de curvatura de la sección normal y de la sección meridiana como se presenta a continuación:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 * \text{Sen}^2(\varphi)}} \quad (105)$$

$$M = \frac{a * (1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 * \text{Sen}^2(\varphi))^3}} \quad (106)$$

Donde:

N : es el rayo de curvatura de la sección normal.

M : es el rayo de curvatura de la sección meridiana del elipsoide.

a : semieje mayor del elipsoide de referencia.

$e^2$  primera excentricidad del elipsoide de referencia.

$\varphi$  latitud geodésica.

### **Parámetros de la proyección LTM-PTL**

Norte Falso: 10'000.000 (m)

Este Falso: 500.000 (m)

Factor de Escala:  $K_{oh}$

Ancho del Huso: 1° (un grado sexagesimal)

Meridiano Central: Este se definirá según la zona del estudio.

## Topografía

Se puede considerar a la topografía como una disciplina que se presenta en el diario vivir, pues en sus aplicaciones se necesita información sobre el área del lugar donde se llevarán a cabo determinadas actividades, como en las obras civiles, levantamientos topográficos y otro campos (Peralta et al., 2020).

### **Planimetría**

Representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otra manera, estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta (Navarro, 2008).

### **Mediciones angulares**

La dirección de cualquier lado o línea con respecto al norte, puede definirse por el azimut o por el rumbo. El azimut de una línea es la dirección dada por el ángulo horizontal entre el norte y la línea, se mide a partir del norte en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj y su valor varía entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ . Azimut directo de una línea es el que se toma en el origen de la línea y el Azimut Inverso el tomado en su extremo final. Entre ambos azimuts, directo e inverso, existe una diferencia de  $180^\circ$ , esto es:

$$\text{Azimut Inverso } (0^\circ - 90^\circ) = \text{Azimut Directo} + 180^\circ \quad (107)$$

$$\text{Azimut Inverso } (90^\circ - 180^\circ) = \text{Azimut Directo} + 180^\circ \quad (108)$$

$$\text{Azimut Inverso } (180^\circ - 270^\circ) = \text{Azimut Directo} - 180^\circ \quad (109)$$

$$\text{Azimut Inverso } (270^\circ - 360^\circ) = \text{Azimut Directo} - 180^\circ \quad (110)$$

El rumbo de una línea es el ángulo horizontal que dicha línea forma con el norte; su valor está comprendido entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ ; se mide a partir del Norte o desde el Sur, hacia el Este o hacia el Oeste. El rumbo se llama astronómico o magnético según que el norte es el astronómico o el magnético. El rumbo de una línea se indica por el cuadrante en el que se encuentra y por el ángulo agudo que la línea hace con el meridiano en ese cuadrante (Zamarripa, 2010).

Los rumbos representan un sistema para designar las direcciones de las líneas. El rumbo de una línea es el ángulo agudo horizontal entre un meridiano de referencia y la línea. El ángulo se mide ya sea desde el Norte o desde el Sur, y hacia el Este o el Oeste, y su valor no es mayor de  $90^\circ$ , estos también pueden ser directos e inversos, aquella dirección que se da en sentido del levantamiento se lo conoce como rumbo directo y el rumbo inverso al que es tomado en la dirección opuesta en el cual se utilizan las siguientes fórmulas (Wolf & Ghilani, 2016).

$$\text{Rumbo Inverso (SW)} = \text{Rumbo Directo (NE)} \quad (111)$$

$$\text{Rumbo Inverso (NW)} = \text{Rumbo Directo (SE)} \quad (112)$$

$$\text{Rumbo Inverso (NE)} = \text{Rumbo Directo (SW)} \quad (113)$$

$$\text{Rumbo Inverso (SE)} = \text{Rumbo Directo (NW)} \quad (114)$$

Para calcular el ángulo de un rumbo a partir del azimut, se utiliza las siguientes fórmulas de acuerdo al cuadrante:

$$\text{Cuadrante I (NE)} \quad \text{Rumbo} = \text{Azimut} \quad (115)$$

$$\text{Cuadrante II (SE)} \quad \text{Rumbo} = 180^\circ - \text{Azimut} \quad (116)$$

$$\text{Cuadrante III (SW)} \quad \text{Rumbo} = \text{Azimut} - 180^\circ \quad (117)$$

$$\text{Cuadrante IV (NW)} \quad \text{Rumbo} = 360^\circ - \text{Azimut} \quad (118)$$

Para calcular el ángulo de un azimut a partir del rumbo, se utiliza las siguientes fórmulas de acuerdo al cuadrante:

$$\text{Cuadrante I (NE)} \quad \text{Azimut} = \text{Rumbo} \quad (119)$$

$$\text{Cuadrante II (SE)} \quad \text{Azimut} = 180^\circ - \text{Rumbo} \quad (120)$$

$$\text{Cuadrante III (SW)} \quad \text{Azimut} = \text{Rumbo} + 180^\circ \quad (121)$$

$$\text{Cuadrante IV (NW)} \quad \text{Azimut} = 360^\circ - \text{Rumbo} \quad (122)$$

### **Problema directo e inverso de la topografía**

Para López (1996), estos problemas dan solución a dos posibilidades que pueden ser representados para el enlace y la orientación de nuevos trabajos topográficos, tanto redes geodésicas como levantamientos previamente realizados.

**Problema directo.** Consiste en determinar las coordenadas del punto 2 ( $X_2, Y_2$ ), conociendo el azimut y la distancia desde el punto 1 ( $X_1, Y_1$ ) usando las siguientes ecuaciones:

$$X_2 = X_1 + D_{1-2} * \sin(\alpha_{1-2}) \quad (123)$$

$$Y_2 = Y_1 + D_{1-2} * \cos(\alpha_{1-2}) \quad (124)$$

Donde:

$X_1$  y  $X_2$ : coordenadas Este del punto 1 y 2

$Y_1$  y  $Y_2$ : coordenadas Norte del punto 1 y 2

$\alpha_{1-2}$ : azimut desde el punto 1

$D_{1-2}$ : distancia entre el punto 1 y 2

**Problema inverso.** Este problema consiste en determinar el azimut y la distancia entre dos puntos conociendo sus coordenadas usando las siguientes ecuaciones:

$$\Delta_x = X_2 - X_1 \quad (125)$$

$$\Delta_y = Y_2 - Y_1 \quad (126)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta_x}{\Delta_y} \right) \quad (127)$$

$$D_{1-2} = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} \quad (128)$$

Donde:

$X_1$  y  $X_2$ : coordenadas Este del punto 1 y 2

$Y_1$  y  $Y_2$ : coordenadas Norte del punto 1 y 2

$\Delta_x$ : variación en Este

$\Delta_y$ : variación en Norte

$\alpha$ : ángulo interno

$D_{1-2}$ : distancia entre el punto 1 y 2

Para condicionar el azimut, este se adapta a los cuadrantes y signos deducidos de la siguiente manera:

$$\text{Cuadrante I} \quad \text{Azimut} = \alpha \quad (129)$$

$$\text{Cuadrante II} \quad \text{Azimut} = 180^\circ - \alpha \quad (130)$$

$$\text{Cuadrante III} \quad \text{Azimut} = \alpha + 180^\circ \quad (131)$$

$$\text{Cuadrante IV} \quad \text{Azimut} = 360^\circ - \alpha \quad (132)$$

## **Programación**

Proceso en el que se codifica una serie de instrucciones, en un determinado lenguaje, para posteriormente, ser decodificados y ejecutados por un sistema computacional, con el fin de resolver problemas, mediante la elaboración de un algoritmo hacia un lenguaje de programación y por último la solución del problema (Caceres, 2019).

### ***Lenguajes de programación***

Hoy en día, la mayoría de los programadores emplean lenguajes de programación como C++, C, C#, Java, Visual Basic, XML, HTML, Perl, PHP, JavaScript, R, Matlab, SQL, Python, etc. Estos lenguajes se denominan lenguajes de alto nivel y permiten a los profesionales resolver problemas convirtiendo sus algoritmos en programas escritos en alguno de estos lenguajes de programación (Joyanes, 2006).

### ***Programación Web***

El internet se ha convertido en una herramienta indispensable, formando parte de nuestras actividades diarias tal es que actualmente, se dispone del servicio en casa y celulares, debido a esta afluencia se ha desarrollado la programación web con mayor fuerza mediante plataforma de internet, ya sea para el desarrollo de páginas web dinámicas, portales web, etc., conforme a esto se necesita varias herramientas para realizar sitios web, principalmente los lenguajes de programación como: HTML, JavaScript, CSS (Córdor & Soria, 2015).

**HTML (*HyperText Markup Language*)**. Es el Código que se emplea para el diseño de la estructura en sitios web, está constituido por etiquetas, definidas como órdenes que interpreta el lenguaje y se visualizan en el monitor. Para crear la estructura se requiere un navegador web como: Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari u Opera,

no se recomienda de Internet Explorer. También se requiere de un editor de código como: Sublime Text, Visual Studio Code, etc (Salas, 2017).

**JS (JavaScript).** Se presenta como un lenguaje para el desarrollo de aplicaciones cliente/servidor mediante internet, tiene la particularidad de que se encuentra insertado dentro del documento HTML, el programa tiene la facilidad de reconocer eventos/acciones definiendo así sistemas interactivos (M. Sánchez, 2001).

**CSS (*Cascade Style Sheet*).** Es un lenguaje que permite dar atributos a los elementos de los documentos realizados en HTML, permite realizar la separación del diseño en formato y estilos para los contenidos de las páginas web, básicamente es un lenguaje del lado del cliente, con la finalidad de hacerlo más ameno para su uso (Córdor & Soria, 2015).

### ***Diseño de página web***

En el diseño web, como en toda disciplina del diseño, existen estilos y tendencias influenciadas por una serie de factores sociales y tecnológicos. La web se presenta con mayor claridad y simplicidad, dando prioridad al contenido y jugando con el espacio en blanco. La página de inicio únicamente contendría una imagen centrada, que identificara el material que se va a presentar en la web y a la vez llamara la atención al usuario (Barba, 2013).

