



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Recinto Universitario Rubén Darío.

Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Departamento de Física.

**Tesis de Seminario de Graduación presentada como requisito final
para optar al título de:**

Licenciado en Física con Mención en Geofísica.

TEMA:

Prospección Geofísica aplicando los Métodos Magnético y Geoeléctrico en los Campos del Recinto Universitario "Rubén Darío", UNAN-Managua, en el período 2018-2020

Presentado por:

Br. Enozka Masiel Ramos Díaz (15049302).

Br. David Alejandro Díaz Barrios (150484 11).

Tutor: Msc. Xochilt Esther Zambrana Areas.

Asesor: Msc. Lener Sequeira Gómez.

Managua, Diciembre del 2020.

DEDICATORIA.

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios que me guio con sabiduría y entendimiento para que lograra este gran proceso de mi vida de concluir con mi carrera.

A mi abuelita socorro Villanueva que siempre recordare la manera de como endulzo mi infancia, la recordare con amor, porque ser nieto, es tener el cielo que te abraza y te consienta, siempre serás mi ángel, gracias por todo el gran apoyo, consejos, educación y amor incondicional que me brindo en sus últimos tiempos de vida que siempre vivirán conmigo.

También a mi abuelita Gladys Barrios por su gran apoyo y preocupación de que estuviera bien y de que todo me saliera bien en todo el transcurso de mis estudios.

A mis amados padres, Ada luz Barrios y Miguel Díaz quienes han sacrificado gran parte de sus vidas para educarme, formarme y que cuya ilusión de sus vidas ha sido convertirme en una gran persona de provecho, gracias infinitamente por darme la vida, ni aun con las riquezas más grandes del mundo podré pagarles.

A mis queridos hermanos, Margarita Díaz, Ada luz Díaz y Luis Miguel Díaz por su gran apoyo moral y espiritual que siempre me han brindado.

A mis amados tías y tíos que en todo el trayecto de mi carrera fueron unos de los grandes pilares de apoyo para poder llegar a cumplir mis metas y llegar a ser una persona de bien.

David Alejandro Díaz Barrios.

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo primeramente a Dios, creador de todas las cosas, el que me ha dado la fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado. Por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

De igual forma dedico esta tesis a mi Mamita Nidia Moreno, me crio desde que nací y para mí es el ángel más hermoso que Dios mando a mi vida. Sé que ya no está físicamente, pero en mi corazón siempre guardas un lugar muy especial, gracias por tu apoyo, consejos; valores y aportes que realizaste en mi vida son simplemente invaluable. Para el desarrollo de esta tesis, tuve que lidiar con toda clase de obstáculo y muchos de ellos los supere gracias a tu enseñanza.

A mi Madre Luz Díaz Blanco.

Eres una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, gracias por tantos sacrificios que tú haces para hacer de mí una persona de bien. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo y sin lugar a dudas has sido en gran parte gracias a ti; no sé en donde me encontraría de no ser por tu ayuda, tu compañía y tu amor. Te amo mamá y eres el ser más preciado que tengo en la tierra. A Erick Ortiz por apoyarme siempre en mis estudios y sus palabras motivadoras.

A mi Padre Humberto Ramos.

Al hombre que me dio la vida, el cual a pesar de haberlo perdido a temprana edad ha estado conmigo cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mi Hermana Adriana Díaz.

Gracias por apoyarme y brindarme tu ayuda incondicional por estar en cada desvelada haciéndome compañía.

A mi Tía Beatriz Alvarado Moreno.

Gracias tía por tu apoyo Incondicional en los buenos y malos momentos.

Enozka Masiel Ramos Díaz.

AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de nuestros anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A nuestros hermanos (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) a nuestro Departamento de Física del Facultad de Ciencias e Ingenierías por su cálida acogida que nos brindaron en todo nuestro proceso de nuestra carrera.

A nuestra Tutora Msc. Xochilt Zambrana por brindarnos todo su tiempo, apoyo incondicional y dedicación, por guiarnos durante todo nuestro transcurso de este trabajo monográfico, a nuestro Asesor Msc. Lener Sequeira por sus valiosos aportes y su gran apoyo incondicional en todo nuestro proceso.

VALORACION DEL TUTOR

RESUMEN.

El trabajo monográfico consistió en realizar un estudio de prospección geofísica, aplicando el método magnético y geoelectrico en los campos de fútbol del Recinto Universitario "Rubén Darío" de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Este estudio fue desarrollado con el propósito de determinar las condiciones geológicas que presenta el subsuelo en el recinto universitario, el cual se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica por la localización de la falla Zogaib, al oeste del área de investigación.

El objetivo de estudio consistió en localizar zonas de anomalías magnéticas, las cuales se determinaron mediante las correcciones de variación diurna y el Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF). Las mediciones fueron obtenidas utilizando el magnetómetro protónico (GSM-19T). Así también, se aplicó el método de tomografía eléctrica haciendo uso del equipo Terrameter LS, con el propósito de obtener un modelo bidimensional de resistividad del subsuelo.

Con los datos obtenidos entre ambos métodos geofísicos se obtuvo una mejor interpretación del subsuelo en el área de estudio. A través de los datos geofísicos fue posible realizar mapas de contornos o Isolíneas del campo geomagnético, así como la adquisición de un modelo de resistividad eléctrica en 2D, con los cuales se pudo identificar las anomalías geológicas relacionadas a estructuras geológicas tales como: fallamiento superficial, fracturas y lineamientos estructurales en la zona de investigación.

Como resultado del estudio se identificaron anomalías magnéticas que varían desde 36316 a 37767 y -436 a 1018 (nT). Por otra parte, con el método eléctrico se logró determinar resistividades eléctricas que van desde 130 a 970 ohm-m, delimitándose tres capas con rangos de resistividades asociado a roca no compacta del Cuaternario, a roca alterada y roca compactada haciéndose una capa más resistiva en profundidad del subsuelo.

Palabras Claves: Prospección magnética, prospección geo-eléctrica, resistividad eléctrica, anomalía geofísica.

INDICE

Capítulo I	1
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Descripción del Área de Estudio.	2
1.1.2. Generalidades del Área de Estudio.....	5
1.1.3. Principales Vías de Acceso.....	6
1.2. Planteamiento del Problema.	8
1.3. Justificación.....	9
1.4. Objetivos:	10
1.4.1. Objetivos General:.....	10
1.4.2. Objetivos Específicos:	10
Capítulo II	11
2.1. Marco Referencial.	11
2.1.1. Antecedentes.	11
2.2. Marco Teórico.	14
2.2.1. Marco Geotectónico Regional.	14
2.2.1.1. Tectónica de Centroamérica y Nicaragua.	14
2.2.3. Geología Regional de Nicaragua.	16
2.2.3.1. Provincia Geológica de las Planicies de la Costa del Pacifico.....	16
2.2.3.1.1. Provincia Geológica de la Depresión de Nicaragua.	16
2.2.3.1.2. Provincia Geológica Central de Nicaragua.....	17
2.2.3.1.3. Provincia Geológica del Norte.	17
2.2.3.1.4. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.....	18
2.3. Marco Geológico-Estructural de Managua.	20
2.3.1. Descripción del Graben de Managua.....	20
2.3.1.1. Características Litológicas de Managua.....	22
2.3.2. Estratigrafía del Área de Managua.....	22

2.4. Geología Local.	26
2.4.1. Descripción de la Estratigrafía de Sitio.....	26
2.4.1.1. Suelo Fósil (Psf2).	27
2.4.1.1.2. Depósito de Oleada Piroclástica (Po).....	27
2.4.1.1.3. Depósito de Flujo de Ceniza (Pfc).....	27
2.4.1.1.4. Suelo Fósil (Psf1).	27
2.4.1.1.5. Pómez de Apoyo (Ppa).	28
2.4.1.1.6. Depósito de Oleada Piroclástica (Hoc).....	28
2.4.1.1.7. Depósito de Flujo Piroclástico (Hfp).	28
2.4.1.1.8. Suelo Fósil (Hsf2).	28
2.4.1.1.9. Depósito de Caída de Escoria (Hce).	28
2.4.1.1.10. Suelo Fósil (Hsf1).	28
2.4.1.1.11. Pómez de Apoyeque (Haq).	29
2.4.1.1.12. Suelo Moderno (Hsm).	29
2.6. Método Magnético.....	31
2.6.1. Campo Magnético Terrestre.....	32
2.6.2. Propiedades Petrofísicas del Método Magnético.	33
<u>2.6.2.1. Susceptibilidad Magnética.</u>	<u>33</u>
2.6.3.1. Variaciones del Campo Magnético.....	36
2.6.3.1.1. Variaciones de Origen Externo.....	36
2.7. Correcciones.	38
2.8. Método Eléctrico.....	40
2.8.1. Método de Tomografía Eléctrica.	41
2.9. Fundamentos Teóricos del Método Geoeléctrico.	42
2.9.1. Método de Resistividad Eléctrica.	42
2.9.1.1. Factor Geométrico y Resistividad Aparente.	42
2.9.1.2. Inversión de los Datos de Resistividades Eléctricas Aparentes.	44

2.9.1.3. Conductividad de Materiales.	46
2.10. Hipótesis.	47
Capítulo III.....	48
3.1. Diseño Metodológico.....	48
3.1.1. Tipo de Estudio.	48
3.1.1.2. Área de Estudio.....	49
3.1.1.3. Universo.	49
3.1.1.4. Muestra.	49
3.2. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	52
3.2.1. Método Magnético.....	52
3.2.1.1. Equipo Utilizado.	52
3.2.1.2. Método Eléctrico.....	54
3.2.1.3. Equipo Utilizado.....	55
3.2.1.4. Otros Equipos.....	56
3.2.5. Procedimientos para la Recolección de Datos.	57
3.2.5.1. Método Magnético.	57
3.2.5.1.2. Método Eléctrico.....	62
3.2.5.1.3. Tomografías Eléctricas.....	62
3.2.6. Plan de Procesamiento y Análisis.	66
3.2.6.1. Método Magnético.	66
3.2.6.2.2. Programa ZONDRES2D.....	67
3.2.6.2.4. Inversión de los Datos de Tomografía Eléctrica.	67
Capítulo VI.....	69
4.1. Análisis y Discusión de los Resultados.	69
4.1.1.2. Resultados del Método Magnético.	69
4.1.1.3. Variación Diurna y Cálculo de Anomalía Magnética de Campo Total.....	71

4.1.1.4. Descripción teórica del IGRF.....	72
4.2. Procesado de Mapas Magnéticos.	76
4.2.1. Mapas de Contorno Magnéticos (Medido, Total y Residual).....	76
4.2.2. Resultado del Método Magnético (Mapa de Intensidad de Campo Magnético Total, Corregido por Variación Diurna).	79
4.2.3. Resultado del Método Magnético (Mapa de Anomalía Magnética Residual, Corregido por IGRF).	81
4.3.1.1. Proceso de Inversión de los Datos de Tomografía Eléctrica.	83
4.3.1.2. Resultado de Tomografía Eléctrica.	85
4.3.1.3. Discusión.....	89
Capítulo V	91
5.1. Conclusiones.....	91
5.2. Recomendaciones.....	93
5.3. Bibliografías.	94
Anexos I.....	100
Anexos II.....	140

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Poligonal de vértices de la zona de investigación, Recinto Universitario “Rubén Darío”.....	3
Figura 2. Mapa de localización del Área de Estudio... ..	4
Figura 3. Mapa de las principales vías de acceso de la zona de estudio	7
Figura 4. Mapa de Tectónica regional de América Central.....	15
Figura 5. Mapa de provincias Geológicas estructurales de Nicaragua.....	19
Figura 6. Mapa de localización de las principales fallas geológicas del área de Managua	21
Figura 7. Estratigrafía del Área de Managua.....	26
Figura 8. Mapa de localización del sistema de falla zogaib	30
Figura 9. Líneas del campo magnético.....	33
Figura 10. Línea de los dipolos de un material en la dirección del campo externo	35
Figura 11. Principio del Método Resistivo.	42
Figura 12. Disposición de los Electrodo para un estudio eléctrico en 2-D....	43
Figura 13. Modelo bidimensional, conjunto de bloques rectangulares.	45
Figura 14. Modelo de Inversión de Tomografía Eléctrica realizado con el programa ZONDRES2D.....	46
Figura 15. Magnetómetro protónico (GSM-19T).....	53
Figura 16. Equipo Terrameter LS, utilizado para mediciones de resistividad eléctrica.....	56
Figura 17. Herramientas Básicas Utilizadas en Campo.	56
Figura 18. Mediciones con el método magnético	57
Figura 19. Mapa de localización de Perfiles Magnéticos, en el Recinto Universitario “Rubén Darío” UNAN-Managua.....	61
Figura 20. Mediciones de Tomografía Eléctrica en la Parte WE	62
Figura 21. Modelo Gradiente.....	64
Figura 22. Mapa de localización de perfil de tomografía eléctrica en la parte N del Recinto Universitario “Rubén Darío” UNAN-Managua.....	65
Figura 23. Gráfica de la variación diurna con la base magnética.	69

Figura 24. Gráfica del perfil 15 de los valores de campo magnético medidos (nT).	70
Figura 25. Gráfica del Perfil 15 de los Valores de Campo Magnético Total, corregidos por Variación Diurna.	72
Figura 26. Gráfica del Perfil 15 de los Valores corregidos por IGRF (Anomalía Magnética Residual).....	73
Figura 27. Valor del IGRF del Perfil 1 al 14	74
Figura 28. Valor del cálculo de IGRF de los Perfiles 15, 16 y 17.....	74
Figura 29. Valor del cálculo de IGRF para el Perfil 18.....	75
Figura 30. Mapa de Intensidad de Campo Magnético Observado.....	77
Figura 31. Mapa de Intensidad de Campo Magnético Total, Corregidos por Variación Diurna (nT).	78
Figura 32. Mapa de Intensidad de Anomalía Magnética Residual, Corregidos Por IGRF.....	80
Figura 33. Mapa de Localización de Fallas Geológicas del Área de Estudio ..	82
Figura 34 . Modelo de inversión de Resistividad del perfil Eléctrico en 2D realizado con el programa ZondRes2D.....	84
Figura 35. Resultado de la imagen de del modelo de resistividad... ..	84
Figura 36. Mapa de Localización de Fallas Magnéticas y Geoeléctricas	87
Figura 37. Mapa de Zonificación Sísmica del Área de Estudio.....	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vértices de la zona de estudio.	2
Tabla 2. Resistividades de los materiales (Mendoza. M (2017)).....	44
Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables (MOVI).....	50
Tabla 4. Características técnicas del magnetómetro protónico (GSM-19t).	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5. Medición de los datos del de tomografía Eléctrica.....	63
Tabla 6. Valores de IGRF de los Perfiles Magnéticos.....	75

Capítulo I

1.1. Introducción

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo principal la realización de un estudio de prospección geofísica aplicando los métodos magnéticos y geoelectrónicos, con el fin de identificar zonas de anomalías magnéticas y la obtención de un modelo de resistividad del subsuelo en dos dimensiones, con el propósito de identificar anomalías relacionadas con fallamiento superficial y fallas secundarias de la zona de Falla Zogaib.