La finalidad de la interfaz es orientar al usuario a lo largo de la navegación, permitiendo una interacción intuitiva y eficiente. Se compone tanto por el menú de navegación como por el resto de elementos que interactúan con el usuario permitiéndole desplazarse por el sitio web y cumplir las acciones que sean necesarias. En los elementos gráficos que forman el diseño se encuentra la tipografía, color, formas,

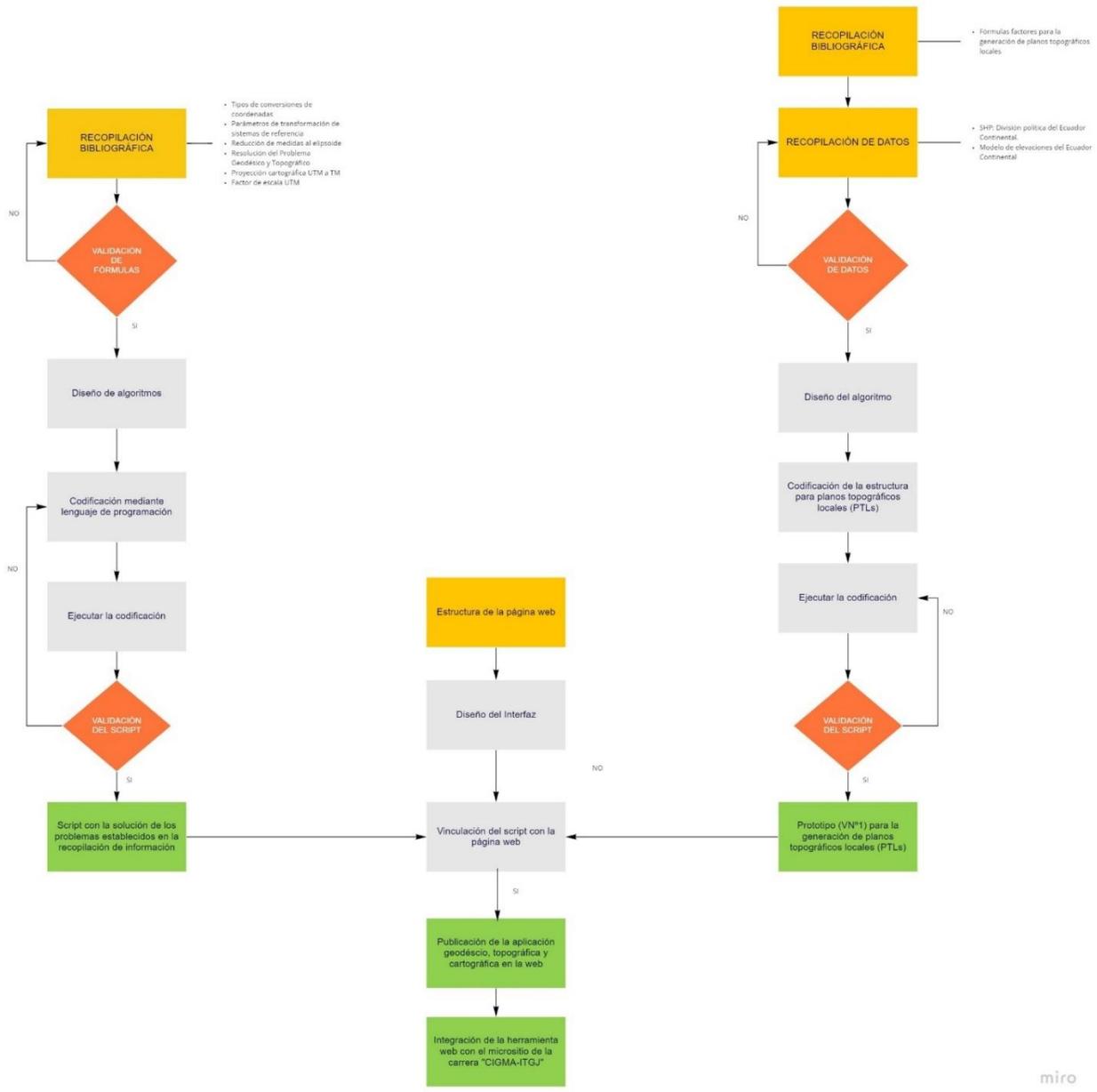
etc. El texto es fundamental en la web y su apariencia define el estilo del mensaje y su relación con el resto del contenido (Barba, 2013).

### Capítulo III

### Marco Metodológico

En la Figura 5 se ilustra un diagrama de la metodología aplicada donde se detalla el proceso para el desarrollo de la aplicación geodésico, topográfica y cartográfica.

**Figura 5**  
*Metodología del Proyecto de Investigación*



## **Proceso para el desarrollo de la aplicación geodésico topográfica y cartográfica**

El análisis, codificación y configuración de la aplicación web para la resolución de los problemas habituales geodésicos, topográficos y cartográficos sigue los pasos que se presenta a continuación:

### ***Determinación y recopilación bibliográfica***

Los insumos utilizados para el desarrollo de la aplicación fueron obtenidos mediante recopilación bibliográfica confiable, como publicaciones en revistas de academia, libros y tesis los cuales se basan en fórmulas para la determinación de problemas habituales que comprende la geodesia, topografía y cartografía aplicados a la realidad nacional, en base a esta recopilación se establece la resolución de los siguientes problemas matemáticos: conversión de coordenadas para la obtención de coordenadas planas desde coordenadas geodésicas (ecuación 12), de coordenadas cartesianas a coordenadas geodésicas (ecuación 13 a 15), conversión de coordenadas topocéntricas a cartesianas (ecuación 16 y 17), coordenadas cartesianas a topocéntricas (ecuación 18 y 19), obtención de coordenadas geográficas desde cartesianas (ecuación 79 a 103) y viceversa (ecuación 54 a 74), transformación de coordenadas para los sistemas WGS84 y PSAD56 (ecuación 58, Tabla 2), reducción de medidas al elipsoide (ecuación 2 a 9), resolución del problema geodésico directo e inverso (ecuación 20 a 57), factor de escala de la proyección UTM a TM (viceversa) (ecuación 75 a 78) y resolución de problemas para la topografía que comprende azimut directo e inverso, rumbo directo e inverso, conversión de azimut a rumbo, conversión de rumbo a azimut y desnivel enmarcados en las ecuaciones 107 a 122, a su vez los problema directo e inverso de la topografía (ecuación 123 a 132), los cuales dan soporte a los objetivos planteados en el proyecto de investigación.

### **Diseño de Algoritmos**

Una vez recopilada y validada la información se realiza el diseño de algoritmos, para lo cual se requiere del programa PSeInt V 20210427 el mismo que es una aplicación de software libre cuya estructura sirve para escribir algoritmos en pseudocódigo y ejecutarlos, además de su funcionalidad en la generación de diagramas de flujo; estas funciones se realizan mediante la barra de menú, barra de acceso rápido, panel de comandos que permite introducir acciones o estructuras de control para el algoritmo, operadores y funciones permitiendo al programador corroborar el algoritmo mediante pruebas de escritorio con la finalidad de hacer un seguimiento manual de los pasos que se definieron en el pseudocódigo y comprobar si el resultado al cual se llega es el esperado (Figura 6).

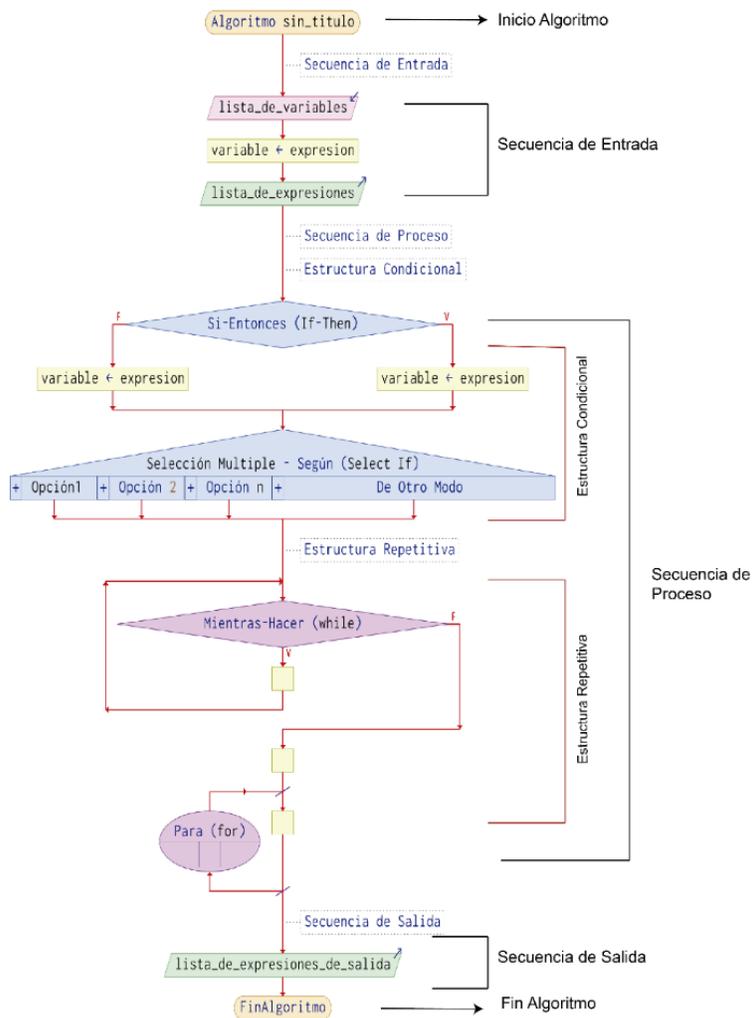
El diagrama de flujo muestra la secuencia de entrada, proceso y salida presentando la siguiente estructura de instrucción, lo cual en primera instancia permite leer o ingresar información desde el ambiente (Leer <variable1>, <variable2>, ..., <variableN>), en el caso de asignación o proceso esta permite almacenar un valor de una variable (<variable> <- <expresión>), la instrucción de escribir permite mostrar valores previamente ingresados (Escribir <expresión1>, <expresión2>, ..., <expresiónN>) e imprime en la consola<sup>1</sup> los valores obtenidos al evaluar N expresiones.

Para el proceso de estructura se deriva en dos desarrollos, el primero como condicionales para la función de Si-Entonces (*If-Then*) la cual depende de la condición lógica a emplear, la secuencia de Selección múltiple (*Select If*) ejecutada por una

---

<sup>1</sup> Ejecución de funciones dentro de una ventana de línea de comandos.



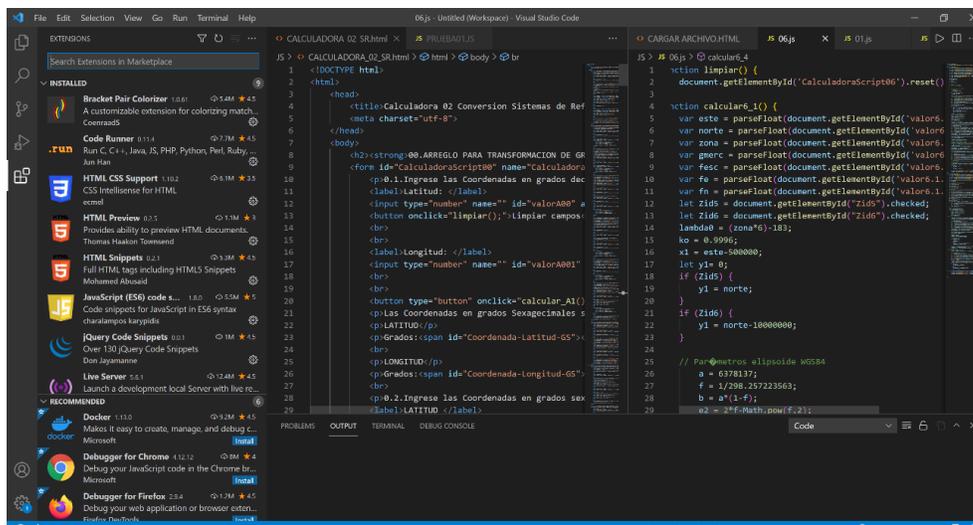
**Figura 7****Estructura Diagrama de Flujo****Codificación mediante lenguaje de Programación**

El lenguaje de programación permite a los desarrolladores escribir códigos fuente que serán analizados por el ordenador, de esta manera se ha decidido utilizar JavaScript como sintaxis que permite escribir códigos orientados a objetos, HTML para la estructura de apoyo a la codificación referente a la visualización en Internet y CSS asociado a los estilos o diseño para personalizar los contenidos de la página web.

Todo este entorno de trabajo ejecutado en el programa gratuito Visual Studio Code (Figura 8), considerado editor de código fuente que incluye decenas de funcionalidades (*plugins*) ideales para el manejo del desarrollador.

**Figura 8**

*Entorno Visual Studio Code*



**Codificación HTML.** El lenguaje HTML (*HyperText Markup Language*) es un apoyo a la codificación en JavaScript, el cual permite alojar todos los proyectos que realizamos, visualizarlo mediante navegador de internet y probar sus operaciones, con la función `<!DOCTYPE HTML>` indica al navegador web que versión de HTML se usó para escribir la página en este caso la más reciente el HTML5, después se tiene las sentencias para `<head>` cuyo trabajo es declarar el contenido principal de la página HTML, se cierra con la contraparte `</head>` y `< Body>` donde se agrupa todo el contenido que le da vida a la parte gráfica de la página, se cierra con el tag `</ Body>`. Su programación es a la par y se establece en un documento con extensión `.html` en el cual se encuentran la codificación en JavaScript.

El uso de todas las sentencias para la codificación del proceso en HTML, se describen en la tabla 3 y figura 9.

**Tabla 3**

Sentencias de codificación usadas en html

Apartado	Tag	Descripción
Raíz	<html>...</html>	Raíz de un documento HTML
<head> </head>	<title>.....</title>  <meta charset="utf-8"/>	Indica el título que lleva la página web, lo que se visualiza en el navegador.  Ayuda al estandarizado de la codificación en Unicode mediante UTF-8 el cual puede tener entre 1 y 4 bytes de longitud, es la codificación preferida para páginas web.
<body> </body>	<h1>.....<h6>  <form id="CalculadoraScript01" name="CalculadoraScript01" method="post">.....</form>  <p>.....</p>  <label>.....</label>  <input>	Mediante H1, 2, 3, 4, 5 y 6 damos títulos que se incluyen antes de textos extensos.  Representa una sección del documento que abarca controles interactivos que permiten al usuario enviar información a un servidor web.  El elemento <i>Paragraph</i> da la oportunidad de incluir el texto dentro de cada sitio como párrafo.  Representa una etiqueta visual para el usuario en la cual le permite ingresar datos.  Esta función permite relacionar el <i>label</i> con su respectivo <i>name</i> , <i>id</i> para posteriormente enlazarlo con Js., si presenta <i>name="radio"</i> tiene la función de mostrar al usuario una

---

	lista de selección de funciones previamente asignadas por el desarrollador.
Tag:	Permite seleccionar la función de tipo
<code>&lt;input name="myInput73" type="file"&gt;</code>	archivo plano, enlazada a la codificación Js, para la realización de cálculos y generación del output plano.
<code>&lt;button&gt;...&lt;/button&gt;</code>	Presenta una herramienta cliqueable de tipo botón. Ej: Calcular, permite obtener un resultado de una serie de instrucciones.
<code>&lt;br&gt;</code>	Produce un salto de línea, visual en el lado del usuario.
<code>&lt;select id="Eid1"&gt;</code>	Es una herramienta que permite visualizar
<code>&lt;option value ="0"&gt;Elipsoide</code>	opciones en forma de lista.
<code>&lt;/option&gt;</code>	
<code>&lt;option value ="1"&gt;WGS84</code>	
<code>&lt;/option&gt;</code>	
<code>&lt;option value ="2"&gt;GRS80&lt;</code>	
<code>/option&gt;</code>	
<code>&lt;option value ="3"&gt;HAYFO</code>	
<code>RD PSAD56</code>	
<code>&lt;/option&gt;</code>	
<code>&lt;/select&gt;</code>	
<code>&lt;script src=</code>	Esta función permite ingresar la codificación
<code>"d:/docs/UNIVERSIDAD/TESI</code>	en Js externo hacia el html, el cual contiene
<code>S/SCRIPT</code>	todos los botones y ordenes ajustadas a las
<code>/JAVASCRIPT/JS/00.js" &gt;</code>	necesidades del programa.
<code>&lt;/script&gt;</code>	

---

Nota: cada uno de los tags deben concluir con el carácter (;).

## Figura 9

### Resultados gráficos de sentencias de codificación para html

LONGITUD

Grados:  Minutos:  Segundos:   E  W

Calcular

Las Coordenadas en grados Decimales son:

Latitud:

Longitud:

Seleccionar archivo No se el... archivo

Calcular

**01.ARREGLO PARA TRANSFORMACION DE COORDENADAS**

0.1.1 Transformacion de Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Elipsoidales

Ingrese las Coordenadas Cartesianas

Coordenada X:  Limpiar campos

Coordenada Y:

Coordenada Z:  Elipsoide

Calcular

Las Coordenadas Elipsoidales son:

Latitud:

Longitud:

Tag: `<input>, name="radio"`

Tag: `<label>.....</label>`

Tag: `<button>....</button>`

Tag: `<input name="myInput73" type="file" >`

Tag: `<title>.....</title>`

Tag: `<h1>.....</h1>`

Tag: `<p>.....</p>`

Tag: `function limpiar () { }`

Tag: `<select id="Eid1">  
<option value="0">Elipsoide</option>  
<option value="1">WGS84</option>  
<option value="2">GRS80</option>  
<option value="3">HAYFORD PSAD56  
</option>  
</select>`

**Codificación JavaScript (Js).** A partir de la verificación de pseudocódigos mediante pruebas de escritorio y el prediseño de botones en HTML, se comienza con la programación a través del lenguaje JavaScript. El propósito es usar la codificación previa del software PSeInt y cambiar a las funciones de nuestro nuevo lenguaje donde se generaron 8 scripts destinados a la resolución uno a uno de los problemas establecidos y 8 scripts adicionales que ayudaron a la misma solución, pero en grandes cantidades de información incluyendo inputs de datos en formato txt., y generando su salida con la resolución correspondiente en el mismo formato plano.

Para ello se presenta la tabla 4, la cual contiene todas las sentencias lógicas utilizadas con la resolución de los problemas propuestos como el enlace hacia el documento HTML.

Tabla 4

Sentencias de codificación usadas en JavaScript

Apartado/ Función	Tag	Descripción
<pre>fuction limpiar () { } </pre>	<pre>document. getElementByld("myForm").re set() </pre>	<p>El método permite restaurar los elementos de un formulario que almacena datos a sus valores iniciales por defecto.</p>
<pre>function calcular_ A1() { } </pre>	<pre>var X = parseFloat(document. getElementByld('id').value) </pre>	<p>La sentencia <i>var</i> permite declarar una variable.</p> <p><i>parseFloat</i>, es un argumento en cadena que devuelve al ordenador un número en formato decimal.</p> <p><i>document.getElementByld('id').value</i>, esta función permite que el usuario ingrese el numero en el casillero previamente codificado en HTML.</p>
	<pre>let id = document. getElementByld("id").checked ; </pre>	<p>El elemento <i>let</i> declara una función de alcance en bloque, el cual se enlaza mediante HTML, con el elemento <i>document.getElementByld("id1").checked</i>, el cual permite seleccionar dicha función mediante casillas de verificación como botones de radio.</p>
	<pre>let id = document.getElement Byld("id").value; </pre>	<p>El elemento <i>let</i> declara una función de alcance en bloque, el cual se enlaza mediante HTML, con el elemento <i>document.getElementByld("id").value</i>, el cual</p>

---

	permite seleccionar dicha función mediante lista de botones.
<code>const varname = value1;</code>	Función en bloque que genera números.
<code>Math.floor(x)</code>	De un número $x$ , devuelve el máximo entero.
<code>Math.trunc(x)</code>	De un número $x$ , devuelve su parte entera.
<code>Math.abs(x)</code>	Retorna el valor absoluto de un número $x$ .
<code>Math.sqrt(x)</code>	Devuelve la raíz cuadrada de un número $x$ .
<code>Math.pow(x,y)</code>	Retorna la base elevada al exponente, y el exponente y $x$ la base.
<code>Math.round(x)</code>	Redondea un número al entero más cercano.
<code>Math.atan()</code>	La función genera el arcotangente en radianes de un número.
<code>Math.cos()</code>	La función genera el coseno en radianes de un número.
<code>Math.asin()</code>	Estas funciones generan el arcoseno y seno en radianes de un número.
<code>Math.sin()</code>	
<code>Math.PI</code>	Representa el valor de $\pi = 3.14159$ .
<code>Infinity</code>	Es un valor numérico que representa el infinito.
<code>if (condition) {</code> <code>}</code>	Esta declaración en bloque permite ejecutar si una condición es verdadera.
<code>if (condition) {</code> <code>} else {</code> <code>}</code>	El complemento <i>if</i> , es una declaración que se ejecuta si la condición es falsa.
<code>do {</code> <code>} while (condition)</code>	Recorre un bloque de código mientras la condición enunciada es verdadera y luego

---

---

	repite el bucle mientras la condición se mantenga verdadera.
<code>while (condition) {</code>	Por otro lado, la función <i>while</i> , recorre un
<code>}</code>	bloque de código mientras la condición sea verdadera.
<code>for (let index = 0; index &lt; array.length; index++) {</code>	Esta sentencia ejecuta un bloque de código para cada elemento, lo cual establece un
<code>const element = array[index]</code>	elemento iterable.
<code>}</code>	
<code>document.getElementById('id')</code>	La función permite cambiar el contenido del
<code>).innerHTML = datosalida</code>	HTM, específicamente el contenido <i>innerHTML</i> , con esto visualizamos el
	resultado de funciones previas.
<code>.toFixed(x)</code>	Formatea un número usando x cantidad de decimales.

---

Nota: cada uno de los tags deben concluir con el carácter (;).

### ***Ejecución y validación de la codificación***

Con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos por cada uno de los scripts previamente realizados para las soluciones de los problemas propuestos, se ha utilizado 10 monografías de la REGME – IGM de monitoreo continuo a lo largo del Ecuador Continental, tres tipos de software (ArcGIS 10.7, Trimble Business Center, Civil3D) y un programa de aplicaciones geodésicas realizado por el gobierno de España, en la tabla 5 se presenta el medio de comparación por cada ítem.

**Tabla 5***Codificación por ítem y su comparación*

ITEM	PAD	Comparación
Conversión Grados	<i>Decimales a Sexagesimales</i>	Monografías IGM – software ArcGIS 10.7
	<i>Sexagesimales a Decimales</i>	Monografías IGM – software ArcGIS 10.7
Conversión de Coordenadas	<i>Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Elipsoidales</i>	Monografías IGM
	<i>Coordenadas Elipsoidales a Coordenadas Cartesianas</i>	Monografías IGM
	<i>Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Cartesianas</i>	N/A
	<i>Coordenadas Topo céntricas Coordenadas Topo céntricas a</i>	N/A
	<i>Coordenadas Cartesianas Coordenadas Geográficas a</i>	Monografías IGM
	<i>Coordenadas Planas UTM Coordenadas Planas UTM a</i>	Monografías IGM
	<i>Coordenadas Geográficas PSAD56 a WGS84</i>	Proyecto de Grado <i>Determinación de parámetros de transformación entre los sistemas psad 56 y wgs 84 para el país</i>
	<i>WGS84 a PSAD56</i>	Proyecto de Grado <i>Determinación de parámetros de transformación entre los sistemas psad 56 y wgs 84 para el país</i>
Reducción de Medidas al Elipsoide	<i>Reducción de medidas al elipsoide</i>	Trimble Business Center
Problema Geodésico	<i>Problema Directo de Browing &lt;150km</i>	Trimble Business Center – Manual del PAG junta de andalucia
	<i>Problema Inverso de Browing &lt;150km</i>	Trimble Business Center – Manual del PAG junta de andalucia
	<i>Problema Directo de Vincenty &gt;150km</i>	Trimble Business Center
	<i>Problema Inverso de Vincentry &gt;150km</i>	Trimble Business Center
Factor de Escala UTM	<i>Coordenadas Elipsodales - Geodésicas</i>	Trimble Business Center- Civil 3D

	<i>Coordenadas Planas UTM</i>	Trimble Business Center- Civil 3D
Proyección Cartográfica UTM- TM	<i>Coordenadas Cartesianas UTM</i>	Trimble Business Center
	<i>Coordenadas Cartesianas TM</i>	Trimble Business Center
Problema de la Topografía	<i>Azimut directo e inverso</i>	Libro de Topografía (Wolf & Ghilani, 2016)
	<i>Rumbo directo e inverso</i>	
	<i>Conversión de azimut a rumbo</i>	Libro Problemas Resueltos de Topografía Práctica (Santamaría Peña, 1999)
	<i>Conversión de rumbo a azimut</i>	
	<i>Desnivel</i>	
<i>Problema directo e inverso</i>		

Nota: las zonas de comparación donde se encuentra N/A, hace referencia a no aplica ya que no tiene forma de comparación y únicamente se ha seguido la fórmula establecida.