La metodología de estudio se encuentra compuesta mediante: 1) la clasificación del tipo de estudio, 2) el área de estudio, 3) el universo y muestra, 4) los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos de información, 5) el procesamiento para la recolección de datos e información, y 6) el plan de análisis y procesamiento de datos.

Los resultados obtenidos en la investigación son: a) Mapas de contorno o Isolíneas de valores magnéticos medidos, anomalía magnética total, corregidos por variación diurna y anomalía magnética residual, corregidos por IGRF b) Modelo invertido de resistividad eléctrica en 2-D que proporcionó de manera contundente información del subsuelo.

Concluimos el alcance de esta investigación donde se obtuvieron: a) mapas de contorno o Isolíneas, el cual se determinó que las anomalías magnéticas tienen orientación (Norte-Sur) que varían entre 36316 a 37767 (nT). b) un modelo bidimensional de resistividad en 2-D con orientación (Este-Oeste) con una zona de anomalía que varía entre 140 a 230 ohm-m, constatando de como las posibles anomalías geológicas-geofísicas reflejadas estén asociadas como un ramal de la falla principal.

1.1.1. Descripción del Área de Estudio.

El área de estudio geográficamente se localiza en el departamento de Managua, al (Sur-Oeste) del área urbana, específicamente en el Distrito III, de la ciudad capital. El sitio de investigación Recinto Universitario Rubén Darío se localiza en las coordenadas de referencia N: 1338-1339, E: 5792-5796 según el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 16N. El sitio de trabajo se encuentra en la hoja Topográfica de Managua, número 2952-III según la tercera edición de la actualización topográfica de Managua realizada por INETER en 1988 a escala 1: 50000. La extensión territorial de la zona a investigar cubre un área de 226.196,68416 m². El mapa a detalle del área a estudiar se observa en la Figura 1 y 2 con los vértices poligonales, localización de la zona de estudio y los vértices se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Vértices de la zona de estudio.

(Coordenadas WGS 1984 UTM zona 16N).		
Vértices.	Este.	Norte.
1	579218,226	1339184,975
2	579571,244	1339062,399
3	579642,338	1338488,744
4	579595,759	1338464,229
5	579492,796	1338569,644
6	579203,517	1338601,514
7	579232,935	1338883,439
8	579240,289	1338939,823

VÉRTICES DEL POLIGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

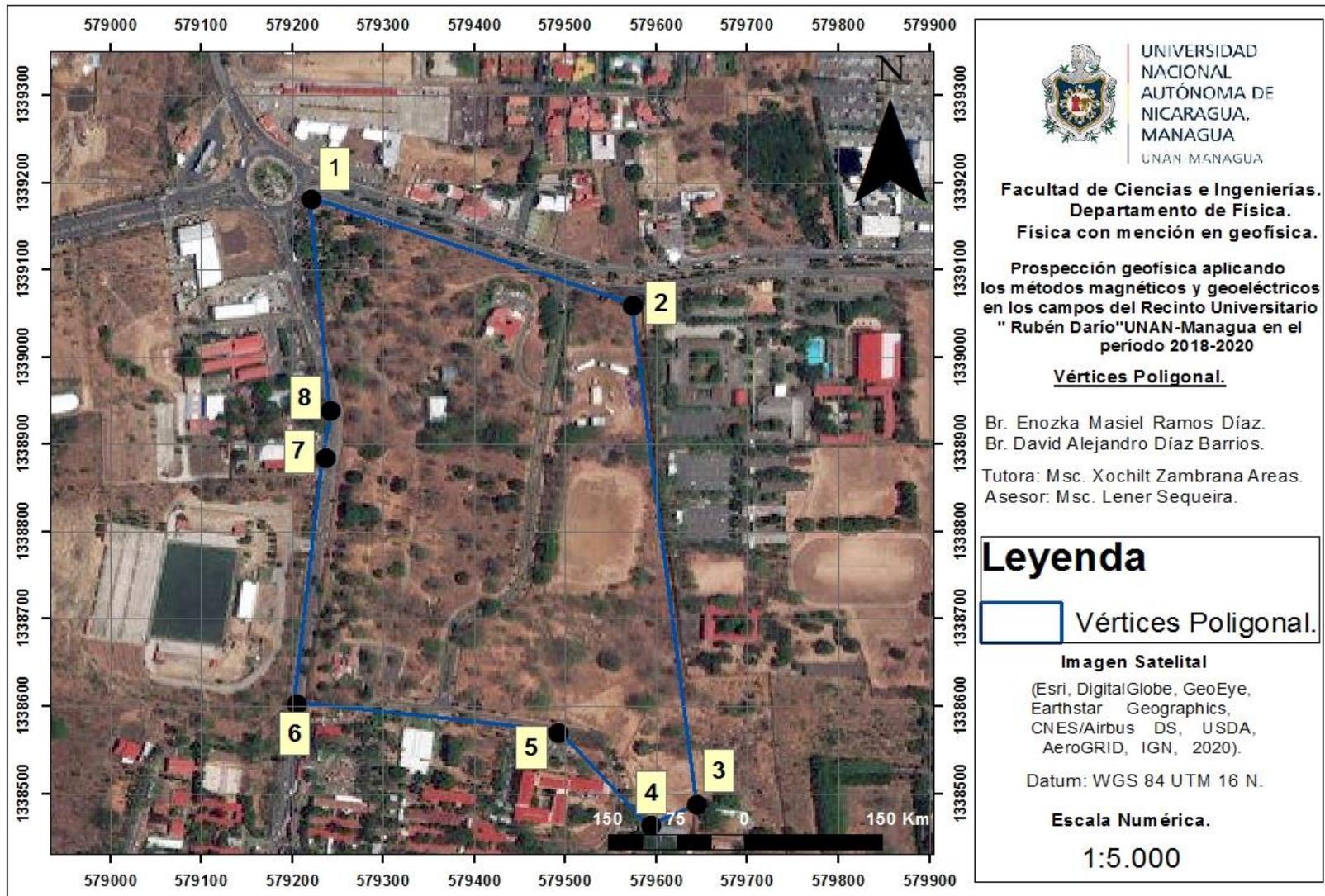


Figura 1. Poligonal de vértices de la zona de investigación, Recinto Universitario "Rubén Darío".

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

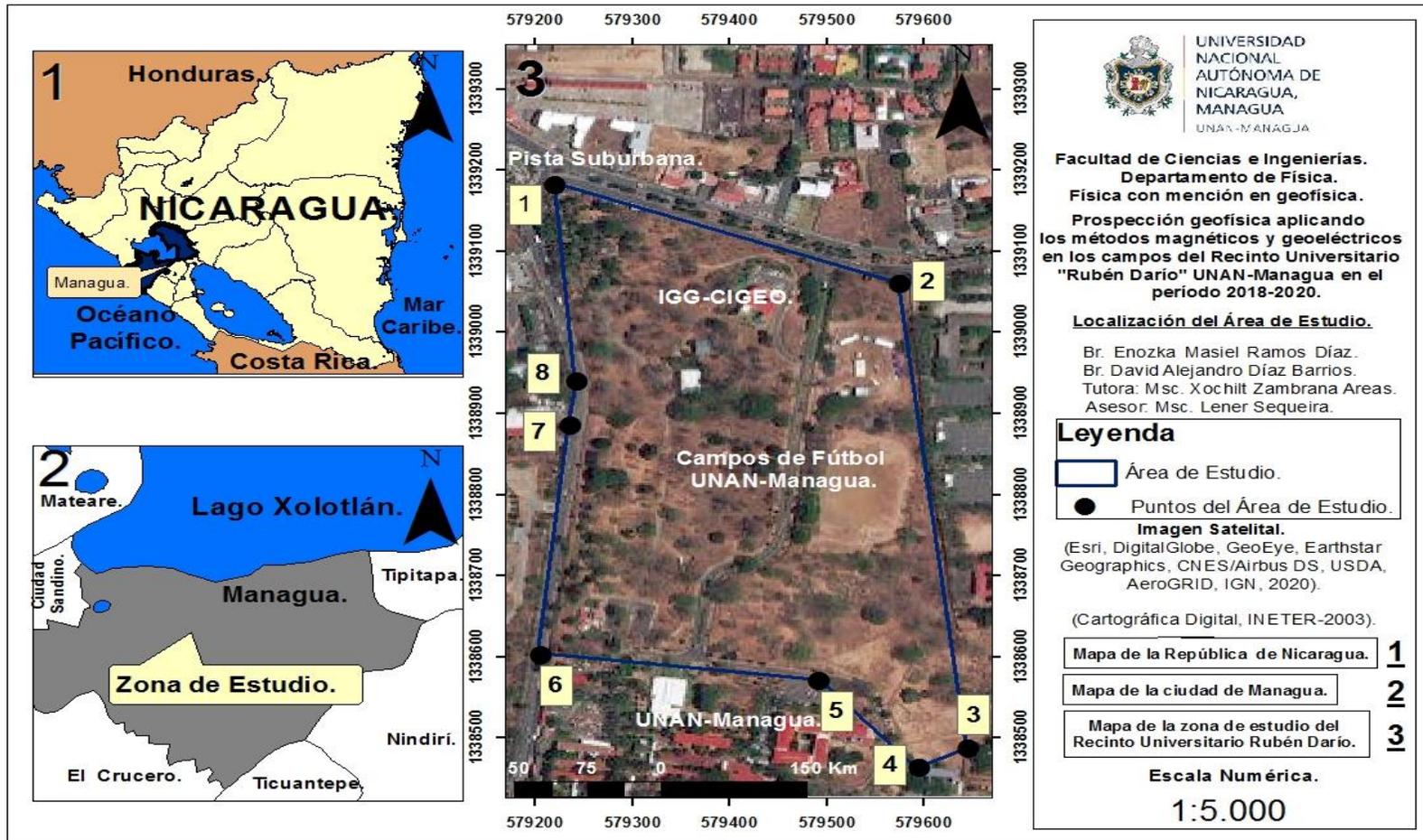


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio **(1)** Mapa de la República de Nicaragua **(2)** Mapa de la ciudad de Managua **(3)** Mapa de la zona de estudio del Recinto Universitario Rubén Darío (Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020)

1.1.2. Generalidades del Área de Estudio.

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), creada en 1958 mediante decreto que le otorgaba la autonomía universitaria, tiene sus antecedentes en la Universidad fundada en 1812 en la ciudad de León. Es la última de las Universidades establecidas por España durante la Colonia en América. El Recinto Universitario “Rubén Darío” comenzó su funcionamiento en 1969. El 29 de abril de 1982, por decreto de la Junta de Gobierno de Reconstrucción Nacional, la UNAN-Managua se constituyó como institución independiente.

Actualmente, la UNAN-Managua es una institución de educación superior de carácter público que goza de autonomía académica, orgánica, administrativa y financiera; que aporta al desarrollo del país, mediante la docencia e investigación con carácter multidisciplinario, la educación permanente e inclusiva, la proyección social y la extensión cultural, en un marco de cooperación genuina, equidad, compromiso, justicia social y en armonía con el medio ambiente.

La universidad está formada por nueve Facultades y un Instituto Politécnico de la Salud, distribuidos en tres recintos universitarios en la ciudad de Managua: Rubén Darío -sede central de la UNAN-Managua-, Carlos Fonseca Amador y Ricardo Morales Avilés, además cuenta con cuatro sedes universitarias regionales ubicadas en las ciudades de Estelí, Matagalpa, Carazo y Chontales.

En la UNAN-Managua estudian más de 40,000 estudiantes entre grado, posgrado y programas especiales. Se ofertan 214 carreras de grado, en las siguientes áreas de conocimiento: Educación e Idiomas, Ciencias de la Salud, Ciencias, Ingeniería y Arquitectura, Ciencias Económicas y Administrativas, Humanidades, Ciencias Jurídicas y Sociales. Cuenta con una planta docente de 847 maestros, en su mayoría con grado de maestría y doctorado. En el área administrativa laboran 1232 empleados aproximadamente.

La UNAN-Managua promueve la formación de posgrado a través de programas de maestrías, especialidades médicas y especialidades profesionales. Además, forman parte de la universidad tres centros de investigación, dos institutos de investigación, una estación experimental y un laboratorio certificado en biotecnología. <https://www.unan.edu.ni/index.php/presentación>.

1.1.3. Principales Vías de Acceso.

Para acceder al área de investigación se toma la pista de la UNAN-Managua, la cual se encuentra localizada en la parte sur de la ciudad de Managua, iniciando ésta en los semáforos de ENEL central y finalizando en Villa Fontana Sur con una longitud aproximada de 2,5 kilómetros. Esta pista fue diseñada hace varias décadas la cual fue construida como una colectora primaria con el objetivo de dar acceso a la infraestructura de la UNAN-Managua, la colonia Miguel Bonilla, Villa Fontana y carretera a Masaya cumpliendo satisfactoriamente con el nivel de servicio establecido según el estudio de tránsito realizado en esa época y siendo proyectada para 20 años. Según el Departamento de Infraestructura de la Alcaldía de Managua, aunque el nivel de servicio de esta haya aumentado, esta pista no ha sido geoméricamente modificada de su diseño original y no tiene previsto un rediseño de ampliación de la misma para satisfacer la demanda de tránsito actual que circula por dicha pista. (Vallecillo, 2014).

También sobre la pista UNAN-Managua transitan cuatro distintas unidades del sector público colectivo las cuales son Ruta 106, Ruta 111, Ruta 117 y Ruta 168, a esto hay que sumarle la inexistencia de las respectivas bahías para el abordaje y desabordaje de pasajeros.