### **Generación de outputs**

Una vez ejecutadas las codificaciones previamente realizadas en HTML con JavaScript en formato de ingreso de datos uno a uno, es ideal realizar una programación automatizada de manera que el usuario de la calculadora pueda ingresar “n” cantidad de datos en formato plano (.txt), como input a cualquiera de los servicios de cálculo establecidos, y que el mismo logre obtener la solución de estos datos en otro archivo plano directamente en su computador.

### **Tabla 6**

*Sentencias de codificación usadas en JavaScript para generación de resultados en archivos .txt*

<b>Apartado/ Función</b>	<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>
Declaratoria de variables globales	<code>var input001 = myForm001.m yInput001</code>	Declara una variable que llame a los botones establecidos en el documento HTML.
	<code>var reader = new FileReader</code>	Sentencia usada para leer el contenido de un archivo.

---

<pre>var lineas = [ ]</pre>	<p>Declara la variable de líneas para después generar su lectura.</p>
<pre>input001.addEventListener('change', onChange)</pre>	<p>Esta función llama a la variable previamente declarada para adjuntar varios oyentes de eventos como el <i>change</i> y <i>onchange</i>.</p>
<pre>function onChange(event) {   var file = event.target.files[0]   reader.readAsText(file)   reader.onload = onLoad }</pre>	<p>La declaración permite cargar el archivo en formato .txt.</p>
<pre>function onLoad() {   var result = reader.result   console.log('[dato]:', result)   lineas = result.split('\n') }</pre>	<p>Posterior a ello con la función <i>onLoad</i>, se permite leer los archivos previamente cargados, para la función <i>reader.result</i>, se obtiene los datos del archivo txt. La variable <i>líneas</i> genera la lectura de línea por línea y las coloca en un array.</p>
<pre>function idbottom () {   for (var linea of lineas) {     fila = linea.split(',')     if (fila[0] !== "" &amp;&amp; fila[1] !     == "" &amp;&amp; fila[2] !== "" &amp;&amp; fila[3]     !== "")     {       var este = parseFloat(fila[0])       var norte = parseFloat(fila[1])</pre>	<p>Genera una variable vacía, la cual será llenada con resultados de cálculos después del proceso.</p> <p>Con la función <i>for</i>, permite la lectura de datos línea por línea del array en el txt, con la sentencia <i>fila</i> se pretende separar cada dato de línea y colocarlos en un vector.</p> <p>El siguiente condicional <i>if</i> contiene las filas a leer y verifica que no hay datos en blanco para evitar errores en los cálculos.</p> <p>Con la función <i>var</i> se genera la lectura del dato perteneciente a cada columna</p>

---

---

<code>var Zid1 = String(fila[2])</code>	designada en el txt. ParseFloat lee datos
<code>var zona = parseFloat(fila[3])</code>	numéricos en formato decimal y String, pretende reconocer los datos en longitud textual.
<code>datagd += datocalculado + '\n'</code>	La variable previamente integrada con la función var tiene el propósito de almacenar el resultado para posteriormente exportar en el archivo plano.
<code>var elementu = document.createElement('a')</code>	Esta sentencia permite definir el archivo txt a exportar, incluye el encode UTF-8 y el
<code>elementu.setAttribute('href', 'data:text/plain;charset=utf-8,' + encodeURIComponent(</code>	atributo de nombre de salida para el archivo final.
<code>data52))</code>	
<code>elementu.setAttribute('download', NombreArchivoSalida.txt)</code>	
<code>)</code>	
<code>elementu.click();</code>	

---

Nota: cada uno de los tags deben concluir con el carácter (;).

### **Proceso para el desarrollo de planos topográficos locales (PTLs)**

Los insumos preparados para el desarrollo del estudio fueron: un *shapefile* de la división político administrativa del Ecuador Continental y el modelo digital de altura elipsoidal preparado a partir del modelo SRTM y modelo EGM08 de ondulación geoidal que proporcionan datos de elevación a 1 segundo de arco.

#### ***Shapefile de la división político administrativa del Ecuador Continental***

El *shapefile* de polígonos que representa la división político administrativa, es útil para la realización del proyecto de investigación, debido a que el perfil del Ecuador

Continental ayudará a realizar el corte de la zona de estudio con el modelo digital de altura elipsoidal, posteriormente, elaborado.

### **Modelo Digital de Elevación – SRTM**

Un Modelo Digital de Elevación (DEM), se refiere a la representación de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar. En este sentido se utiliza los datos liberados por la NASA para la generación de dicho insumo en el Ecuador Continental, siguiendo los pasos mostrados a continuación:

**Manejo de escenas altitudinales de NASA SRTM.** Los productos de NASADEM se derivaron de datos de telemetría originales de la *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Por ello, actualmente, es posible obtener acceso a este tipo de información mediante fuentes abiertas como Earth Explorer, Google Earth Engine y USGS, por tal motivo se realizó la descarga de 57 Modelos de Elevación Digital, producto SRTM a 1 arco de segundo, equivalente a 30 metros de resolución espacial, cuya extensión cubre la zona de estudio para su posterior análisis.

**Arquitectura de un mosaico mediante cuadros altitudinales de la zona de estudio.** A partir de la descarga de los 57 Modelos de Elevación Digital, en el paquete ArcGis 10.7 se realizó la unión de las escenas con la herramienta *Mosaic to new raster*. Se ingresaron los datos correspondientes al sistema de referencia de datos base (WGS84, 16 BIT UNSIGNED y 0.000277777778 tamaño de celda) cuya información está disponible en los metadatos de cada uno de los raster's.

**Corrección de vacíos (voids) del Modelo Digital de Elevación.** Una vez generado el mosaico para la zona de estudio, se procede a corregir las distorsiones provocadas por información faltante (*NoData*) de un ráster mediante métodos de interpolación (Cango, 2017).

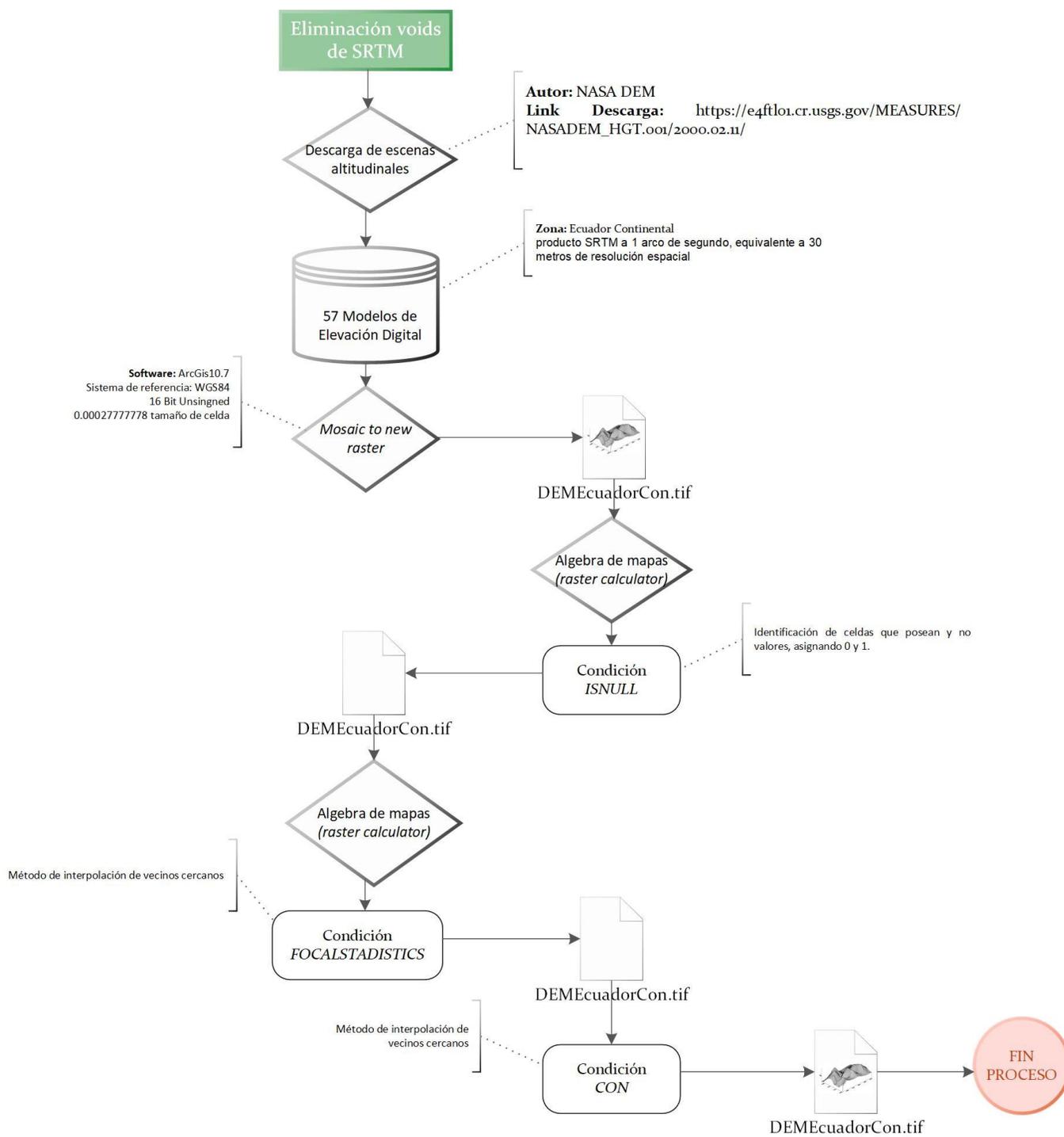
Según Olaya (2014), el proceso para ejecutar dicha corrección es con la ayuda de técnicas espaciales las cuales se basan en la aplicación de álgebra de mapas a partir de la función *raster calculator* incluida en el software ArcGIS, de acuerdo a esto el proceso se realizó en función de operaciones y sentencias lógicas para obtener valores de los espacios vacíos.

Para Navarrete (2019), las condiciones a usar son *IsNull* que permite identificar celdas con datos y sin estos; obteniendo una nueva imagen ráster la cual presenta dos valores, donde 0 representa los píxeles con valores y 1 los píxeles vacíos (*voids*). A pesar de identificar los espacios con y sin cobertura, el DEM debe ser sometido a un segundo proceso mediante la aplicación de la condicionante *FocalStatistics*, la cual permite interpolar la media de píxeles vecinos para cubrir espacios con información faltante y a la cual se le puede aplicar un radio de búsqueda determinado por tamaño de celda.

No obstante, después de aplicar esta sentencia se siguió manifestando la persistencia de espacios vacíos. Por tal razón, se aplicó una tercera condición, *Con*, que consiste en el ajuste de valores con la sentencia *IsNull*, la cual reemplaza valores interpolados donde existan zonas con valor 1 (sin datos) y así integrarlos al mosaico del DEM. Una vez planteada una metodología válida para la cobertura de *voids* en la zona de estudio, se resume el proceso mediante diagrama de flujo (Figura 10).