PRINCIPALES VÍAS DE ACCESO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

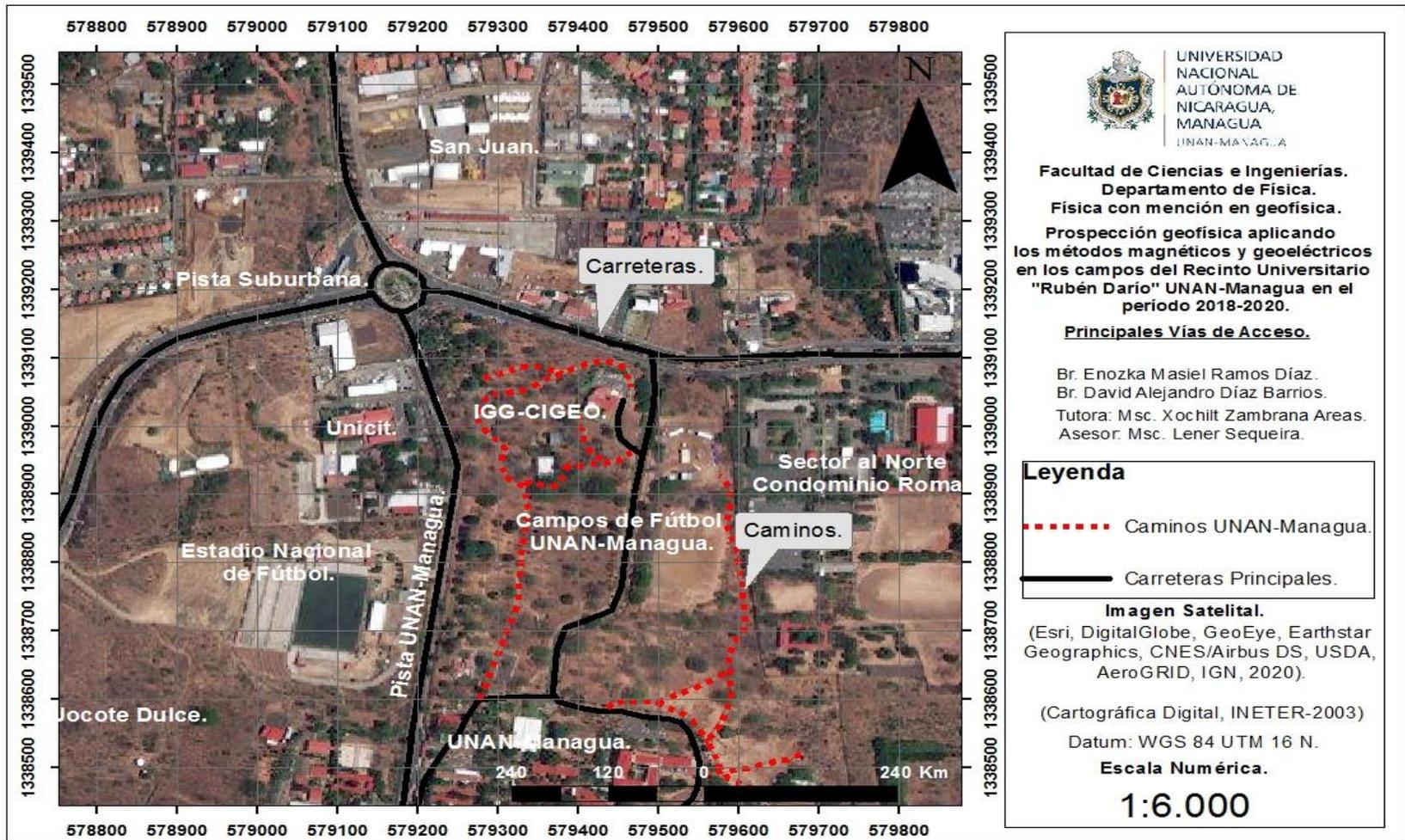


Figura 3. Mapa de las principales vías de acceso de la zona de estudio, Recinto Universitario Rubén Darío (Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

1.2. Planteamiento del Problema.

El Recinto Universitario Rubén Darío (UNAN-Managua), se localiza en una zona de alto peligro sísmico debido a la presencia de la falla geológica Zogaib, la cual aflora al oeste del área de estudio. Esta falla es sísmicamente activa y podría generar eventos sísmicos en el área de Managua, por lo cual causarían el daño de infraestructuras cercanas del sitio.

La tesis académica de *Prospección Geofísica aplicando los Métodos Magnético y Geoeléctrico en los Campos del Recinto Universitario "Rubén Darío", UNAN-Managua*, pretende identificar puntos de anomalías geofísicas relacionadas con estructuras geológicas, así mismo obtener modelos geofísico-geológicos del subsuelo. La investigación brindará información de gran interés en el campo de la geofísica para la resolución de problemas de ingeniería, aportando parámetros para la caracterización física del subsuelo, que es necesario para la debida planificación de futuras obras civiles en el Recinto Universitario.

El desarrollo de estudios geofísicos en el área de la UNAN-Managua, es necesario porque nos van a permitir aportar información del subsuelo e identificar zonas anómalas relacionadas a estructuras geológicas como fallas y fracturas, evaluadas por medio de los métodos de prospección (magnético, eléctrico y sísmico) y que así podremos definir la zonificación de áreas donde se pueda construir en el Recinto Universitario.

1.3. Justificación.

Los estudios geofísicos nos permiten explorar las condiciones geológicas del subsuelo, por ejemplo, el método magnético estudia las variaciones del campo magnético terrestre y es utilizado para la localización de fallas sísmicas, que pueden ser fuentes generadoras de movimientos telúricos. Otro método de exploración geofísica es el método eléctrico que tiene como objetivo determinar el modelo de resistividad eléctrica del subsuelo e identificar contraste de propiedades eléctricas y poder asociarlo a estructuras como fallas y fracturas.

La UNAN-Managua, es una de las universidades más grande del país, y con mayor demanda de la población estudiantil, por lo que es necesario la planificación de estudios geofísicos que nos permitan caracterizar el subsuelo e identificar zonas anómalas de fallas secundarias relacionadas a la zona de falla Zogaib y que pueden generar fenómeno sísmico y que afecten en un futuro las posibles edificaciones que lleve a cabo en el Recinto.

El estudio será de gran importancia para evaluar las condiciones en las que se encuentra el Recinto Universitario Rubén Darío, el trabajo investigativo le aporta a la (UNAN-Managua) gran información del sitio de estudio porque es la base para la planificación de futuros proyectos de construcción y para la reducción del riesgo sísmico en la zona de estudio.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivos General:

- Efectuar un estudio de Prospección Geofísica aplicando los Métodos Magnético y Geoeléctrico en los Campos del Recinto Universitario “Rubén Darío”, UNAN-Managua.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Procesar datos magnéticos y eléctricos, tomados en el área de los campos de fútbol de la UNAN-Managua.
- Analizar mapas de anomalías magnéticas total y residual del área de estudio.
- Caracterizar zonas de anomalías magnéticas relacionadas con estructuras geológicas en el sitio de investigación.
- Obtener un modelo de resistividad del subsuelo en dos dimensiones, mediante el método de tomografía eléctrica para identificar anomalías relacionadas con fallamiento superficial en los Campos del Recinto Universitario “Rubén Darío”, UNAN-Managua.

Capítulo II

2.1. Marco Referencial.

2.1.1. Antecedentes.

En los antecedentes de estudios se presentan algunos de los aportes investigativos más significativos con los que cuenta el Recinto Universitario Rubén Darío en la base de la ingeniería, Geología y Geofísica, existentes estudios realizados en los proyectos de edificaciones en la UNAN-Managua.

En este estudio investigativo se recopilaron los trabajos que estén más familiarizados al enfoque de nuestro tema, las cuales son:

Zambrana. X., en (2020), Ejecuta un proyecto de investigación titulado **Peligro Sísmico por Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua**. La investigación tiene como objetivo caracterizar el peligro sísmico por efecto de sitio en el área de la UNAN-Managua y está orientada a conocer las características y respuesta sísmica de los suelos en sus modos de vibrar ante un evento sísmico.

El área es una zona de alta peligrosidad sísmica por localizarse al oeste una falla geológica activa, conocida como la Falla Zogaib, la cual tiene una longitud de 2.7 km y orientación norte-sur, y representa un peligro sísmico para la Ciudad Capital, que históricamente ha sido devastada por terremotos de magnitud moderada (Ms 6-6.2) originados por fallas geológicas, dejando daños en las infraestructuras provocando el colapso total de viviendas y edificaciones y la pérdida de vidas humanas en el país. La investigación es un aporte valioso para la UNAN-Managua y es de base para la planificación de futuros proyectos de construcción.

Mejía, B. y Calero, J., en (2019), realizaron una tesis titulada **característica de las condiciones geológicas y sísmicas en la parte N y SW del recinto universitario Rubén Darío (RURD, UNAN-MANAGUA)**. en la que se evaluaron las condiciones geológicas y sísmicas del recinto universitario ruben darío por medio de levantamientos geológicos en los afloramientos de la falla zogaid, así también, se evaluaron las condiciones sísmicas del sitio, donde se realizó el análisis de datos de microtemores mediante la técnica de nakamura y la aplicación del método de tomografía eléctrica con el objetivo de obtener perfiles en 1D y 2D que aportaron información del subsuelo como resultados de la investigación se obtuvieron, una columna estratigráfica y perfil geológico bidimensional de la geología superficial del sitio, mapas de zonificación dinámicas y modelos de velocidad de onda de corte (v_s).

Castro, K y Borge, G., (2016), llevaron a cabo su tesis monográfica en el Recinto Universitario Rubén Darío para optar al título de Ingeniero Civil nombrado "**Análisis de Riesgo Sísmico en el Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua, utilizando la herramienta de estimación de pérdidas S.E.L.E.N.A**" desarrolla la evaluación al recrear los registros del escenario sísmico de mayor magnitud que ha causado pérdidas humanas y económicas en la historia de Managua (Terremoto 1972). Como resultado muestra un espectro para los puntos de los edificios de mampostería confinada frente a los terremotos producido por la falla zogaid mayor 1.600g y menor de 1.800g.

Gonzales, E, López, k, y Moscoso, k., (2017) se llevó a cabo un estudio titulado **Análisis de los Períodos Dominantes de vibración entre Suelo y Estructura en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN- Managua**. Con el objetivo de estimar periodos de vibración de los suelos los cuales se compararon con periodos de vibración de estructuras (aulas de clase), estas construcciones son vulnerables al fenómeno de resonancia por coincidir el periodo natural del suelo y edificación. Además, se estimaron modelos de velocidad de la onda de corte y como resultado se obtuvieron velocidades promedio entre $v_s=334.817$ - $v_s= 351.466$ m/s,

clasificando al suelo como moderadamente blando según el Reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua.

En el año **2005**, el **Instituto de Geología y Geofísica** antes conocido como Centro de Investigaciones Geocientíficas (**IGG-CIGEO/UNAN – Managua**) realizaron estudios geológicos y geofísicos por fallamiento Superficial del terreno en el proyecto Estadio Nacional de Fútbol (**UNAN - Managua**), ubicado en el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD), con el objetivo de estudiar el sitio donde se proyectaba la construcción del Estadio de Fútbol, se aplicaron Métodos geofísicos y geotécnicos.

Se identificó 3 zonas limitadas por el cambio drástico de una curva magnética, la cual se interpretó como la zona de la falla zogaib, también se logró observar 2 unidades, una con resistividades menor de 140 ohm con espesores de 4 a 5 metros y corresponde a material no consolidado, la otra unidad tiene un mayor a 190 ohm, del cual no se determinó el espesor debido al método eléctrico utilizado que tiene un alcance de 40 ohm, deduciendo que su espesor es mayor a este.

Corriols, M., (2004), ejecutó **Estudios de riesgo sísmico correspondientes a la construcción de edificios al SW del campus de Recinto Universitario Rubén Darío (RURD – UNAN, Managua)** con un proceso de métodos geofísicos de cinco perfiles de tomografía eléctrica y trincheras exploratoria, determinando tres capas según sus valores resistivos de menor a 72 ohm-m, entre 72 y 370 ohm-m y una tercera capa de suelo con valores resistivos similares a la primer capa, y los resultados de las trincheras exploratorias evidencian la presencia de paleocauces en la zona del Recinto Universitario.

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. Marco Geotectónico Regional.

2.2.1.1. Tectónica de Centroamérica y Nicaragua.

Desde el punto de vista tectónico, Nicaragua al igual que Centro América se encuentra localizada entre las placas de Norte América y entre las de Sur América por lo que se encuentra involucrada en base a los movimientos corticales de la placa Cocos, la placa Nazca y la placa Caribe, la interacción con estas placas tiende a provocar una geodinámica compleja que caracteriza la región (Frischbutter A. , Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images, 2002) ver Figura 4.

Nicaragua está alineada a lo largo del borde W de la placa del Caribe, esta placa limita al W y SW por la placa Cocos y la placa Nazca, en el N y E por la placa norteamericana y en el SE por la placa de Sur América. El límite de la placa del W, está definida por la Fosa Mesoamericana, donde está llevando a cabo la subducción activa de la placa flotante de Cocos debajo de la Placa Caribe. El límite Norte de la placa del Caribe está definida por el sistema de fallas Motagua - Polochic y la Fosa Caimán, rumbando E-W, al Este la placa del Caribe activamente está en subducción debajo de la placa norteamericana, y esta manifestada en la cadena volcánica de las Antillas. (Venable M. , 1994).

En el istmo Centroamericano la placa del Caribe está dividida en varios elementos Estructurales; el bloque Chortis que conforma América Central del Norte y de naturaleza continental y el bloque Chorotega de América Central Sur, de naturaleza oceánica. Se ha postulado que el Escarpe Hess de rumbo NE localizado en la parte S de Nicaragua, marca el límite entre los dos bloques dentro del Mar Caribe (Venable M. , 1994). Para una mayor comprensión de Nicaragua, Venable 1994 señala que un tercer fragmento descrito con el nombre de Terreno Siuna, localizado entre el bloque Chortis y el Chorotega, representa un fragmento del arco de Las Antillas Mayores, incrustando o adherido al margen S del bloque Chortis durante el inferior del Cretáceo superior.

TECTÓNICA REGIONAL DE AMÉRICA CENTRAL.

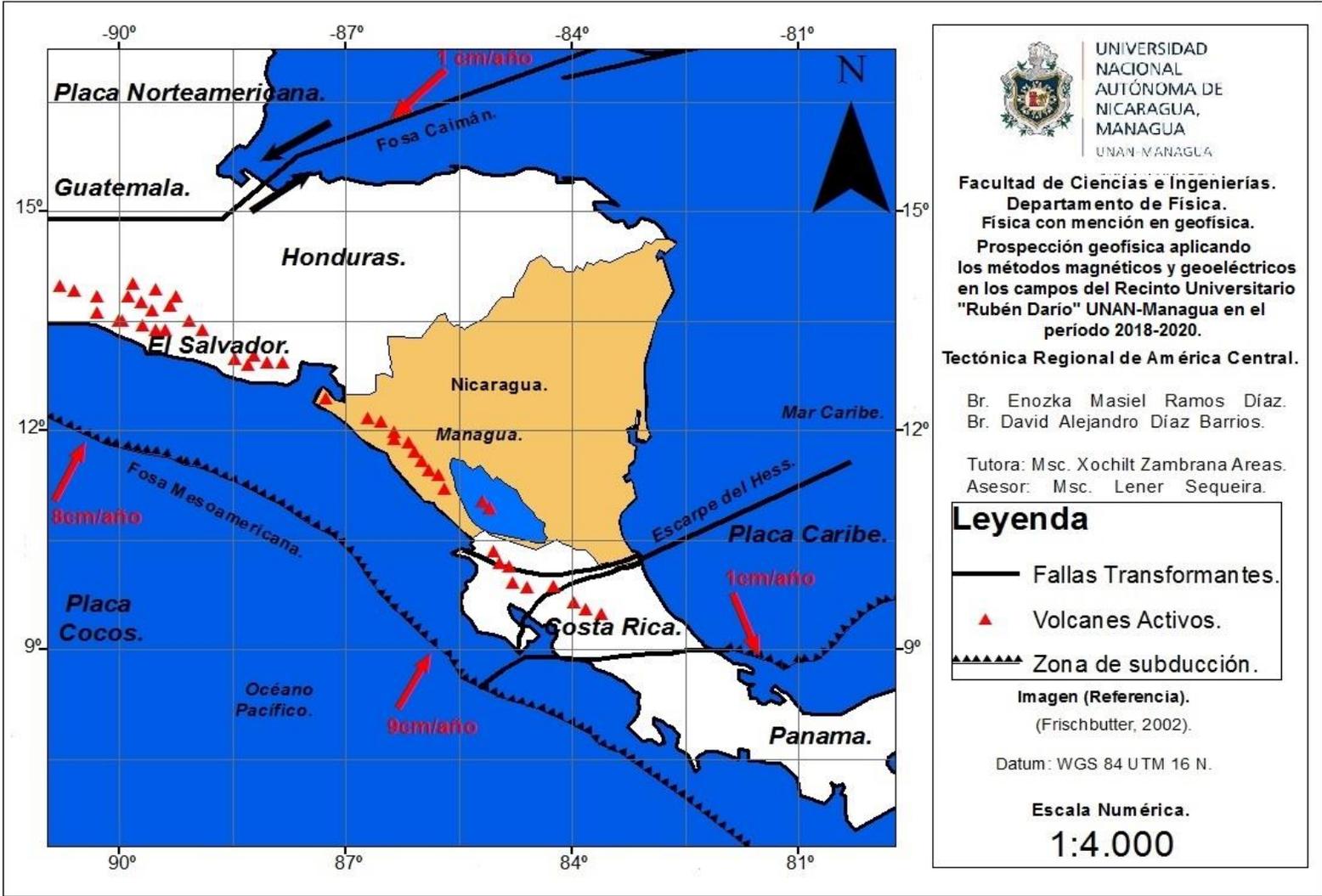


Figura 4. Mapa de Tectónica regional de América Central, (Frischbutter A. , Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images, 2002).

2.2.3. Geología Regional de Nicaragua.

La configuración geológica de Nicaragua se originó aparentemente en el paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica, del principio del cuaternario. Durante este periodo la región de Nicaragua fue afectada por una serie de fenómenos muy característicos pero estos acontecimientos no fueron iguales en toda la zona del país. (Lorente, 2012).

Hodgson G. en 1976 dividió Nicaragua en 5 provincias geológicas estructurales diferenciadas por su geomorfología, su estratigrafía, geología tectónica, geología histórica y geología económica (depósitos minerales metálicos y no metálicos), ver Figura 5 concluyendo así con:

2.2.3.1. Provincia Geológica de las Planicies de la Costa del Pacífico.

Esta provincia incluye la cuenca Sandino, y se localiza en el margen pacífico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área de ante arco del pacífico y se extiende costa adentro hasta el graben, donde se localiza el arco volcánico activo.

Se destacan dentro de esta provincia 6 formaciones sedimentarias (Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile, El Salto, Sapoá) y las formaciones volcánicas Las Sierras y Tamarindo.

2.2.3.1.1. Provincia Geológica de la Depresión de Nicaragua.

El Graben nicaragüense constituye una estructura tectónica joven, cruzando todo el Pacífico de Nicaragua desde el golfo de Fonseca en el NO, hasta la frontera con Costa Rica, encajada entre las dos estructuras más elevadas: el anticlinal de Rivas al Oeste y las Tierras Altas del Interior al Este.

El graben se encuentra limitado por dos sistemas de fallas de rumbo NO-SE y su origen está relacionado a la actividad volcánica reciente, a la fosa Mesoamericana y al movimiento de las placas de Coco y del Caribe. Las fallas pertenecen al sistema centroamericano, que se extiende desde Guatemala hasta Costa Rica. La depresión se encuentra rellena con depósitos piroclásticos y aluvionales con espesura un poco inferior a los 2000 m. La cadena volcánica reciente, parcialmente activa, la atraviesa desde el NO hasta el SE. Los dos grandes lagos (el lago de Managua y el de Nicaragua), originados por la estructura geomorfológica del graben, ocupan hoy aproximadamente unos 40% de la depresión.

La depresión del graben de Nicaragua, forma parte de la zona marginal del pacifico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosa de mar profunda, regiones de plataformas, cadenas de arcos de islas activos y rasgos tectónicos activos.

2.2.3.1.2. Provincia Geológica Central de Nicaragua.

En 1965, McBirney et al, en el estudio de la Historia volcánica de Nicaragua, subdividió las rocas volcánicas de la Región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo inferido subyacente, los dos superiores El Coyol y El Matagalpa fueron diferenciados uno del otro por la composición litológica y la geomorfológica (el Coyol con un relieve en mesas y mesetas escalonadas y el Matagalpa con relieves de cerros irregulares u ondulados, de topografía suave, rocas buzantes y deformadas), señalando que estas dos secuencias de rocas tienen grandes extensiones, en todo el área Central - NE de Nicaragua. Las rocas de estos grupos han sido descritas como del Terciario medio Superior.

2.2.3.1.3. Provincia Geológica del Norte.

Esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas de Nicaragua la cual ha sido instruida por un

gran batolito granítico de Nueva Segovia. También se señala la existencia de rocas sedimentarias como Calizas, lutitas y conglomerados, agrupados en las formaciones Metapán y Totogalpa. Dentro de esta provincia se encuentra también la existencia de rocas volcánicas cretácica – Terciarias.

2.2.3.1.4. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.

Esta provincia abarca la cuenca de la Mosquitia, la Cuenca Costera y el Banco de Nicaragua. Está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, río Coco en el Norte y río indio en el Sur, y en el E el mar del Atlántico.

Los sedimentos recientes están representados por las gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes. Los sedimentos Terciarios antiguos comprenden rocas como areniscas, lutitas y calizas (Forms.Terciarias), conformando la parte superior de la cuenca la Mosquitia, también se señalan en el área NW el afloramiento de un gran batolito granitoide que es parte del batolito del Pacífico, la presencia de rocas extrusivas (predominantemente la andesita) ocupando la parte central-oeste de la provincia, se señala también la presencia de rocas sedimentarias mesozoicas y metamórficas. (Hodgson G. , 2002).

PROVINCIAS GEOLÓGICAS DE NICARAGUA.

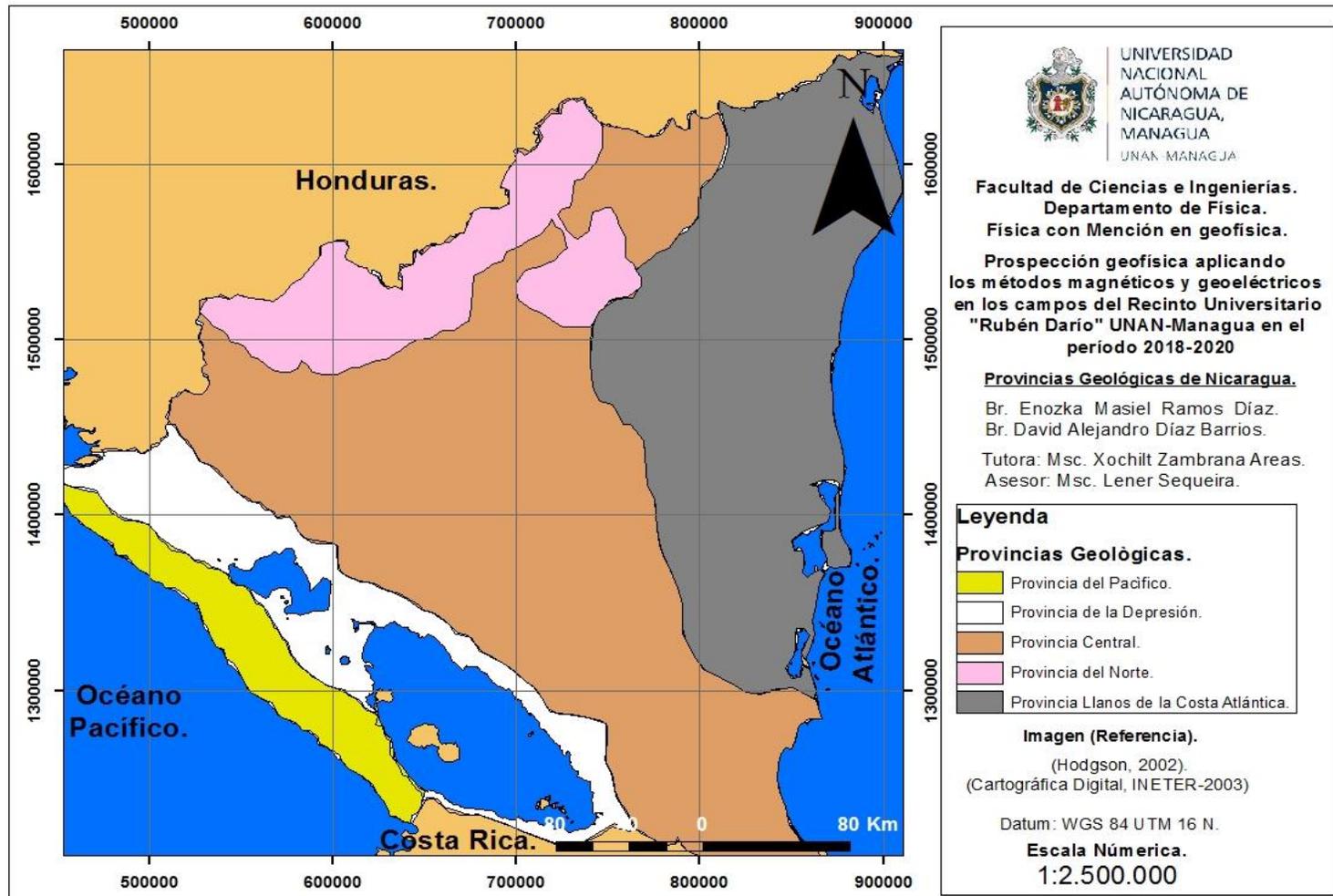


Figura 5. Mapa de provincias Geológicas estructurales de Nicaragua (Hodgson, 2002).

2.3 Marco Geológico-Estructural de Managua.

2.3.1. Descripción del Graben de Managua.

El Graben de Managua se localiza en la región del Pacífico del país, dentro de la Depresión o Graben de Nicaragua, que se extiende desde la frontera con Costa Rica al sureste, hasta el Golfo de Fonseca, estructuralmente el área de estudio forma parte de la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense, Esta Cadena Volcánica se encuentra dividida en dos segmentos denominados NO y SE; es en esta zona de segmentación donde se ubica el Graben de Managua; el cual es una estructura orientada N-S, de tipo extensional y tectónicamente activa, que disloca la Cadena Volcánica Nicaragüense en sentido derecho por una distancia de ~13 Km. (Frischbutter A. , Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images, 2002). Este Graben tiene una longitud de 36 Km en dirección N-S y un ancho de 15 Km en dirección E-O y se encuentra afectado por un sin número de fallas geológicas activas. (La Femina, 2002).

Los límites actuales del graben de Managua están conformados por las siguientes fallas activas principales. La falla cofradía al este que se evidencia por un pequeño escarpe, con una orientación NNE; la falla Nejapa al oeste, con una orientación NO-SE y el escarpe de Mareare. El límite sur del graben de Managua. Lo compone el complejo volcánico las sierras Masaya, conformado por la caldera de Masaya y un campo ignimbrítico basáltico.

(Frischbutter A. , Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images, 2002) ; Girard et al; 2005. Además, existen estructuras de menor orden, como el pequeño graben limitado por la falla cofradía y la falla Aeropuerto, con dirección NE (Graben Aeropuerto), numerosas fallas activas de dirección N-NE y posibles zonas de fallas controladas por la erosión (Frischbutter A. , Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images, 2002) ver Figura 6.

LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES FALLAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA DE MANAGUA.