Figura 10

Diagrama de Flujo eliminación de vacíos (voids)



Al finalizar el proceso se obtiene el DEM sin valores *NoData* y el cual tiene las características presentes en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Especificaciones imágenes ráster SRTM*

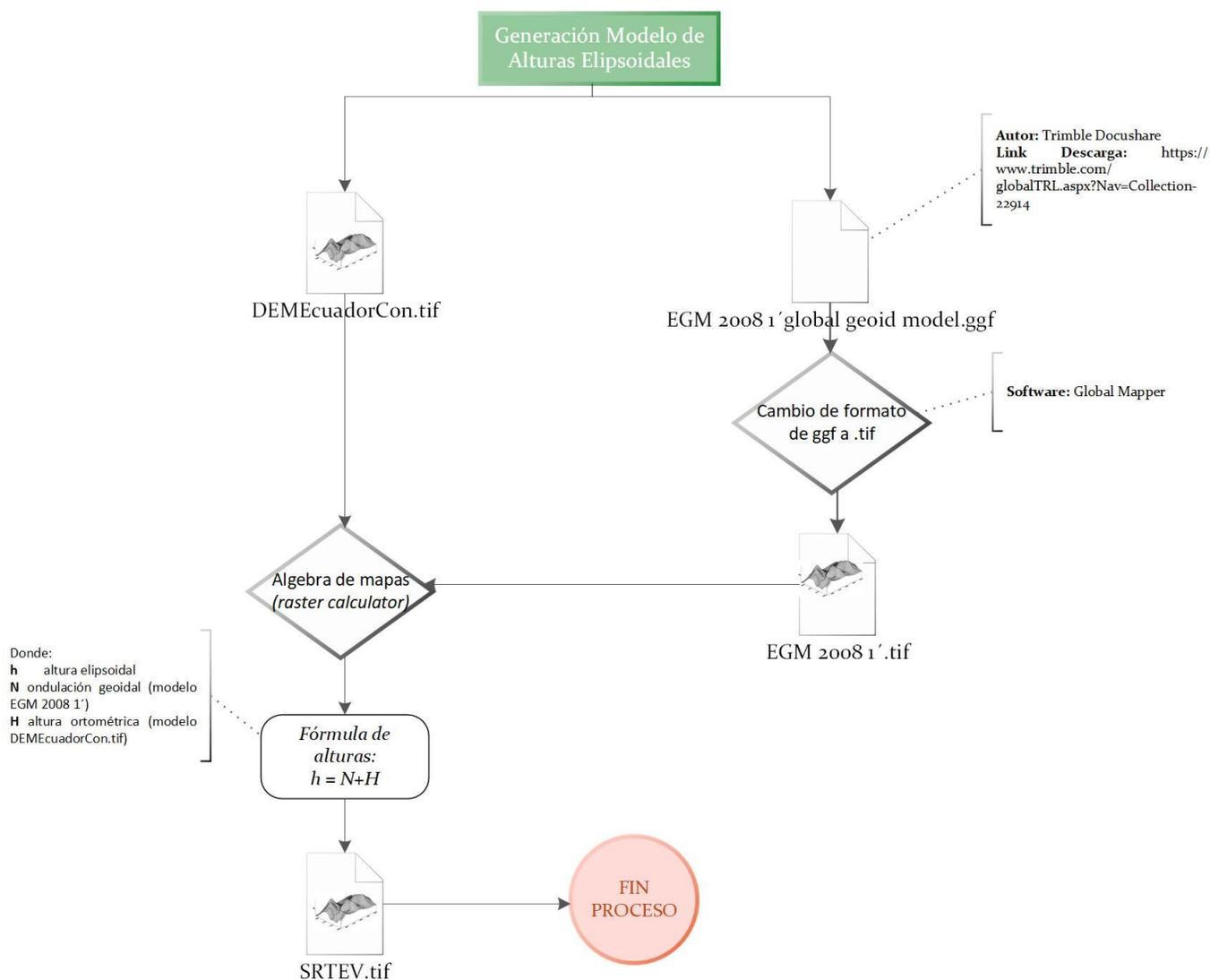
<b>Proyección horizontal</b>	Geográfica
<b>Tamaño del pixel</b>	1 x 1 arco de segundo ~ 30 x 30 metros
<b>Unidades de medida vertical</b>	Metro
<b>Referencia Horizontal</b>	WGS84
<b>Formato de datos</b>	16 bits, orden de byte IEEE

**Generación modelo de alturas elipsoidales.** A partir del modelo de elevación SRTM, se generó el modelo digital de elevación de alturas elipsoidales, con ayuda del modelo de ondulación geoidal EGM08 a 1 arco de segundo en formato grid del software Trimble Business Center.

Debido a que se requiere de alturas elipsoidales para determinar la cota media de los planos topográficos locales se aplicó la ecuación 1, este proceso se resume mediante diagrama de flujo (Figura 11).

Figura 11

Diagrama Modelo de alturas elipsoidales



### Diseño de Algoritmo

El proceso de generación del algoritmo requiere la recopilación bibliográfica de fórmulas para los parámetros de PTL's: meridiano central, latitud media, factor de escala con respecto a la altura media elipsoidal, falso este y falso norte. Según las ecuaciones 104, 105 y 106, considerando el área de estudio como el Ecuador

Continental, para lo cual se requiere del programa PSeInt V 20210427 el mismo que genera el diagrama de flujo en pseudocódigo con la solución de esta función.

El algoritmo se presenta en la sección de Anexos como el número 9.

### **Codificación mediante lenguaje de Programación**

En secuencia de los problemas geomáticos previamente solucionados, se mantiene el esquema en función de la codificación en HTML, Javascript y CSS, mediante el programa Visual Studio Code.

**Codificación HTML.** El lenguaje HTML (*HyperText Markup Language*) es un apoyo a la codificación en JavaScript, el cual permite alojar todos los proyectos realizados, linkear visualizadores geográficos como Open Street maps, declarar botones, para así visualizarlo mediante navegador de internet y probar sus operaciones.

El uso de todas las sentencias para la codificación del proceso en HTML en cuestión del generador de planos topográficos locales, se describen en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Sentencias de codificación usadas en html para generador de PTL 's*

<b>Apartado</b>	<b>Tag</b>	<b>Descripción</b>
Link	<link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.7.1/dist/leaflet.css" integrity="sha512-xodZBNTC5n17Xt2atTPuE1HxjVMSvLVW9ocqUKLsCC5C XdbqCmbIAshOMAS6/keqq/s	Link de leaflet y su respectivo código que permite el enlace para la visualización del Ecuador Continental.

---

	MZMZ19scR4PsZChSR7A==	
	" crossorigin="" />	
	<script	
	src="https://unpkg.com/leaflet	
	@1.7.1/dist/leaflet.js"	
	integrity="sha512-	
	XQoYMqMTK8LvdxXYG3nZ4	
	48hOEQiglfqkJs1NOQV44cW	
	nUrBc8PkAOcXy20w0vlaXaV	
	UearIOBhiXZ5V3ynxA=="	
	crossorigin=""></script>	
<body>	<h1>.....<h6>	Mediante H1, 2, 3, 4, 5 y 6 damos títulos que
</body>		se incluyen antes de textos extensos.
	<form id="formulario2"	Representa una sección del documento que
	onkeypress="enter()"	abarca controles interactivos que permiten al
	class='formulario'>	usuario enviar información a un servidor
	<input	web.
	type="number" style='margin:	
	8px 90px' id="latitud_1"	
	size="16"	
	value="1.4706944402088924	
	">  	
	<input	
	type="number"	
	id="longitud_1" size="16"	
	value="-	
	81.08541665934888">	

---

---

```

<input
  type="number"
  id="longitud_2" size="16"
  value="-
75.16569438976887"> <br>

```

```

<input
  type="number" style='margin:
8px 90px' id="latitud_2"
  size="16" value="-
5.019305611711108">

```

```

</form>

```

```

<button>...</button>

```

Presenta una herramienta cliqueable de tipo botón. Ej: Exportar documento, permite obtener un resultado de una serie de instrucciones.

---

Nota: cada uno de los tags deben concluir con el carácter (;).

**Codificación JavaScript (Js).** A partir de la verificación del pseudocódigo mediante pruebas de escritorio, el prediseño de cajones y botones en HTML, se comienza con la programación a través del lenguaje JavaScript. El propósito es usar la codificación previa del software PSeInt y cambiar a las funciones de nuestro nuevo lenguaje declarando la zona de mapa como geolocalizador, bounding box que contenga las coordenadas en grados decimales para latitud - longitud, visualización de resultados y exportación de los mismos.

Para una mejor representación, se muestra el script a continuación con su figura

12.



```

// -- Zoom the map to the polygon
mymap.fitBounds(rectangulo.getBounds());
// -----
- EVENTO QUE OCURRE AL MODIFICAR COORDENADAS DEL RECTANGULO -----
--
function enter() {
  // -- Actualiza variables con los valores ingresados en la pagina web
  latitud_1 = parseFloat(document.getElementById("latitud_1").value);
  latitud_2 = parseFloat(document.getElementById("latitud_2").value);
  longitud_1 = parseFloat(document.getElementById("longitud_1").value);
  longitud_2 = parseFloat(document.getElementById("longitud_2").value);
  // -- Actualiza puntos LatLng para el rectangulo
  latlngs=[
    [latitud_1, longitud_1],
    [latitud_1, longitud_2],
    [latitud_2, longitud_2],
    [latitud_2, longitud_1]
  ];
  // -- Actualiza las dimensiones del rectangulo y su nueva ubicacion
  rectangulo
    .setBounds(latlngs);
  // -- Zoom en el mapa al area del rectangulo
  mymap.fitBounds(rectangulo.getBounds());
  // -- MERIDIANO CENTRAL Y LA LATITUD MEDIA
  meridiano_central = (longitud_1 + longitud_2) / 2;
  latitud_media = (latitud_1 + latitud_2) / 2;
  // -- Muestra el resultado en consola
  document.getElementById('meridiano_central').textContent = meridiano_central;
  //console.log('meridiano_central = '+ meridiano_central );
  document.getElementById('latitud_media').textContent = latitud_media;
  //console.log('latitud_media = '+ latitud_media);
}
// ----- EVENTO QUE OCURRE AL HACER CLIC EN EL MAPA -----
function resize_top_left(e) {
  document.getElementById('latitud_1').value = e.latlng["lat"]
  document.getElementById('longitud_1').value = e.latlng["lng"]
  enter(); // Cuando hay un clic tambien llama a la funcion enter
  // -- Actualiza Marcador con nueva ubicacion ingresada o al dar click
  /*marcador
    .setLatLng([e.latlng["lat"], e.latlng["lng"]])
    .bindPopup(e.latlng["lat"]+', '+e.latlng["lng"])
    .openPopup();*/
  /*popup
    .setLatLng([e.latlng["lat"], e.latlng["lng"]])
    .setContent("I")