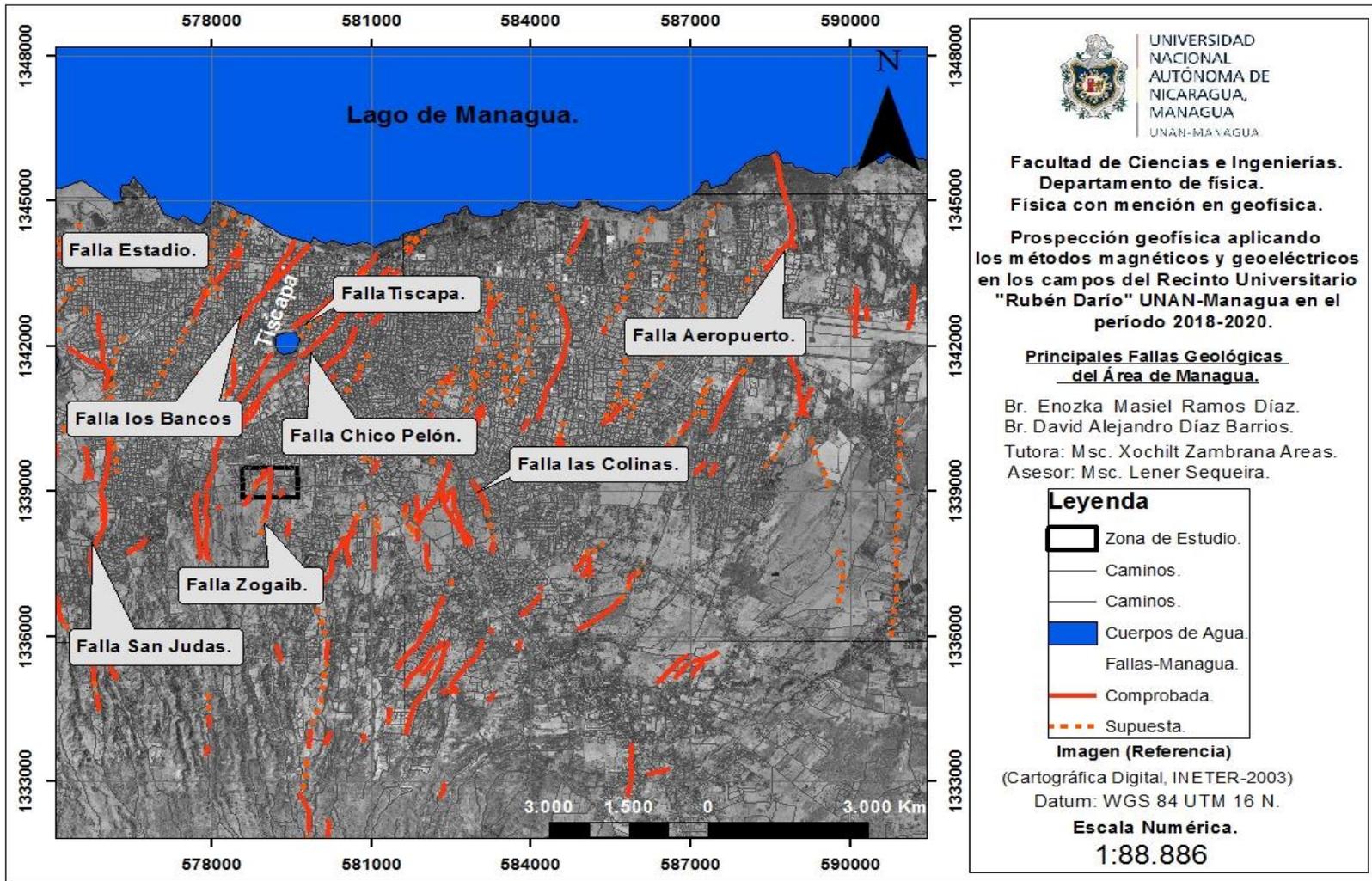


Figura 6. Mapa de localización de las principales fallas geológicas del área de Managua (Cartográfica Digital, INETER-2003).

2.3.1.1. Características Litológicas de Managua.

La capital ubicada dentro de la cordillera volcánica entre los volcanes Apoyeque al noroeste y el Masaya al suroeste, en sus alrededores se reconocen numerosos pequeños edificios volcánicos y remanentes de volcanes como lo son: Santa Ana, Asososca, Tiscapa, Ticomo, motastepe, entre otros. (INETER G. , 2020).

Se caracteriza por la presencia de una secuencia de volcano-sedimentarios donde es reconocida por los productos que son provenientes de los volcanes Masaya, Apoyeque, Apoyo, también de los lineamientos de volcanes como, Miraflores, Nejapa, Motastepe y de otros fuera de estos lineamientos como Chico pelón y Tiscapa que ahora son remanentes de una antigua actividad volcánica, sin embargo la presencia numerosas de suelos fósiles demuestra la existencia de ciertas calma en los periodos volcánicos o tectónicos los cuales han permitido el desarrollo de varios tipos de suelos (Hradecky et al., 1997).

2.3.2. Estratigrafía del Área de Managua.

La estratigrafía de la capital de Managua han sido estudios de varios proyectos investigativos de gran importancia, por lo tanto (Bice, 1983) y (Hradecky et al., 1997) se basaron en la base de conceptos genéticos en la clasificación de la litología; muchos propusieron en la base de la litología con una visión ingeniero-geológica, especialmente los proyectos que fueron hechos luego del terremoto 1972 (Woodward-Clyde Consultants, 1975) dio un origen mejorado a los conocimientos geológicos y estructurales del área de la capital de Managua, indispensablemente considerando utilizar genéticos aspectos, vulcanológicos y geomorfológicos en la definición de esta área, así como en los proyectos o estudios científicos.

Litológicamente consiste en una serie de depósitos volcánicos de caída, flujos piroclásticos y lavas, denominados como Grupo Sierras del Terciario, también

Grupo Managua como un depósito superficial del Cuaternario caracterizado por ser una secuencia de rocas volcánicas por sus suelos fósiles o residuales.

Entre las fuentes volcánicas posibles que destacan estos depósitos están los aparatos volcánicos más cercanos a Managua las cuales son: caldera Apoyeque, la caldera Masaya, los cráteres Nejapa, Asososca y Tiscapa también los colapsos de estructuras como valle ticomó, los conos de escorias como cerro Motastepe, cerro Chiltepe y la loma Chico Pelón, sin embargo el origen de los suelos está relacionado con el drenaje de la cuenca sur del lago de Managua siendo activo durante la temporada lluviosa, la erosión hídrica producida en la parte sur de Managua, da origen a suelos aluviales y flujos hiperconcentrados que originan suelos arcillosos (Mayela, 2012).

2.3.2.1. Formación Las Sierras: Se encuentra dividida en dos unidades, las cuales están separadas por un paleosuelo (Kutterolf, 2007), estas son:

2.3.2.1.1. Tefra Unicit: Compuesta por un depósito de caída de pómez masivo, con espesor de 20 a 65 cm, en la base presenta una ligera gradación inversa y gradación normal en la parte superior (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.2. Tefra Fontana: Es una secuencia de capas de escoria de color negro, muy vesicular de composición andesítica, su espesor promedio es de 3 m y es atribuida a explosiones plinianas de la caldera Masaya (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.3. Formación Managua: La formación Managua se compone de seis unidades piroclásticas emplazadas en los últimos 25 mil años, que van de composición basáltica a riolítica. Son atribuidas a erupciones muy explosivas de las calderas de Apoyo y Masaya (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.4. Pómez de Apoyo (PA): Está dividida en dos unidades de depósitos de caída, Apoyo Inferior y Apoyo Superior, separadas estas por un paleosuelo.

Apoyo Inferior está compuesto por pómez de composición dacítica, su edad a través del método C14 es de 23,890 240 años. Apoyo Superior está compuesto también por pómez dacítica, su edad a través del método C 14 es de 24,650 120 años (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.5. Tefra San Antonio (TSA): Es una secuencia de escoria negra, cubierta por oleadas piroclásticas que fueron encontradas al noroeste, norte y sur de la Caldera Masaya, su edad estimada en base al material subyacente es de 6,100 años (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.6. Tefra La Concepción (TLC): Se encuentra expuesta al sur de la Caldera Masaya, donde alcanza hasta 2 m de espesor, consiste en un depósito de caída de escoria muy vesicular de color negro (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.7. Tripe Capa Masaya (TCM): Se encuentra al noroeste de la caldera Masaya. Identificado como una capa deleznable de ceniza gruesa de color negro, de 5 -10 cm de espesor, limitado por dos capas en la base y la cima de toba gris endurecida, de 1 - 2 cm de espesor (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.8. Toba Masaya (TM): Se trata de un depósito de oleadas que se extiende a más de 35 Km de la caldera de Masaya, corresponde a una de las erupciones más jóvenes registrada en la Caldera Masaya, la cual tiene una amplia distribución radial alrededor de la misma, se estima una edad de menos de 2,000 años (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.9. Lapilli Ticuantepe (TIL): Consiste en cuatro pequeñas capas de escoria color negro, vesicular, tamaño lapilli; las que están intercaladas por tres capas de cenizas ricas en líticos (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.10. Formación Chiltepe: Se trata de una secuencia de depósitos volcanoclásticos, que está separada de la subyacente formación Mateare, por

una discordancia regional de más de ~ 17 mil años y que está dividida en seis unidades principales (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.11. Tefra de Apoyeque Inferior (LAq): Consiste en un depósito de pómez de caída de color blanco de composición dacítica que se localiza al oeste y noroeste de la Península de Chiltepe (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.12. Tefra de Apoyeque Superior (UAq): Es un depósito de caída de pómez, tamaño lapilli, inversamente clasificado, su edad a través del método C14 es de $12,400 \pm 100$ años (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.13. Tefra de Xiloá (XT): Es un depósito de caída de pómez, vesicular y de color blanco. La edad de este depósito por medio del método de C 14 aplicado a troncos de árbol carbonizado es de $6,105 \pm 30$ años (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.14. Tefra Mateare (MaT): Consiste en intercalaciones de pequeñas capas formadas por fragmentos de tamaño lapilli, cuya composición varía de dacítica en la base a andesítica en la parte superior (Kutterolf, 2007).

2.3.2.1.15. Tefra Los Cedros (CdT): Es un depósito de pómez de caída recientemente identificado de 15 cm de espesor que se localiza entre Mateare y el occidente de Managua. La composición global de este depósito es dacítica (Kutterolf, 2007).

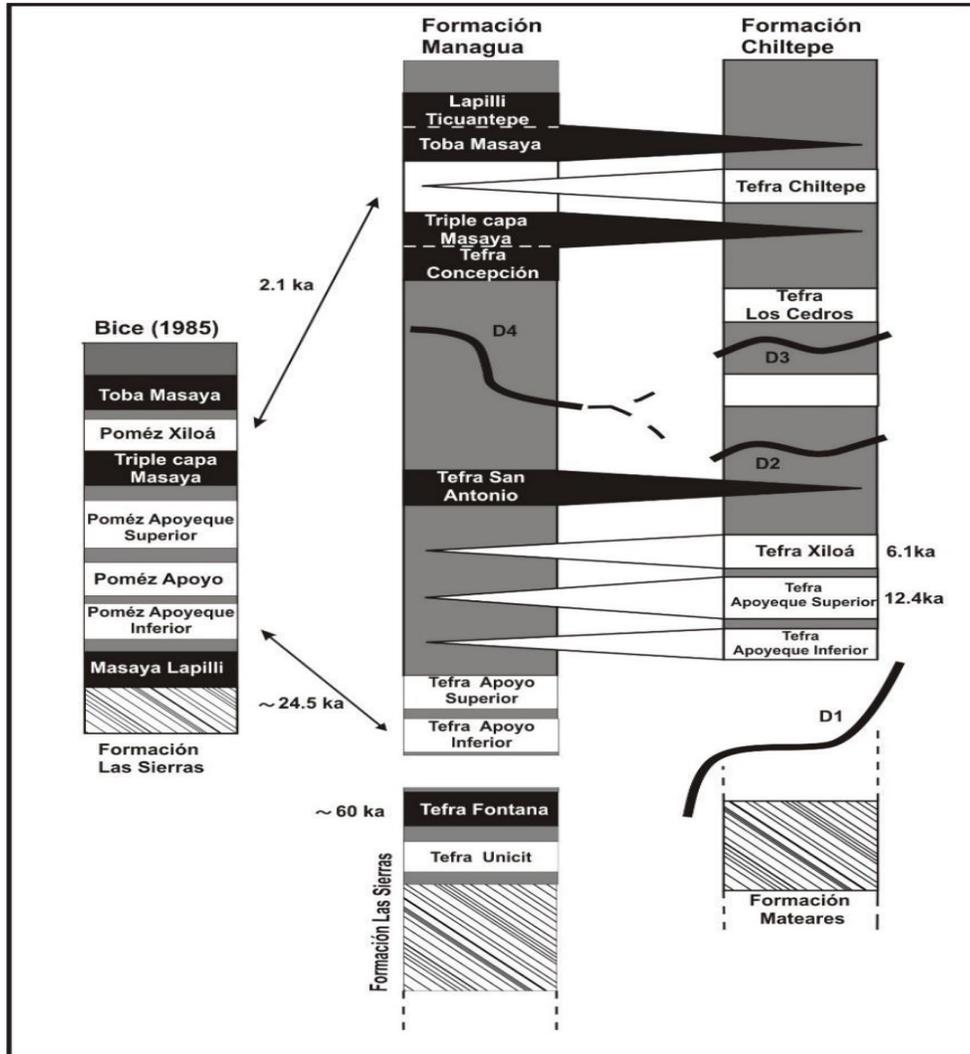


Figura 7. Estratigrafía del Área de Managua (Kutterolf, 2007).

2.4. Geología Local.

Este enfoque investigativo fue tomado en base a estudios relacionados a nuestro tema: (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1. Descripción de la Estratigrafía de Sitio.

Ubicadas al oeste del Recinto Universitario Rubén Darío se muestra la descripción de la estratigrafía de los afloramientos del sitio de estudio. (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1. Suelo Fósil (Psf2).

Es un suelo arenoso-gravoso y meteorizado, es de color café claro con fracturas de carbonato de sodio, tiene fragmentos de pómez con depósitos piroclásticos entre los 10 a 20 mm (Mejía, B., Calero., J en 2019).

2.4.1.1.2 Depósito de Oleada Piroclástica (Po).

Es un depósito volcánico el cual posee 4 capas volcánicas: ceniza, escoria, ceniza y escoria con una extensión de 0.55 m (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

Ceniza: con 14 cm con un color gris claro, con fragmentos de 30mm de escoria.

Escoria: teniendo fragmentos angulosos y sub-angulosos posee 14 cm y es de un color gris oscuro.

Ceniza: es bastante suelta con unos 8 cm teniendo un color gris claro.

Escoria: es de composición básica con 8 cm de espesor, tiene fragmentos angulosos y sub-angulosos.

2.4.1.1.3. Depósito de Flujo de Ceniza (Pfc).

Es de color gris, tiene un espesor de 8 cm, es bien compactado, está muy fracturado y rellenas de carbonato de calcio en su parte inferior debido la meteorización, ubicados en la parte de la unidad transferida de la UNAN-Managua y en el Estadio Nacional de Fútbol lado Oeste de las graderías, tienen fragmentos de pómez y contiene pisolitos de 7mm en su parte superior (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.4. Suelo Fósil (Psf1).

Es de color amarillo ocre de 2.65 m es muy meteorizado tiene componentes de grava, arena, limo y de roca tamaño lapilli posee fragmentos volcánicos tiene fracturas rellenas de carbonato de calcio (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.5. Pómez de Apoyo (Ppa).

Es de color rosa con un espesor de 0.44 m no es compactado tiene fragmentos tamaño lapilli de 30 mm y es determinada como un raro depósito de pómez (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.6. Depósito de Oleada Piroclástica (Hoc).

Es de ceniza fina de color gris con 1.70 m, tiene fracturas rellenas de carbonato de calcio. En su parte inferior es de ceniza compactada de color gris muy meteorizada, se observan pisolitos en su parte media y en la parte superior, ceniza más fina y suelta producto a la meteorización (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.7. Depósito de Flujo Piroclástico (Hfp).

Tiene 2.20 m de espesor con fragmentos tamaño lapilli y un bloque de de 15 cm es un depósito bastante suelto de color gris negro (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.8. Suelo Fósil (Hsf2).

Tiene 1.30 m de espesor de color amarillo con fragmentos líticos de lapilli meteorizado, posee pisolitos en su parte intermedia (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.9. Depósito de Caída de Escoria (Hce).

Es de color gris claro de escoria suelta y fina con 1.80 m de espesor, con fragmentos tamaño lapilli de color negro en su parte inferior, tiene intercalación de carbonato de calcio (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.10. Suelo Fósil (Hsf1).

Es arenoso, gravoso y tiene 1.20 m, en su parte inferior tiene fragmentos tamaño lapilli y en la parte superior por fragmentos de pómez siendo un suelo no compactado (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.11. Pómez de Apoyeque (Haq).

Deposito que tiene 0.46 m de espesor de caída de pómez siendo de color blanco en su parte inferior, en su parte superior es de color amarillo con fragmentos de pómez que tienen de 30 a 40 mm de tamaño (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.4.1.1.12. Suelo Moderno (Hsm).

Es húmedo, arenoso y gravoso de color café oscuro con material orgánico por conexión con la vegetación y como está expuesto a la atmosfera es por lo que su espesor varía. (Mejía, B, y Calero, J., en 2019).

2.5. Características de la Falla Zogaib.

La zona de investigación UNAN-Managua siendo una gran base en la capital por el hecho de que es una de las universidades con mayor concurrencia de estudiantes y con un gran continuo crecimiento cada año, el cual al oeste se encuentra localizada la zona geológicamente conocida como falla Zogaib que se extiende al costado oeste hasta el sureste del área de la UNAN hasta las proximidades del Recinto Universitario “Rubén Darío” (Máyela, 2012), (Mejía, 2019).

La falla Zogaib se visualiza al Oeste del Recinto Universitario “Rubén Darío” el cual fue denominada por Kuang, J. (1973) y Woodward-Clyde Associates (1975), Como una falla normal, esta falla geológicamente activa cuenta con un desplazamiento total de 40 metros y una longitud afirmada de 2,7km con orientación norte-sur también está definida como un estructura lineal en una dirección NE-SW el cual se prolonga al sur de la cuenca tectónica de Managua, este sistema de falla se encuentra representada por tres principales segmentos con una geometría de échenlo derecho y unas zonas de revelo con una extensión de 8,9 km su análisis se realizó haciendo uso de la base de datos de INETER 2003 Ver figura 8.

LOCALIZACIÓN DE FALLA ZOGAIB.

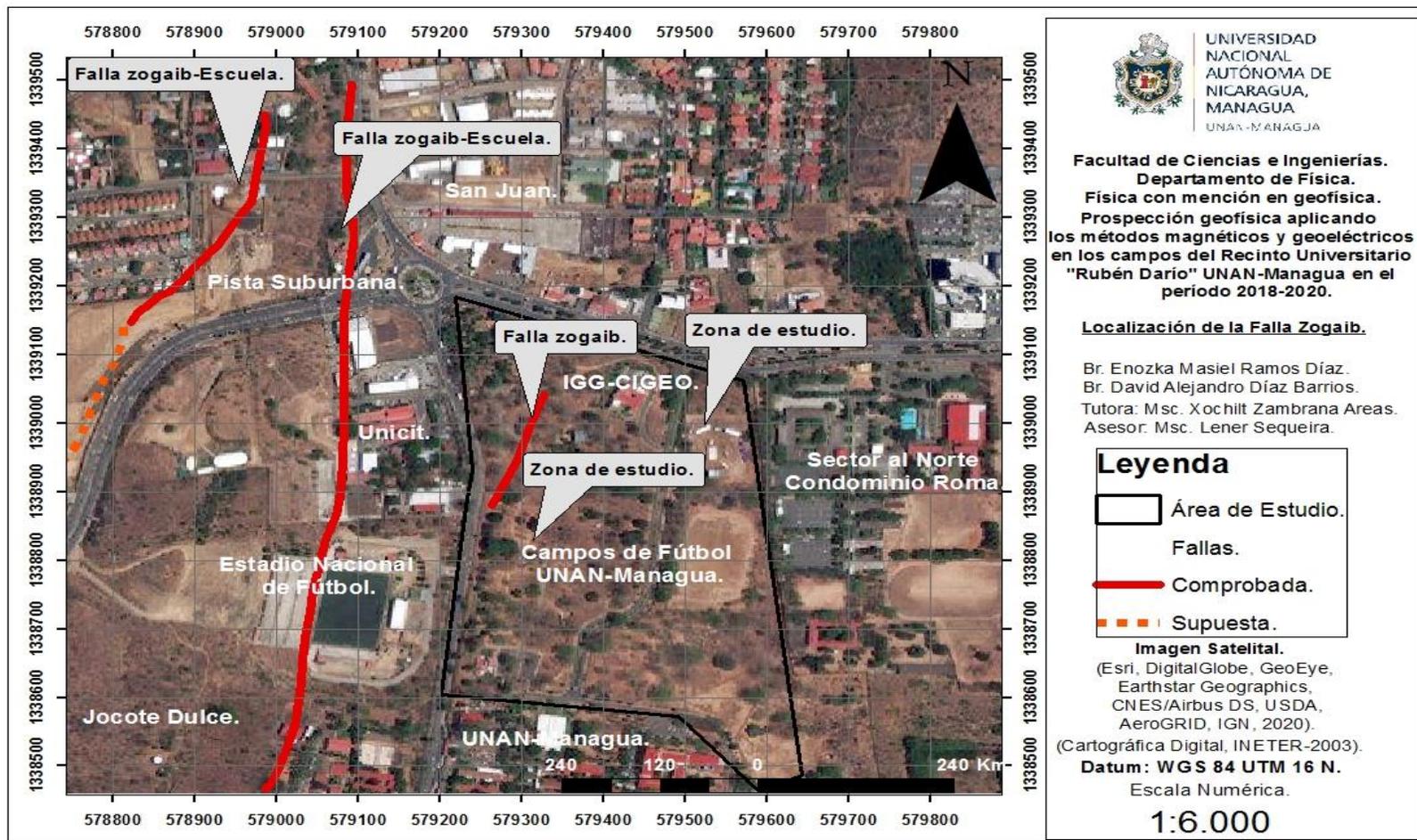


Figura 8. Mapa de localización del sistema de falla zogaib, Recinto Universitario “Rubén Darío” (Base Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

2.6. Método Magnético.

El método magnético, así como todos los métodos de prospección geofísicos, es un método indirecto en el cual mide las variaciones del campo magnético terrestre. La adquisición de datos magnéticos se realiza midiendo la superficie del campo magnético terrestre sobre un punto o perfil equidistantes con instrumentos llamados magnetómetros (España, 2017).

El método magnético es útil para definir rasgos estructurales en la superficie del basamento, es uno de los métodos de prospección geofísica más antiguos y es el más utilizado para la exploración y caracterización de la dinámica terrestre y su interior, por lo tanto, varía con el tiempo lo cual su grado de complejidad radica en que el campo magnético es dipolar, si su dirección es variable.

El campo magnética terrestre da su origen dese hace muchos tiempo atrás, sin embargo utilizado para navegación por medio de la brújula que en el siglo XII fue estimada su aparición en el occidente pero se da la posibilidad de que el país de china su utilidad se halla dado tiempo antes, por lo tanto el año 1600 que la comunidad científica empieza a considerar al magnetismo como una propiedad fundamental de la tierra cuando el señor Sir William Gilbert se destacó en la primera investigación acerca del magnetismo terrestre atraves de su obra "MAGNETE" el cual propone a la tierra como un gran magneto, dando a entender por qué la brújula apunta en dirección norte. Partiremos de la Ley de Coulomb para la expresión correspondiente a la fuerza magnética que es: (Hernandez, 2014).

$$\text{Ecuación 1. } f = \frac{m_1 m_2}{\mu_r r^2}$$

Donde:

- f = Es la fuerza del polo magnético m_1 sobre el polo m_2 .
- r = Es la distancia que los separa.
- r_1 = Es el vector unitario de m_1 y m_2 .
- μ = Es la permeabilidad magnética.

Esta fuerza se mide en Newton en el SI o en Dinias para una distancia r medida en centímetros en el sistema (cgs). También recordemos que la permeabilidad magnética es la capacidad de un material o medio de atraer y hacer pasar a través de si líneas de campo magnético.

La fuerza magnetostática es de atracción para polos de signo opuesto y repulsiva para signos iguales. La convención de signos indica que un polo positivo es atraído hacia el polo sur magnético de la Tierra o el norte geográfico.

La fuerza de campo magnético h se define como la fuerza sobre un polo unitario (Hernández, 2014)

$$\text{Ecuación 2. } h = \frac{f}{m_1} = \frac{m}{\mu r^2} r$$

2.6.1. Campo Magnético Terrestre.

La tierra desde un punto del geomagnetismo, se considera constituida por tres partes fundamentales las cuales son: núcleo, manto y corteza, en la parte líquida del núcleo de hierro dan lugar a un gran campo geomagnético dipolar que se asemeja a un gran imán a lo largo del eje de rotación de la tierra.

El manto se basa en el desempeño de una parte en magnetismo terrestre, mientras que la interacción del campo geomagnético con la corteza de las rocas produce las anomalías magnéticas.

La fuerza magnética terrestre es un campo potencial el cual alimenta de información de la naturales de los materiales que están compuestos por la tierra a través de sus propiedades físicas en el campo magnético de la tierra numerosos estudios han llegado a la conclusión de que existe a raíz de corrientes de convección un núcleo externo de la tierra, el campo se comporta como una esfera magnetizada cuyo polo norte magnético ubicado al sur del hemisferio de la tierra y el polo sur magnético al

norte del hemisferio, la atracción de ambos hace que se produzcan líneas de fuerza magnéticas imaginarias denominadas como flujos desde el polo sur al norte del mismo, sin embargo las líneas de campo magnético son representadas con un pequeño imán como se aprecia en la Figura 9.

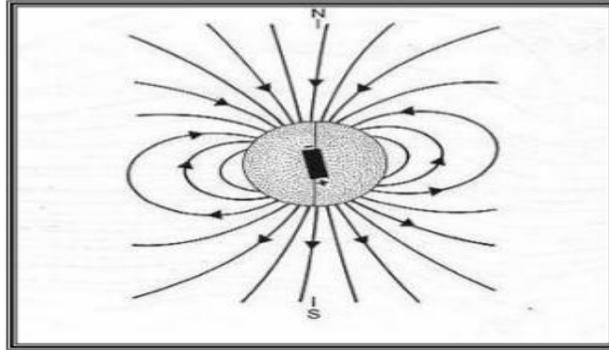


Figura 9. Líneas del campo magnético, tomada de (Burger, 1992).

2.6.2. Propiedades Petrofísicas del Método Magnético.

2.6.2.1. Susceptibilidad Magnética.

Siendo la magnetización una magnitud vectorial que por lo tanto viene dada por el momento magnético por unidad de volumen de materia, entonces, en el caso de las rocas la capacidad de magnetizarse o la intensidad de magnetización (**J**) básicamente dependerá del campo magnético (**H**) así como el contenido de los minerales susceptibles a ser magnetizados es decir la susceptibilidad magnética al someter un cuerpo o sustancia aun campo magnético (**H**), este se magnetiza con una adquisición de intensidad magnética (**J**) el cual es proporcional al campo exterior aplicado (Telford, et al., 1990).

$$\text{Ecuación 3. } J = KH$$

En donde la constante de proporcionalidad de K, se le da el nombre de susceptibilidad magnética, las rocas con alto contenido en minerales ferromagnéticos tienen altos valores de (k) La susceptibilidad magnética en el (SI) tiene una relación adimensional que tiene una magnitud mucho menor que 1 para la mayoría de las rocas, sin embargo las rocas básicas y ultra básicas tienden a

tener altos valores de susceptibilidades magnéticas mientras que las metamórficas presentan valores intermedios a bajos y las rocas sedimentarias tienen un valor muy bajo de susceptibilidad magnética.

2.6.3. Fundamento Físico del Método Magnético.

La fuerza F entre dos polos magnéticos de carga magnética m_1 y m_2 separados por una distancia r viene dada por la ley de Coulomb:

$$\text{Ecuación 4. } F = \frac{\mu_0 m_1 m_2}{4\pi\mu_R r^2}$$

Donde μ_0 y μ_R son la permeabilidad magnética del vacío y la permeabilidad relativa respectivamente. La fuerza es atractiva en polos de signo opuesto y repulsivo entre polos del mismo signo.

La componente del campo magnético en cada punto viene dada por la derivada parcial del potencial en esa dirección. En el Sistema Internacional (S.I.), las unidades de los parámetros magnéticos se definen en función del flujo de la corriente eléctrica que genera el campo magnético. Cuando una corriente pasa por una bobina, hay un flujo magnético (Φ) a través de ella, que proviene de una fuerza magnética H . H es la intensidad del campo magnético, que es proporcional a la corriente y al número de vueltas de la bobina e inversamente proporcional a la longitud del hilo ($H=A/m$). H es flujo/volumen = $\Phi/m^3 = A/m$, se expresa pues $A.m^{-1}$ (S.I.).

La densidad del flujo magnético, medido en un área perpendicular a la dirección del flujo es la inducción magnética o campo magnético \mathbf{B} , que es proporcional a \mathbf{H} y a la constante μ_0 (permeabilidad magnética).

El campo magnético \mathbf{B} es la fuerza por unidad positiva de polo en un punto:

$$\text{Ecuación 5. } \mathbf{B} = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r^2}$$

El potencial magnético V viene dado por:

$$\text{Ecuación 6. } V = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r^2}$$

Como la ley de Lenz permite relacionar el cambio en el flujo magnético de un circuito con el voltaje existente en sí mismo, B puede expresarse en voltios. s. m⁻² (Weber (Wb) m⁻²). Donde la unidad Wb m⁻² es denominada Tesla (T). El Tesla es muy grande para expresar anomalías causadas por las rocas, normalmente se emplea el nano tesla nT = 10⁻⁹T.

La permeabilidad magnética (μ), es el producto de μ_0 (en el vacío) y μ_R , la permeabilidad magnética relativa ($\mu = \mu_0 \mu_R$). Se expresa en:

$$\text{Ecuación 7. } \text{Wb} = \text{A}^{-1} \text{m}^1 = \text{Henry} \cdot \text{m}^1$$

En el sistema (cgs) la unidad de fuerza de campo es el Gauss (G)=10⁻⁴ Tesla. El sistema (cgs) también se emplea el gamma (γ) =10⁻⁵ Gauss=n. El momento de un dipolo magnético M viene dado por $M=ml$, donde m es la masa magnética de los polos y l su distancia. En el caso de bobinas es proporcional al número de vueltas, su superficie en corte y la magnitud de la corriente, se expresa en Am₂ Al colocar un cuerpo en un campo magnético este adquiere una magnetización inducida o polarización, ver, Figura. 10.