```

```

        .openOn(mymap);*/
    }
    // -- Escucha de evento click sobre el mapa
    mymap.on('click', resize_top_left);
    // ----- EVENTO QUE OCURRE AL HACER DOBLE-CLIC EN EL MAPA -----
    function resize_bottom_right(e) {
        document.getElementById('latitud_2').value = e.latlng["lat"]
        document.getElementById('longitud_2').value = e.latlng["lng"]
        enter(); // Cuando hay un clic tambien llama a la funcion enter
        // -- Actualiza Marcador con nueva ubicacion ingresada o al dar click
        /*marcador
            .setLatLng([e.latlng["lat"], e.latlng["lng"]])
            .bindPopup(e.latlng["lat"]+', '+e.latlng["lng"])
            .openPopup();*/
        /*popup
            .setLatLng([e.latlng["lat"], e.latlng["lng"]])
            .setContent("")
            .openOn(mymap);*/
    }
    // -- Escucha de evento click sobre el mapa
    mymap.on('dblclick', resize_bottom_right);
    // -----
    // --- Reference: https://geotiffjs.github.io/geotiff.js/ ---
    // -----
    // ----- OBTENCION DE COTAS - ARCHIVO .TIF -----
    // -----
    // -- Cargando la variable global GeoTIFF:
    const { fromUrl, fromUrls, fromArrayBuffer, fromBlob, fromFile } = GeoTIFF;
    //console.log(GeoTIFF);
    // -- Llama al elemento input
    const input = document.getElementById('file');
    //var url = "SRTEV.tif"
    // |||| ACTIVAR CUANDO ESTE EN UN SERVIDOR !!!!
    //var url = "poner aqui el enlace publico compartido de archivo google drive"
    //fetch(url)
    // .then(response => response.arrayBuffer())
    // .then(data => {
    //   const tiff = GeoTIFF.parse(data);
    // });
    // -- Evento que ocurre cuando se carga el archivo .tif
    input.onChange = async function() {
        // -- Abrir el archivo .tif cargado
        //const tiff = await fromFile(url);
        //const tiff = await fromUrls(url);
        const tiff = await fromBlob(input.files[0]);
    }

```

```

// -- Obtener la imagen
const image = await tiff.getImage();
// -- Cuadro delimitador de la imagen como una matriz de 4 valores: min-x, min-
y, max-x y max-y.
// -- bbox esta en coordenadas geograficas
const bbox = image.getBoundingBox();
const pixelWidth = image.getWidth(); // Ancho de la imagen en pixeles
const pixelHeight = image.getHeight(); // Alto de la imagen en pixeles
const bboxWidth = bbox[ 2 ] - bbox[ 0 ]; // Ancho de la imagen en coordenadas geo
graficas
const bboxHeight = bbox[ 3 ] - bbox[ 1 ]; // Alto de la imagen en coordenadas geogr
aficas
// -- Conversion de longitud_1 y latitud_1 a valores en pixeles
const widthPct_longitud_1 = ( longitud_1 - bbox[ 0 ] ) / bboxWidth;
const heightPct_latitud_1 = ( latitud_1 - bbox[ 1 ] ) / bboxHeight;
const xPx_left = Math.trunc( pixelWidth * widthPct_longitud_1 );
const yPx_top = Math.trunc( pixelHeight * ( 1 - heightPct_latitud_1 ) );
console.log('--->'+longitud_1+' '+latitud_1);
console.log(xPx_left+' '+yPx_top);
// -- Conversion de longitud_2 y latitud_2 a valores en pixeles
const widthPct_longitud_2 = ( longitud_2 - bbox[ 0 ] ) / bboxWidth;
const heightPct_latitud_2 = ( latitud_2 - bbox[ 1 ] ) / bboxHeight;
const xPx_right = Math.trunc( pixelWidth * widthPct_longitud_2 );
const yPx_bott = Math.trunc( pixelHeight * ( 1 - heightPct_latitud_2 ) );
console.log('---<'+longitud_2+' '+latitud_2);
console.log(xPx_right+' '+yPx_bott);
// -- Método para extraer un ráster usando un cuadro delimitador (region especifica)
// -- por lo que solo usaremos un cuadro delimitador de un n(píxel) por n(píxel)
// -- longitudes y latitudes en pixeles enviadas desde la paginana web
const window = [ xPx_left, yPx_top, xPx_right, yPx_bott];
const data = await image.readRasters( {window} ); // El ráster completo se divide e
n una matriz
// -- Bucle del area designada, se obtienen todas la cotas y se calcula un promedio
var suma_cotas = 0;
long_vect = 0;
for (var i = 0; i < data[0].length; i++){
  if (data[0][i] < 6300){
    long_vect += 1;
    suma_cotas += data[0][i]; // suma cota por cota
  }
}
h = suma_cotas / long_vect; // promedio de todas las cotas
// -- Muestra el resultado de MERIDIANO CENTRAL: MC
document.getElementById('altura_calc').textContent = h;
//console.log('promedio_cotas = ' + promedio_cotas);

```

```

    //console.log(data);
}
// ----- EVENTO QUE OCURRE AL INGRESAR UNA ALTURA -----
function altura_in() {

// -- Actualiza variables con los valores ingresados en la pagina web
    h = parseFloat(document.getElementById("altura_ingresada").value);
    console.log('h = '+ h);
}

function exportar() {
// -- RADIO
    latitud_mediarad=latitud_media*Math.PI/180;
    var N = a / (Math.sqrt(1-
(e_2*Math.sin(latitud_mediarad)*Math.sin(latitud_mediarad))));
    var M = (a*(1-e_2))/Math.pow((1-
e_2*Math.sin(latitud_mediarad)*Math.sin(latitud_mediarad)),1.5);
    var R = Math.pow((M*N),0.5);
// -- FACTOR DE ESCALA
    var Koh = (R + h) / R;
// var Koh = 1+(h/a);
    var datadi = []
    datadi = 'PROJCS["PTL",GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SP
HEROID' + '\n' +
'"WGS_1984",6378137.0,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT' + '\n' +
'"Degree",0.0174532925199433]],PROJECTION' + '\n' +
'"Transverse_Mercator"],PARAMETER' + '\n' +
'"False_Easting",500000.0],PARAMETER' + '\n' +
'"False_Northing",10000000.0],PARAMETER' + '\n' +
'"Central_Meridian",' +meridiano_central+',],PARAMETER' + '\n' +
'"Scale_Factor",' +Koh.toFixed(7)+'],PARAMETER' + '\n' +
'"Latitude_Of_Origin",0.0],UNIT["Meter",1.0]]';
// --- DEFINIR ARCHIVO TXT A EXPORTAR
    var elementb = document.createElement('a');
    elementb.setAttribute('href', 'data:text/plain;charset=utf-
8,' + encodeURIComponent(datadi));
    elementb.setAttribute('download', 'PTL.prj');
    elementb.click();
}

```

**Figura 12**

*Resultados diseño de sentencias para codificación de PTL's*

### ***Ejecución y validación de la codificación***

Con la finalidad de corroborar los parámetros obtenidos para PTL's, especialmente, el factor de escala en función de la altura media elipsoidal de la zona de estudio se utilizó la tesis de grado en la que se genera PTL's en función de datos de estación total elaborado por Tola ( 2010) y con respecto a los radios de curvatura del primer vertical y de la normal mayor se empleó la guía de proyecciones cartográficas elaborado por el INEGI en México (Gómez, 2004).

### ***Generación de outputs***

Una vez ejecutadas las codificaciones, previamente, realizadas en HTML con JavaScript, se llegan a generar resultados los mismos que se ingresan en un formato

que se adapte al software ArcGis en. prj, con la finalidad de ofrecer a los usuarios parámetros de PTL´s acordes a la zona de estudio demarcada.

### **Proceso para el desarrollo de la página web con su aplicativo**

Hoy en día es importante almacenar contenido en la web, debido a esto se ha considerado que la aplicación generada tiene que estar alojada en un hosting y dominio con la posibilidad que todo quien disponga del servicio de internet pueda hacer uso de la misma, también se ha considerado un diseño amigable con el usuario y a su vez se presenta un video guía de la estructura de la misma.

### ***Estructura de la página web***

Una página Web, se compone de textos, imágenes, videos y se colocan dentro de la misma de manera que facilite su entendimiento hacia el usuario. La aplicación de estos elementos sobre la página web se llama estructura.

Debido a esto los elementos son cabecera o header, cuerpo de la página o *body* y pie de página o *footer* (Figura 13).

Figura 13

Estructura Página Web

The image shows a web page layout for a geomatics calculator. The page is divided into three main sections: a header, a body, and a footer. The header features a navigation menu with various geomatics topics and a large hero section with the title 'Calculadora Geodésica, Topográfica y Cartográfica' and a 'Guía del Usuario' button. The body contains three main content areas: 'Nuestro producto' with an illustration of people working, 'Nuestros Servicios' with three service cards (Solución uno a uno, Solución en bloque, Visualizador), and 'Desarrolladores' with three developer profiles. The footer includes contact information for phone, email, and location, along with a copyright notice.

**CABECERA O HEADER**

**CUERPO O BODY**

**PIE O FOOTER**

### ***Diseño del Interfaz***

El diseño del interfaz está ligado al diseño web que implica el trabajo relacionado con el *layout*, así como la producción de contenido, debido a esto se ha utilizado el marcador HTML para la estructura, mientras que la parte visual del sitio se encuentra cargada en base a CSS.

Para el diseño se consideró tres factores clave, en primera instancia se encuentra el tiempo de carga para lo cual lo ideal es que este no sea mayor a 30 segundos ya que el usuario no le gusta esperar y mucho menos si se encuentra con prisa, por ello se ha priorizado en que los tamaños de las imágenes sean pequeños, pero de buena resolución.

Por otro lado, se tiene la usabilidad considerando que sin importar quien entre al sitio web, el usuario pueda entender como está organizada y su funcionamiento, por lo que se ha ubicado en la portada un botón que lleva a la guía del usuario en el cual mediante video se presenta la estructura y un ejemplo de una de las categorías, adicional cada uno de los problemas tiene su instrucción de uso, esto evitará que el usuario se frustre y abandone la página porque no logra solucionar su búsqueda.

Finalmente, la legibilidad es uno de los puntos más importantes, en base a esto aplicamos colores en diferentes secciones con el propósito de que sea amigable y no agobiar al lector, de la misma manera la tipografía debe ser clara de acuerdo a esto se ha utilizado la paleta de colores de azul, celeste, negro y violeta para que sea atractiva y su tipografía Open Sans la misma que es legible ante cualquier tamaño.

### ***Vinculación de los scripts con la página web***

En el lenguaje de programación con HTML en la zona final de la programación, antes de cerrar la sentencia de *body* se debe de integrar las soluciones de cada uno de

los scripts, por ello es necesario ocupar la sentencia `<script src="ubicación del archivo en JavaScript/nombearchivo.js" ></script>` para las soluciones en JavaScript, sin embargo en el caso de los estilos de la página web en función de la extensión CSS, estos se condicionan en la parte del *head* con la sentencia `<link rel="stylesheet" href ubicación del archivo en css/ nombearchivo.css">`.

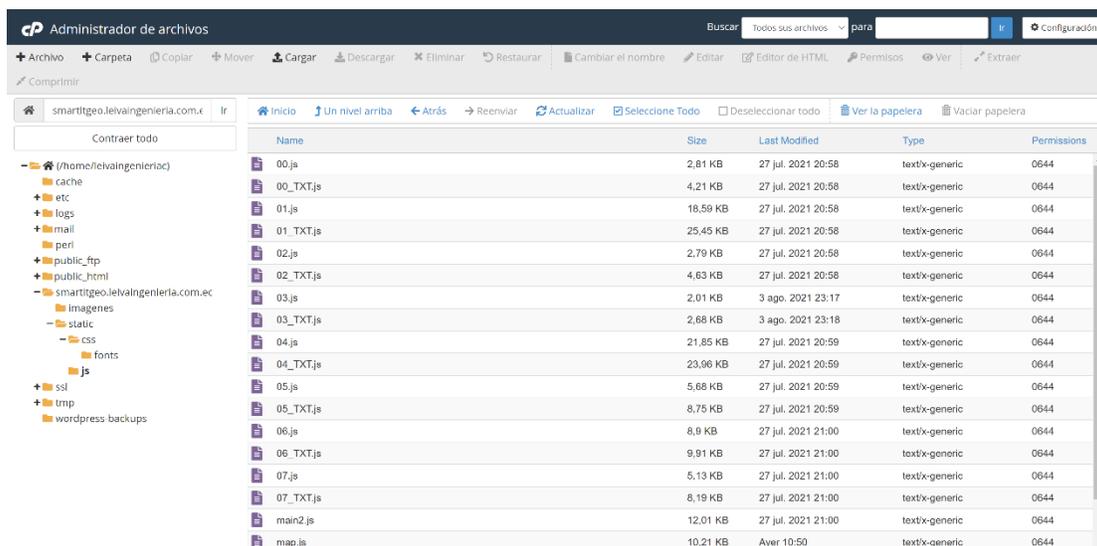
### ***Publicación del Aplicativo Web***

Una vez concluido el aplicativo web con sus diseños, funciones y pruebas de verificabilidad de los resultados obtenidos desde el computador, es necesario llevarlo a la web para ello se ha utilizado un hosting y dominio proporcionado por la empresa privada "Leiva & Leiva Ingeniería", quienes ayudaron con la creación de un subdominio y cuenta FTP, con su respectiva conexión.