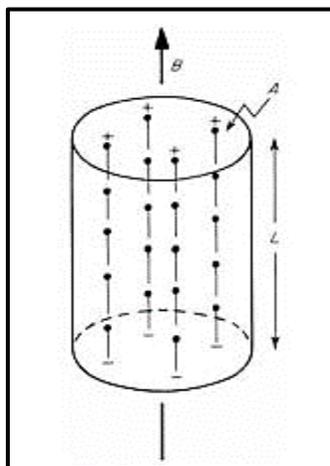


Figura 10. Línea de los dipolos de un material en la dirección del campo externo B , cuyo resultado es una magnetización inducida (Kearey y Brooks, 1984).

Que resulta del alineamiento de dipolos elementales en la dirección del campo y se pierde una vez que el cuerpo es alejado de dicho campo. La intensidad de la magnetización inducida J_i del material se define como el momento dipolar M , por unidad de volumen.

$j_i = M/LA$ (L longitud y A área en corte), j_i Se expresa en A/M . en el sistema cgs la intensidad de la magnetización se expresa en $\text{emu}\cdot\text{cm}^{-3}$ (emu =unidad electromagnética), donde $1 \text{ emu}\cdot\text{cm}^{-3} = 1000 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.6.3.1. Variaciones del Campo Magnético.

Las variaciones del campo magnético están sometido a variaciones tanto periódicas como no periódicas que tienen diferentes escalas de tiempo. Las fuentes de estas variaciones pueden ser tanto internas como externas (Castaño, 2017).

2.6.3.1.1. Variaciones de Origen Externo.

Los cambios con periodos desde los segundos hasta las decenas de año, en el campo magnético terrestre se deben en mayor medida a factores externos a la Tierra, principalmente vinculados con la actividad solar. Este tipo de variaciones son registradas en los observatorios geomagnéticos y se caracterizan por depender de la ubicación, principalmente la latitud y del nivel de actividad solar.

Las variaciones de este tipo de origen pueden clasificarse en regulares e irregulares:

2.6.3.1.2 Variaciones Regulares.

Las variaciones regulares están asociadas con el ciclo diurno, el lunar y las de período largo con el ciclo solar (cada 11 años).

2.6.3.1.3. Variación Diurna (S_q).

Está directamente relacionada con la incidencia de la radiación solar en la ionósfera (capa atmosférica que se encuentra entre 90 y 200 o 300 km de altitud), donde el gas atmosférico que lo constituye se encuentra parcialmente ionizado. El

movimiento y la interacción de este flujo de iones crean un sistema de corrientes eléctricas, el cual se detecta en la superficie de la Tierra como una variación suave en las componentes del campo magnético. La amplitud de este fenómeno es del orden de decenas de nT y en latitudes medias puede ser mayor a 80 nT sobre superficie (Campbell, 1997).

2.6.3.1.4. Variaciones Irregulares.

Además de las tendencias temporales regulares, en un magnetograma se pueden observar las tendencias irregulares. Estas perturbaciones magnéticas son consecuencia de un proceso dinámico de interacción entre plasma (viento solar), compuesto de partículas cargadas (protones y electrones) con el campo magnético de la Tierra. (Castaño, 2017).

2.6.3.1.5. Variaciones de Origen Interno.

El campo de origen interno experimenta variaciones que pueden ser clasificadas en función de la fuente que las originan: la dipolar y la no dipolar. La parte dipolar tiene su origen en el núcleo externo y la no dipolar se origina en el límite manto-núcleo externo. Las variaciones del campo dipolar se vinculan con los cambios en el momento magnético, en la velocidad de precesión de éste, en el desplazamiento del norte magnético respecto al norte geográfico.

2.6.3.1.6. Variación Secular (VS).

Se define como un cambio en el tiempo en al menos una componente del campo geomagnético para un lugar determinado y cuya escala de tiempo característico sea comprendido entre unos pocos años y algunas decenas de miles de años. Las amplitudes de esta variación son de aproximadamente algunas decenas de nT/año para las componentes modulares (X, Y, Z, H, F), y de unas pocas decenas de minutos por año para la inclinación (I) y la declinación (D). Dichas componentes presentan tendencias diferentes para cada uno de los observatorios distribuidos a lo largo del planeta, característica que comparte con el campo principal.

2.7. Correcciones.

En un levantamiento magnético las mediciones del campo total involucran una suma de contribuciones internas y externas a la Tierra. (Méndez, 2010).

Para obtener una anomalía magnetométrica que nos proporcione únicamente información de la contribución de la corteza, y más específicamente de la distribución de los minerales magnéticos en ella, es necesario eliminar la aportación del campo magnético del núcleo, así como las fuentes de campo magnético externas.

Existen distintas correcciones que es necesario aplicar a los datos de campo magnético medidos, pero a continuación sólo se mencionan las más significativas para el presente estudio.

2.7.1. Corrección por Variación Diurna.

El campo geomagnético tiene variaciones de intensidad en el transcurso del día, las cuales deben ser eliminadas. El método más sencillo para eliminar estas variaciones, consiste en registrar el campo geomagnético en la misma dirección y en un mismo punto (base) cercano al lugar de estudio (no mayor a 100 km de distancia), durante un periodo mayor o igual a 24 horas en intervalos iguales tiempo (Escorza, 2010).

Si una curva suave en función del tiempo puede ser ajustada a las lecturas de la base, entonces estos valores pueden ser restados o eliminados de otras lecturas si se tiene la hora en la que se realizaron estas últimas mediciones.

Así entonces, se examinan los valores del campo en la base geomagnética y se elige a uno de ellos como referencia ($V_{\text{referencias}}$). Después, teniendo la hora en la que se realizaron las mediciones de las estaciones de cada perfil, se busca el valor que corresponda en la base a dicha hora (v_{base}) se realiza la siguiente diferencia:

$$\text{Ecuación 8. } d.v. = |v_{\text{referencias}} - v_{\text{base}}|$$

Seguidamente se describe la corrección por variación diurna, la cual se suprime al valor medido en el campo.

2.7.1.1. Corrección (IGRF).

El campo Geomagnético Internacional de Referencia, referido como IGRF. (<http://www.ngdc.noaa.gov/AGA/vmod/igrf.html>, 2019) es la representación matemática del campo magnético terrestre, basada en una serie de armónicos esféricos con coeficientes de Gauss, cuya propiedad más importante es tener en cuenta la simetría esférica y la posición de un punto P, en cualquier parte de la superficie terrestre (valle, sf).

El campo magnético principal se puede obtener teóricamente mediante un potencial geomagnético (V_m), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 9. } V_m - a \sum_m^n \sum_n^n = 0 \left\{ \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \right\} (g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda) p_n^m \cos \theta.$$

Donde:

- a = radio de la tierra= 6371,2 km.
- $g_n^m(t)$ y $h_n^m(t)$ = coeficientes en tiempos o coeficientes en gauss en nT.
- λ = longitud geocéntrica (medidas del este de Greenwich).
- θ = colatitud geocéntrica (latitud de 90° hacia el norte).
- r = distancia radial del centro de la tierra.
- $p_n^m \cos \theta$ = poltnamlo de legendre asociadas de gradon n y orden m.

2.7.1.2. Anomalías Magnéticas.

Las anomalías magnéticas siempre tienen parte positiva y parte negativa, debido a la naturaleza dipolar del magnetismo, ya que la magnetización es un vector. Por tanto, cuerpos iguales con distinta orientación pueden dar lugar a anomalías muy diferentes. Estas anomalías no están tan ligadas a la forma del cuerpo, sino más bien a los materiales que lo constituyen (Machales, 2006).

Función de la latitud. En cada zona esta corrección se puede aproximar mediante los gradientes latitudinal y longitudinal, que también varían con el tiempo. Estos gradientes se pueden obtener aplicando el dipolo simple de la tierra, y el gradiente del dipolo para sacar los gradientes locales:

$$\text{Ecuación 10. } z = \frac{\mu_0 2m}{4\pi r^3} \cos\theta, h = \frac{\mu_0 2m}{4\pi r^3} \sin\theta$$

$$\frac{\partial z}{\partial \theta} = -2h, \frac{\partial h}{\partial \theta} = \frac{z}{\theta}$$

Donde:

- **H y Z:** son las componentes horizontal y vertical del campo.
- **θ :** la colatitud en radianes.
- **R:** el radio de la tierra.
- **M:** el momento magnético de la tierra.
- **$\partial Z/\partial \theta$ y $\partial H/\partial \theta$:** la variación de Z y H con la colatitud.

2.8. Método Eléctrico.

El método eléctrico es uno de los métodos utilizados en la geofísica para el estudio de la respuesta del suelo ante la presencia de cargas eléctricas inyectadas en el mismo.

Los métodos Geoelectrónico se basan en el estudio de la resistividad eléctrica, la cual revela el grado de oposición que determinado volumen de terreno ofrece al paso de las cargas eléctricas. Se emplean mecanismos basados en la inyección de corriente continua, utilizando un dispositivo de al menos cuatro electrodos que se sitúan sobre el terreno en contacto eléctrico con el medio rocoso a estudiar.

La medición de la resistividad eléctrica del subsuelo, corresponde con una técnica geo-física de tipo activa; que se basa en el análisis del contraste de las propiedades eléctricas del suelo. En este caso, el contraste de propiedades entre los restos arqueológicos y su contexto depende de la naturaleza de los materiales, la profundidad y forma de los restos, la proximidad entre ellos, grado de salinidad y la

humedad del suelo. Si este contraste es suficientemente grande las características arqueológicas podrán ser detectadas. (Mojica, 2011).

2.8.1. Método de Tomografía Eléctrica.

El estudio de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography o “Electrical Imaging” (Dahlin, 2001), es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente.

Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo. Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo.

Este método geofísico fue desarrollado para la investigación de áreas de geología compleja (Griffiths, 1993). Su aplicación es diversa, como en la exploración de recursos naturales y actualmente en numerosas aplicaciones ambientales, hidrogeológicas, arqueológicas y geotécnicas.

La Tomografía Eléctrica se destaca con respecto a los métodos de resistividad convencionales, por tener un proceso de adquisición de datos totalmente automatizado ya que se cuenta con software capaz de procesar eficazmente un gran volumen de información.

Además del uso de la TRE en 2D la aplicación en 3D con una configuración tipo “L” ha tenido gran éxito (Chávez, 2011) con el que se puede “iluminar” por debajo de construcciones.

2.9. Fundamentos Teóricos del Método Geoeléctrico.

2.9.1. Método de Resistividad Eléctrica.

El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electródico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [P1 y P2]. La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo ver Figura 11.

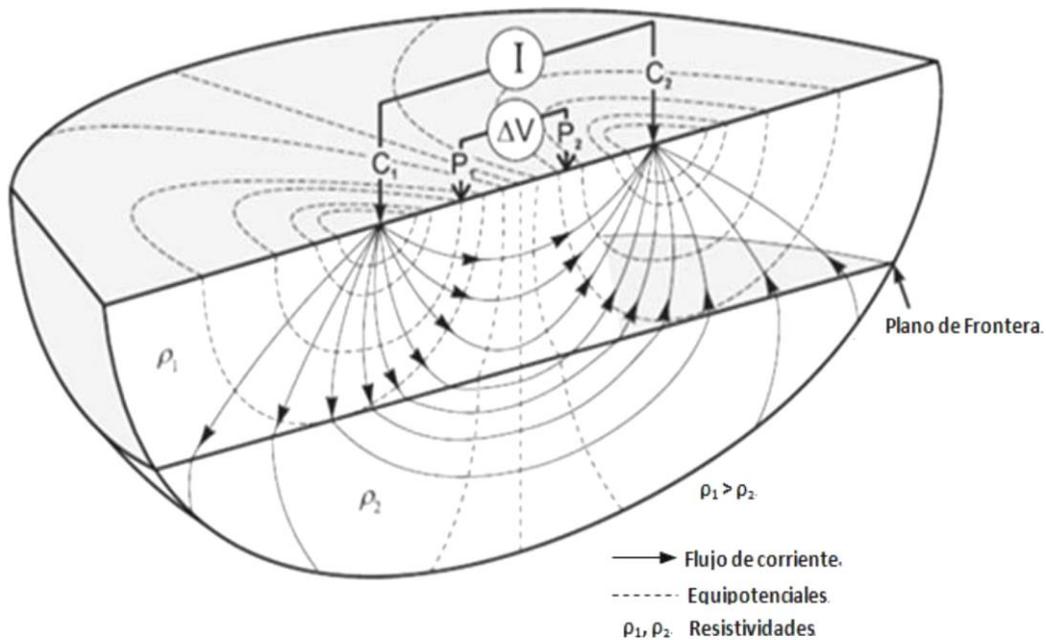


Figura 11. Principio del método resistivo, disposición electrodo lineal cuadripolo (Knodel, 2007).

2.9.1.1. Factor Geométrico y Resistividad Aparente.

En la práctica se utilizan al menos dos electrodos en la superficie, uno positivo que inyecta corriente al subsuelo y a su vez uno negativo que colecta la corriente de regreso. Además, los valores de potencial tienen un patrón simétrico con respecto al punto medio entre los electrodos.

Sin embargo, prácticamente todos los estudios se realizan con un arreglo geométrico de cuatro o más electrodos, como la tomografía eléctrica que se caracteriza por ser Multielectrónica, que finalmente están basados en el mismo principio.

El arreglo geométrico consta de dos electrodos por donde se inyecta la corriente llamados C1, C2 y dos electrodos P1, P2 que miden el potencial. La configuración geométrica puede variar dependiendo del objetivo, lo cual se explicará más adelante. Al tener dos electrodos de potencial P1 y P2, la diferencia de potencial se expresa en función del arreglo geométrico ver Figura 12.

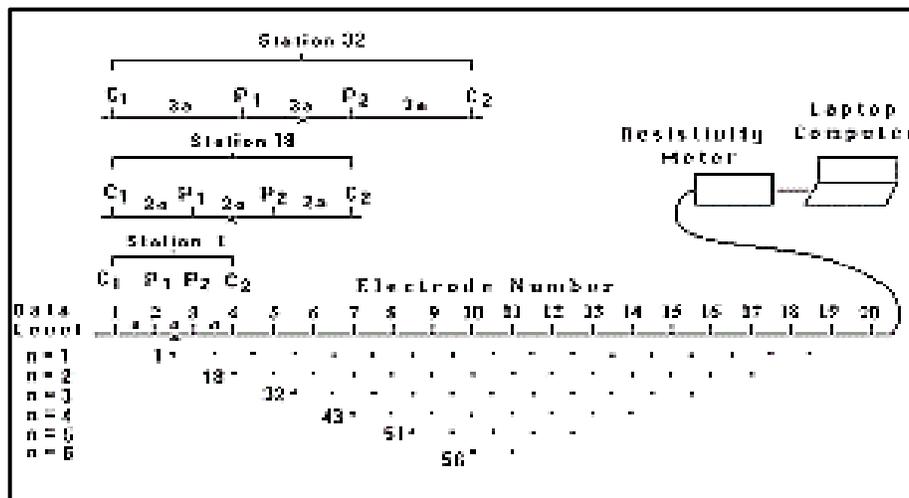


Figura 12. Se aprecia la disposición de los electrodos para un estudio eléctrico en 2-D y secuencia de medidas utilizadas y posiciones de los puntos de asignación de la resistividad aparente. (Loke, 2011).