Es así que, mediante el programa CPANEL se administró los archivos generados por el proyecto de investigación, siendo este uno de los paneles que ayuda a la fácil conexión web de la página, previamente, elaborada. Con la finalidad de ordenar el aplicativo web se ha subido el archivo index en formato HTML, el mismo que contiene la estructura de la página y se ha creado dos carpetas (static e imágenes), la primera contiene los archivos de las funciones en JavaScript y CSS para los estilos, mientras que en la segunda constan todas las imágenes e instrucciones colocadas en la página con formato png, jpeg y svg como se presenta en la Figura 14.

Figura 14

## CPanel administrador de archivos



The screenshot shows the CPanel file manager interface for the domain smartitgeo.leivaingenieria.com.ec. The interface includes a search bar, navigation buttons, and a table of files and folders. The table columns are Name, Size, Last Modified, Type, and Permissions.

Name	Size	Last Modified	Type	Permissions
00.js	2,81 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
00_TXT.js	4,21 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
01.js	18,59 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
01_TXT.js	25,45 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
02.js	2,79 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
02_TXT.js	4,63 KB	27 jul. 2021 20:58	text/x-generic	0644
03.js	2,01 KB	3 ago. 2021 23:17	text/x-generic	0644
03_TXT.js	2,68 KB	3 ago. 2021 23:18	text/x-generic	0644
04.js	21,85 KB	27 jul. 2021 20:59	text/x-generic	0644
04_TXT.js	23,96 KB	27 jul. 2021 20:59	text/x-generic	0644
05.js	5,68 KB	27 jul. 2021 20:59	text/x-generic	0644
05_TXT.js	8,75 KB	27 jul. 2021 20:59	text/x-generic	0644
06.js	8,9 KB	27 jul. 2021 21:00	text/x-generic	0644
06_TXT.js	9,91 KB	27 jul. 2021 21:00	text/x-generic	0644
07.js	5,13 KB	27 jul. 2021 21:00	text/x-generic	0644
07_TXT.js	8,19 KB	27 jul. 2021 21:00	text/x-generic	0644
main2.js	12,01 KB	27 jul. 2021 21:00	text/x-generic	0644
map.js	10,21 KB	Ayer 10:50	text/x-generic	0644

**Integración de la herramienta web con el micrositio de la carrera “CIGMA-ITGR”**

Finalmente, se vincula el enlace http y su código QR, con el micrositio de la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente con la finalidad de dar a conocer tanto a la academia como a profesionales afines a esta ciencia dicha herramienta para facilitar cálculos y optimizar el tiempo.

Figura 15

## Código QR página web



Nota: Enlace página web <https://smartitgeo.leivaingenieria.com.ec/>

## Capítulo IV

### Resultados

El trabajo de titulación tiene como resultado la aplicación geodésica, topográfica y cartografía cuya función es resolver los problemas geomáticos habituales, para las diferentes necesidades presentadas por la academia y profesionales, que requieren la automatización y confiabilidad de los procesos obteniendo así la correcta entrega y uso de sus productos.

De esta manera se desarrollaron nueve categorías los cuales se subdividen en un total de veintisiete PAD o submenú que fueron verificados con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos en cada uno de ellos, proporcionando así una gran confiabilidad al usuario, estos PAD se detallan a continuación.

En primera instancia se obtuvo la conversión de grados decimales a sexagesimales y viceversa, comparándolos con las Monografías de las estaciones del Instituto Geográfico Militar, luego estas coordenadas fueron ploteadas en el software ArcGIS, visualizando así todo el Ecuador Continental correctamente demarcado.

El ítem de conversión de coordenadas se derivó en seis PAD's o submenú los cuales fueron: Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Topocéntricas y viceversa, Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Elipsoidales y viceversa, Coordenadas Geográficas a Coordenadas Planas UTM y viceversa, estas dos últimas también fueron verificadas con las Monografías de las estaciones del IGM, facilitando así la conversión de diferentes tipos de coordenadas en un mismo sitio web y con una alta confiabilidad para conocer la ubicación de cada punto.

Se obtuvo la conversión de coordenadas del sistema de referencia WGS84 a PSAD56 y viceversa, este fue verificado mediante el proyecto de grado "Determinación

de parámetros de transformación entre los sistemas PSAD56 y WGS84 para el país”, proporcionando al usuario una rápida transformación entre estos sistemas que son indispensables para los levantamientos GPS a nivel nacional.

Se logró proporcionar al usuario las medidas de reducción al elipsoide las cuales fueron verificadas en el software Trimble Business Center (TBC), este procedimiento es de gran importancia debido a que el elipsoide es la superficie de referencia en la cual se realizan los cálculos de las coordenadas geodésicas por ende es fundamental reducir estas medidas.

El problema directo e inverso de la geodesia, tanto de Browring como de Vicenty fueron incluidos en la aplicación considerando su división en función de la distancia considerada, la verificación se realizó mediante el software TBC, proporcionando al usuario los resultados sin muchas complicaciones para directamente ser usados en las redes geodésicas ordinarias o mundiales.

La solución para el factor de escala se desarrolló con base a coordenadas geográficas y coordenadas planas UTM, siendo verificadas mediante el software TBC y civil 3D, teniendo similitud de resultados hasta el octavo dígito decimal. Por otra parte, la proyección cartográfica Transversa de Mercator Modificada (TM) se aplica en base a coordenadas geográficas y planas, generando así sus respectivas conversiones con el factor de escala proyectado, para su comprobación se usó el software TBC, obteniendo así autenticidad de resultados.

Dentro de los problemas de la Topografía se logró integrar a la aplicación el cálculo del desnivel entre dos puntos, azimut directo e inverso, rumbo directo e inverso, conversión de azimut a rumbo y el problema directo e inverso, los cuales son indispensables para realizar distintos trabajos topográficos, facilitando su cálculo o

comprobación de productos en campo, su verificación se llevó a cabo con ejercicios prácticos establecidos por Wolf & Ghilani en su libro de topografía y Santamaría en el libro de problemas resueltos de topografía práctica auspiciado por la Universidad Rioroja.

Por último, se incluyó la codificación de PTL's es así que para corroborar los parámetros a obtener en especial el factor de escala se utilizó la tesis de grado "Aplicación de la proyección local transversal de mercator (LTM) sobre el plano topográfico local (PTL) mediante observaciones con estación total entre puntos de control" (Tola, 2010), mientras que para los radios de curvatura del primer vertical y de la normal mayor se comprobó con la guía de proyecciones cartográficas elaborado por el INEGI en México, comprobando los mejores resultados para que el usuario pueda obtener automáticamente los factores asociados a PTL's y solucionar la discrepancia que se produce entre las mediciones del terreno y de la cartografía sobre un plano de proyección, haciéndolas consistentes.

Finalmente, se puso a prueba el modelo de PTL's, considerando que el archivo con datos de alturas elipsoidales pesa alrededor de 1GB, debido a esto se conformó un grupo de 10 personas relacionados con las Ciencias de la Tierra, cuya característica principal es contar con laptop u ordenador propio. Los involucrados probaron el enlace de la página web, obteniendo un tiempo de espera de 1 a 10 minutos para la lectura media del terreno y posteriormente la generación de resultados en .prj.

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

El objetivo fundamental del proyecto es desarrollar una aplicación geodésica, topográfica y cartográfica, incluyendo un generador automático de Planos Topográficos Locales (PTL's) disponible en la web, la misma que sea entendible y de fácil manejo, aportando una solución automatizada a los problemas geomáticos habituales; de esta manera se presenta las conclusiones del proyecto de investigación.

Se realizó la recopilación de los problemas geomáticos habituales de fuentes verídicas, generando una gran base de datos para la comparación de fórmulas por diferentes subtemas de las soluciones, lo cual permitió condensarlas y probarlas para el posterior diseño de algoritmos mediante pseudocódigo en el programa PSEINT de software libre, cuyo resultado son diagramas de flujo con la estructura de desarrollo.

Se generaron los algoritmos mediante lenguajes de programación, en base de HTML y JavaScript, considerando que los dos lenguajes se complementan ya que el primero ayuda a visualizar todo en la web y el segundo enlaza la codificación para obtener las soluciones, a diferencia de otros lenguajes como Matlab, R, Python entre otros cuya especialidad es estadística o de apoyo a software GIS, siendo un poco más complejo su enlace con la web.

Los planos topográficos locales obtenidos de forma automatizada se generaron a partir de HTML y JavaScript, los cuales establecen los parámetros de: falso norte, falso este, meridiano central y factor de escala para la proyección definido mediante modelo de alturas elipsoidales que cubre todo el Ecuador Continental, siendo uno de los insumos claves para la investigación, con esto se puede determinar la altura media de

un set de coordenadas que ingrese el usuario, considerando que no fue necesario el uso de una base de datos ya que este archivo se alojó en un dominio y hosting otorgado por la empresa privada al igual que los otros script y fue enlazado mediante dirección URL., dando como resultado un archivo en formato .prj, el mismo que puede ser ingresado en software GIS y obtener proyecciones de manera inmediata.

Se evaluó los scripts enlazados en HTML de las codificaciones para la solución de los problemas geomáticos habituales; a través del uso de software comercial Trimble Business Center, Civil 3D y ArcGis, en conjunto con monografías de la red de monitoreo continuo REGME – IGM a la vez se utilizó dos tesis de pregrado, con estas comparaciones y al obtener los mismos valores se concluye que la calculadora tiene un 100% de confiabilidad al generar resultados.

Finalmente, en el diseño del interfaz web se condensó los script generados en HTML y JavaScript para dar un estilo final a cada uno de los casilleros, tipo de letra, tamaño de letra, fondo de página, ventanas modales, entre otros. Estos estilos se generaron en CSS volviéndola una aplicación web de fácil uso para el usuario ya que cada una de sus funciones contiene su instrucción, posteriormente se enlazo todos los documentos al dominio y hosting entregado mediante el programa CPanel del cual se obtuvo el subdominio y código QR de la página web para un manejo más ágil; cabe mencionar que el aplicativo web únicamente funciona en los navegadores Microsoft Edge, Google Chrome y Brave, debido a que Opera y Firefox Mozilla presenta limitaciones en la lectura del modelo de altura elipsoidales por seguridad de datos .

## Recomendaciones

Se recomienda extender la solución de otros problemas geomáticos como la nivelación GPS, con la finalidad de tener resultados automatizados abiertos al público.

En lo referente a la estructura de la programación se recomienda realizar estudios que permitan consolidar los algoritmos generados para solución uno a uno y en bloque de datos, permitiendo así tener menor cantidad de archivos, los cuales pueden presentar dificultades por la abundancia de líneas codificadas.

Con respecto al generador automáticos de PTL's se recomienda cambiar la programación de lectura de set de coordenadas por ingreso de archivo de zona de estudio en formato *shapefile* con la finalidad de evitar datos erróneos al momento de ingresar un set de coordenadas.

Se recomienda dar mantenimiento constante a la página, evitando pérdida de datos, virus de internet, entre otros, para que la misma pueda cargarse con rapidez ofreciendo resultados rápidos y óptimos a los usuarios; también es necesario que las próximas versiones de la calculadora sean *responsive* es decir una web adaptable a todos los *device*: tablets, smarthphone, entre otros.

## Referencias

- Almagro, M. (2014). *Análisis y explotación de bases de datos de comercio*. [Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/24825>
- Aponte, J. (2020). Conversión de coordenadas geográficas a coordenadas planas, mediante el proceso de Coticchia - Surace. In *Unidades Tecnológicas de Santander*. <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2020/Working Paper Conversion de coordenadas geograficas a utm1.pdf?t=1593789379>
- Barba, J. (2013). *Diseño y Desarrollo web* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49757/MEMORIA\\_Barba Soler%2C Juan Pedro.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49757/MEMORIA_Barba Soler%2C Juan Pedro.pdf?sequence=1)
- Burgos, V. (2012). Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/X para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza. *1er Encuentro de Investigadores En Formación de Recursos Hídricos*. [https://www.researchgate.net/publication/274893462\\_Evaluacion\\_de\\_ASTER\\_GDEM\\_y\\_SRTM-CX\\_para\\_modelacion\\_hidraulica\\_de\\_la\\_rotura\\_de\\_presa\\_El\\_Carrizal\\_Mendoza](https://www.researchgate.net/publication/274893462_Evaluacion_de_ASTER_GDEM_y_SRTM-CX_para_modelacion_hidraulica_de_la_rotura_de_presa_El_Carrizal_Mendoza)
- Caceres, L. (2019). *Introducción, fundamentos de la programación, herramientas de programación, metodología de programación, aplicaciones* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Educación]. <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/4362/Introducción a la programación.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cango, L. (2017). *Evaluación de Modelos Digitales de Elevación usando datos LIDAR e imágenes satelitales* [Tesis de Grado, Universidad Técnica Particular de Loja].

<https://docplayer.es/76097862-Universidad-tecnica-particular-de-loja-area-tecnica.html>

Castillo, H. (2015). *Individualización de Zonas y Rangos de Deformación Horizontal en Chile para Proyectos de Ingeniería de Detalle a partir de la Estandarización de Parámetros Geodésicos y Cartográficos utilizando SIRGAS como Marco de Referencia.*

[http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/44\\_Castillo\\_2015\\_Cartografia\\_basada\\_SIRGAS.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/44_Castillo_2015_Cartografia_basada_SIRGAS.pdf)

Comisión Nacional de Riego. (2015). *Manual de procedimientos geodésicos y topográficos.*

<http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26939/CNR-0447.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cóndor, E., & Soria, I. (2015). *Programación Web con CSS, JavaScript, PHP y AJAX*. Universidad Nacional José María Arguedas.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QRG-CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=programación+con+javascript&ots=VqVWjXWjXB&sig=q8VCeeCEx8p6q\\_oUPFM2JrXQSTA#v=onepage&q=programación+con+javascript&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QRG-CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=programación+con+javascript&ots=VqVWjXWjXB&sig=q8VCeeCEx8p6q_oUPFM2JrXQSTA#v=onepage&q=programación+con+javascript&f=false)

Drewes, H., Sánchez, L., Blitzkow, D., & Freitas, S. (2002). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.*

[http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/bol\\_006.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/bol_006.pdf)

Federación Internacional de Geómetras. (2017). *Manual de Marcos de Referencia en la práctica.* [https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub64/Figpub64\\_es.pdf](https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub64/Figpub64_es.pdf)

Fernández-Coppel, I. (2016). *Localizaciones Geográficas El Datum.*

<https://www.aristasur.com/sites/as/users/3/arch/datum-cartografia.pdf>

Fernández, I. (2001). *Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM*.

<https://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utm-datum.pdf>

Furones, Á. (2010). *Sistema y marco de referencia terrestre, sistemas de coordenadas*.

<http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astrologia/teoria/astrologia210.pdf>

García, J., Martín, J., & Hernández, D. (2011). *Desarrollo de herramientas en python para cálculos geodésicos y topográficos* [Tesis de Maestría, Universidad D Salamanca].

[https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/120148/TFM\\_GarciaTenderoJP\\_Desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/120148/TFM_GarciaTenderoJP_Desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gómez, R. (2004). *Guía de proyecciones cartográficas*. INEGI.

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825231729.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825231729.pdf)

Idoeta, I. (2005). *Uso del plan topográfico local en obras lineales de ingeniería: caso autopista presidente Dutra*.

[https://www.isprs.org/proceedings/2005/semana\\_geomatica05/front/abstracts/dimarts8/G03.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/2005/semana_geomatica05/front/abstracts/dimarts8/G03.pdf)

Instituto Geográfico Nacional. (2015). *¿Qué es la Geodesia?*

<http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/GDS-Teoria-Geodesia.pdf>

Joyanes, L. (2006). Fundamentos de programación. In *Programación en C++*.

*Algoritmos, estructuras de datos y objetos* (pp. 4–42).

<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844814645X.pdf>

Lapaine, M., & Usery, L. (2016). *Proyecciones cartográficas y sistemas de referencia*.

[https://icaci.org/files/documents/wom/09\\_IMY\\_WoM\\_es.pdf](https://icaci.org/files/documents/wom/09_IMY_WoM_es.pdf)

Leiva, C. (2003). *Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos de referencia PSAD56 y WGS84 para el Ecuador*.

[http://www.igm.gob.ec/work/files/Param\\_Transf1.pdf](http://www.igm.gob.ec/work/files/Param_Transf1.pdf)

López, S. (1996). *Topografía*. chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbiblioteca.ihatuey.cu%2Flink%2Flibros%2Fagronomia%2Ftopografia.pdf

Malpica, J., & Sevilla, M. (2006). Estudio de las proyecciones cartográficas con la teoría de segundo orden. In *Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*.

[http://digital.csic.es/bitstream/10261/23344/1/N202\\_2007\\_9.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/23344/1/N202_2007_9.pdf)

Millán, J. (2006). *Fundamentos para Cartografía Náutica*.

Morales, P. (2018). *Geodesia en Chile, teoría y aplicación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)*. <http://www.ide.cl/descargas/Geodesia-en-Chile.pdf>

Moya, J., & Cedeño, B. (2017). Conceptos Básicos en Geodesia como insumo para un tratamiento adecuado de la información geoespacial. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 51–69. <https://doi.org/10.15359/RGAC.58-1.3>

NASA JPL. (2020). *NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001*.

<https://doi.org/10.5067>

Navarrete, A. (2019). *Caracterización dimensional/geométrica de los rasgos geológicos estructurales y sus implicaciones en los descensos diferenciales del terreno*

[Universidad Autónoma del Estado de México ].

[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106043/Tesis MCA\\_Abril Navarrete Becerril\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106043/Tesis_MCA_Abril_Navarrete_Becerril_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Navarro, S. (2008). *Manual de Topografía-Planimetría 2008*.

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf>

Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. *Journal of Chemical*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/CBO9781107415324.004>

Parra, L., López, C., & Cruz, N. (2020). Appsismat: aplicaciones móviles web para simulación matemática. *Germina - San Mateo*, 1(1), 123–161.

<http://190.60.89.187/index.php/germina/article/view/334/275>

Peralta, J., Cordero, M., & Jaramillo, J. (2020). *Topografía I. Área de Innovación y Desarrollo*, S.L.

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=okrbDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=objetivo+de+la+topografia&ots=xrTa15xbA6&sig=HZQejPpBUhOfpQkQZhJWNhu3HSs&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=okrbDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=objetivo+de+la+topografia&ots=xrTa15xbA6&sig=HZQejPpBUhOfpQkQZhJWNhu3HSs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Portilla, O. (2018). *Desarrollo de un sistema de proyección cartográfica local, en el Ecuador continental, orientado a la generación de cartografía a escalas grandes*

[Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13950/1/T-ESPE-057572.pdf>

Rapp, R. (1991). *Geometric Geodesy*.

Rapp, R. (2002). *Geodesia geométrica*.

Romero, R., Tierra, A., & Luna, M. (2013). *Transformación de coordenadas planas entre los sistemas geodésicos PSAD56 y SIRGAS mediante una red neuronal artificial*

[Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6456/1/T-ESPE-038489.pdf>

Salas, B. (2017). *Diseño de un tutorial en camtasia con herramienta que potencia la aplicación de etiquetas div de html en programación web* [Universidad Técnica de Machala ]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10390/1/ECUACS DE00006.pdf>

Sánchez, D. (2008). *Corrección de observables clásicos en levantamientos topográficos combinados* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba].  
<http://www.bibliotecapca.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH831e.dir/doc.pdf>

Sánchez, M. (2001). *Javascript*. Innovación y cualificación S.L.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3x09sewjaHIC&oi=fnd&pg=PA7&dq=programación+con+javascript&ots=YgJIOKyMtH&sig=CLfDp2j7GyBW8P19St9YGp3Uu1U#v=onepage&q=programación con javascript&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3x09sewjaHIC&oi=fnd&pg=PA7&dq=programación+con+javascript&ots=YgJIOKyMtH&sig=CLfDp2j7GyBW8P19St9YGp3Uu1U#v=onepage&q=programación+con+javascript&f=false)

Santamaría, J. (2011). *La cartografía y las proyecciones cartográficas*.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/492575.pdf>

Santamaría Peña, J. (1999). *Problemas Resueltos de Topografía Práctica*. Universidad de la Rioja. Servicio de Publicaciones.  
[https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/problemas\\_topografia\\_practica.pdf](https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/problemas_topografia_practica.pdf)

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>

- Sevilla, M., & Gil, A. (1988). Fórmulas diferenciales para los problemas geodésicos directo e inverso en el método de la cuerda. *Revista Del Instituto de Astronomía y Geodesia - Topografía y Cartografía*, 5(27), 14–32.  
[https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Sevilla-2/publication/277670046\\_Formulas\\_diferenciales\\_para\\_los\\_problemas\\_geodesicos\\_directo\\_e\\_inverso\\_en\\_el\\_metodo\\_de\\_la\\_cuerda/links/55f9b02008aeafc8ac279871/Formulas-diferenciales-para-los-problemas-geodesico](https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Sevilla-2/publication/277670046_Formulas_diferenciales_para_los_problemas_geodesicos_directo_e_inverso_en_el_metodo_de_la_cuerda/links/55f9b02008aeafc8ac279871/Formulas-diferenciales-para-los-problemas-geodesico)
- Tola, R. (2010). *Aplicación de la proyección local transversal de mercator (LTM) sobre el plano topográfico local (PTL) mediante observaciones con estación total entre puntos de control* [Universidad Mayor de san Andrés ].  
[https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/10654/PG-651-TolaVargas%2C Richard.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/10654/PG-651-TolaVargas%2C%20Richard.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vaca, P. (2012). Creación y uso de una plataforma web como apoyo a las clases del aula. *Relada - Revista Electrónica de ADA-Madrid*, 6(3), 233–243.  
<http://polired.upm.es/index.php/relada/article/view/1915/1920>
- Valverde, J. (2020). Estudio del efecto de un terremoto sobre un marco geodésico de referencia. *Uniciencia*, 34(1), 1–19. <https://doi.org/10.15359/RU.34-1.1>
- Vicenty, T. (1975). Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. *Survey Review*, XXIII, 88–93.  
[https://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/inverse.pdf](https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf)
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía* (Alfaomega Group (ed.); 11a ed.).
- Zamarripa, M. (2010). *Apuntes de Topografía*.  
<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHa003.dir/doc.pdf>

**Anexos**