De acuerdo a la Ley de Ohm se resuelve para la resistividad:

$$\text{Ecuación 11. } \rho = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right) (\Omega \cdot m) \quad K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{rc1p1} + \frac{1}{rc2p1} + \frac{1}{rc1p2} + \frac{1}{rc2p2} \right)}$$

Dónde:

ρ: Representa la resistividad aparente y *k* el factor geométrico.

K: determina el comportamiento del dispositivo, que representa el “alejamiento” del campo eléctrico respecto a la fuente que lo genera.

$$\text{Ecuación 12. } \Delta V = \frac{\rho l}{2\pi} \left(\frac{1}{rc_{1p1}} - \frac{1}{rc_{2p1}} - \frac{1}{rc_{1p2}} + \frac{1}{rc_{2p2}} \right)$$

La resistividad eléctrica de las rocas puede variar en un margen muy amplio, está en función de diversos factores como la porosidad, la permeabilidad, temperatura, saturación de fluidos, la química de los fluidos, además del grado de fracturamiento y los minerales que componen estas rocas. Ver algunos ejemplos en la Tabla 2.

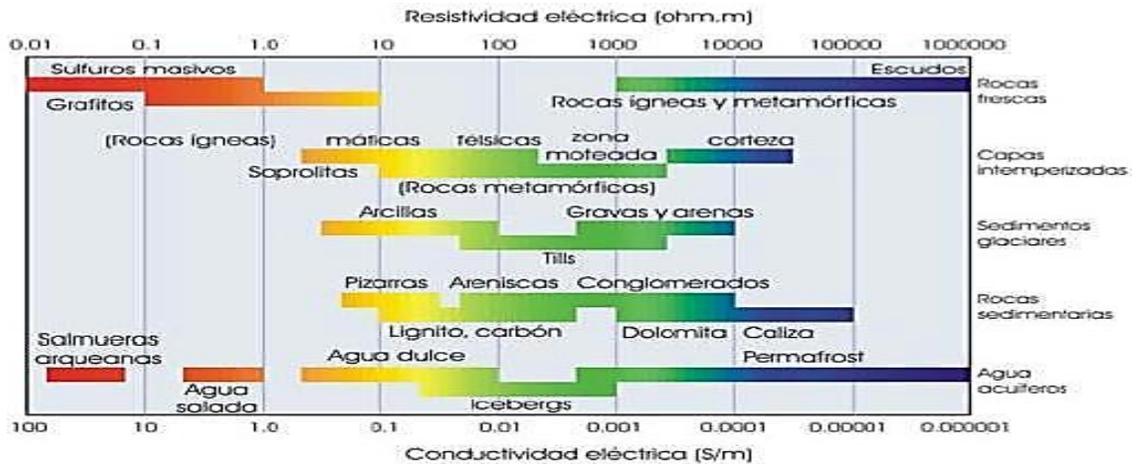


Tabla 2. Resistividades de los materiales (Mendoza. M (2017)).

2.9.1.2. Inversión de los Datos de Resistividades Eléctricas Aparentes.

El proceso de inversión puede hacerse mediante dos métodos para el cálculo de las resistividades aparentes. Uno utilizando elementos finitos, el cual es recomendado en el caso de tener variaciones topográficas, y otro mediante diferencias finitas. Este segundo además de ser más rápido mostró menor error medio cuadrático en las iteraciones. Por las características planas del terreno no fue necesario ingresar desniveles topográficos. Las pseudosecciones de resistividad aparente (figura 6) se han interpretado mediante un proceso de inversión numérica para obtener el modelo Geoelectrico.

El programa determina de forma automática un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo a partir de un conjunto de datos que constituyen una pseudosección de resistividades aparentes.

El modelo bidimensional utilizado por el programa consiste en un conjunto de bloques rectangulares, la situación de los cuales se corresponde con la distribución de los puntos de medida en la pseudosección. Ver Figura 13.

Para realizar el cálculo de los valores de resistividad se utiliza una subrutina de modelización directa, así como una técnica de optimización no lineal de mínimos cuadrados para la rutina de inversión.

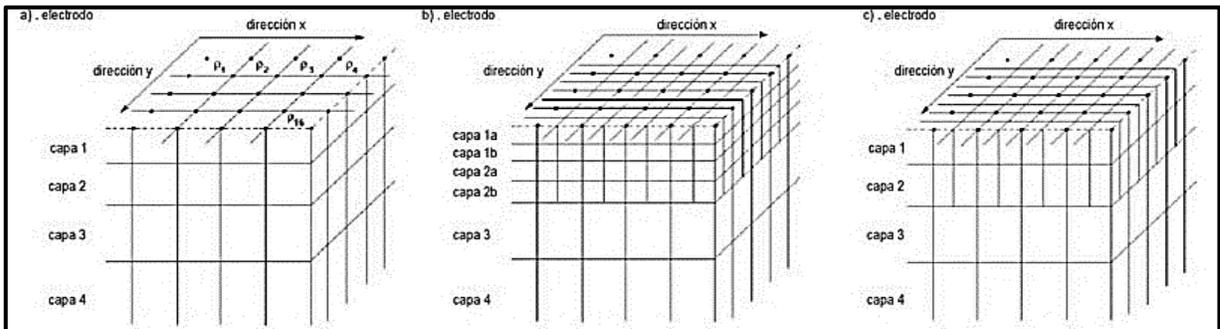


Figura 13. Modelo bidimensional, conjunto de bloques rectangulares. (Fantón.G, s.f).

Los modelos usados en la inversión. (a) Modelo convencional donde los anchos de los bloques rectangulares son iguales a los espaciamientos de electrodo unitario en las direcciones x e y. (b) Un modelo donde el techo de pocas capas se divide por la mitad, ambos verticalmente y horizontalmente, para proporcionar la mejor resolución. (c) Un modelo donde los bloques se dividen en direcciones de la horizontal pero no en la dirección vertical. (Fantón.G, s.f).

A continuación se representa un ejemplo de resultado del modelo de inversión utilizando ZONDRES2D, por consiguiente se muestra la primera pseudo sección con los datos aparentes, la segunda es una pseudo sección muestra sólo la distribución de resistividad calculados de manera arbitraria debido a la heterogeneidad y la tercera como el modelo final de inversión que consta de una sección de bloques a los que se le asigna un valor de resistividad, sus posiciones y tamaños no van cambiando conforme avanzan las iteraciones Ver Figura 14.

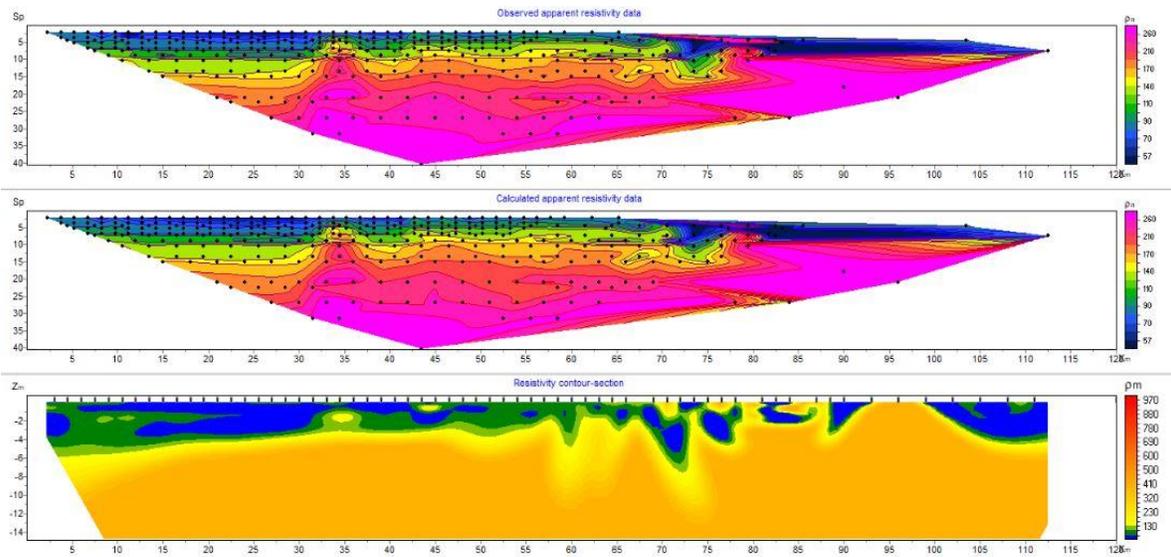


Figura 14. Modelo de Inversión de tomografía eléctrica realizado con el programa ZONDRES2D.

2.9.1.3. Conductividad de Materiales.

La conductividad electrolítica es la medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y es a veces denominado "conductancia específica". Resistividad es inversa a la conductividad se define como la medida de la capacidad de una solución para resistir el flujo de una corriente eléctrica.

La medición de la conductividad se ve directamente afectada por el número de iones disueltos en la solución y se incrementará conforme la cantidad y movilidad de los iones aumenta. Cuanto mayor sea la lectura de conductividad, mejor será la capacidad de la solución para conducir la electricidad. A la inversa, cuanto menor sea la lectura de conductividad, peor será la capacidad de la solución para conducir electricidad.

$$\text{Ecuación 13. } \rho = \frac{1}{\sigma}$$

- ρ = La resistividad en Ωcm .
- σ = La conductividad en $(\Omega\text{cm})^{-1}$

2.10. Hipótesis de Investigación.

Geológicamente, en los campos del Recinto Universitario Rubén Darío, el cual teniendo una relación cercana a la falla zogaib, ubicada al oeste del sitio de investigación se puede realizar estudios empleando los métodos de prospección magnética y Geoeléctrico, logrando llegar a encontrar fenómenos anómalos relacionados a capas geológicas, fallas o fracturamientos que lleguen a ser generadoras de cualquier eventualidad telúrica, y llegar a la posibilidad de dar una respuesta concreta acerca de los posibles daños que se den en las infraestructuras de la zona de investigación.

Capítulo III

3.1. Diseño Metodológico.

3.1.1. Tipo de Estudio.

El presente estudio es de tipo descriptivo ya que busca especificar las propiedades importantes del fenómeno que sea sometido a análisis. (Danhke, 1986). Debido a que se caracteriza desde el enfoque de nuestra investigación estimar zonas de anomalías magnéticas, consistió en determinar características estructurales de las fallas, capas geológicas o fracturamiento, y se obtuvieron modelos de resistividad del subsuelo.

La investigación es de enfoque experimental, el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. (Ballester, 2001). En este estudio se realizó un levantamiento de campo, utilizando equipos especializados en mediciones de métodos magnéticos y eléctricos, tomando una serie de bases de datos para así mismo ser procesados para examinar las condiciones geológicas del subsuelo sobre la base de los fenómenos anómalos que se encuentran en el campo.

Según el análisis y alcance de los resultados el estudio es analítico (Canales, Alvarado y Pineda, 1996). Ya que obteniendo las mediciones se realizó un análisis y por medio de software se hacen interpretaciones para llegar a la conclusión de dicha investigación.

Por su naturaleza la investigación es de variable cuantitativa, ya que tomaremos valores de resistividades espesores de capa, profundidad, intensidad magnética.

3.1.1.2. Área de Estudio.

El área de estudio se localiza en la parte SW del casco urbano de Managua. El sitio de investigación será realizado en la zona de los campos de futbol del Recinto Universitario Rubén Darío que se localiza en las coordenadas de referencia N: 1338-1339, E: 5792-5796 según el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 16N. El cual estará centrado en realizar un estudio de prospección geofísica con el propósito de estudiar las condiciones geológicas del subsuelo.

3.1.1.3. Universo.

El universo del presente trabajo se estableció en las áreas verdes de los campos de futbol del Recinto Universitario ``Rubén Darío`` UNAN-Managua.

3.1.1.4. Muestra.

La muestra son datos recolectados a partir de estudio geofísico magnético que consiste en apreciar anomalías magnéticas ya que están relacionadas a estructuras geológicas basada en los posibles puntos concurrentes a un alto peligro sísmico como anomalías relacionadas a fallas, fracturas y capas geológicas en el área de estudio ya antes mencionada.

Muestra del estudio geofísico eléctrico se basa en la obtención de un modelo de resistividad del subsuelo en 2D para reconocer anomalías relacionadas a fallamiento superficial.

Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables (MOVI): Realizar un estudio de Prospección Geofísica aplicando los Métodos Magnético y Geoeléctrico en los Campos del Recinto Universitario ‘‘Rubén Darío’’, UNAN-Managua.

Objetivos Específicos.	Variable conceptual.	Subvariables o Dimensiones.	Variable Operativa o Indicador.	Técnicas de Recolección de datos e Información.
Procesar datos magnéticos y eléctricos, tomados en el área de los campos de fútbol de la UNAN-Managua.	Procesamiento de datos magnéticos. Modelación 2D mediante tomografía eléctrica.	Arcgis. ZondRes2D.	Permite el uso de herramientas para la realización de los mapas de contornos magnéticos. Emplea la interpretación bidimensional de los datos de tomografía eléctrica para una mejor visualización grafica de las imágenes de resistividad en 2D de los modelos invertidos.	Fichas de Datos. Uso del software (Word, Excel, Arcgis y ZondRes2D).
Analizar mapas de anomalías magnéticas total y residual del área de estudio.	Mapas de anomalías total y residual.	Estructuras geológicas, lineamientos y fallamiento superficial.	Identificación de fallas asociadas a las Falla Zogaib.	Fichas de Datos. Uso del software (Word, Excel, Arcgis y ZondRes2D).

Objetivos Específicos.	Variable conceptual.	Subvariables o Dimensiones.	Variable Operativa o Indicador.	Técnicas de Recolección de datos e Información.
<p>Caracterizar zonas de anomalías magnéticas relacionadas con estructuras geológicas en el área de estudio.</p>	<p>Anomalías magnéticas.</p>	<p>Intensidad del campo magnético.</p> <p>Variación Diurna.</p> <p>IGRF.</p>	<p>Es la fuerza que el campo ejerce sobre la unidad de polo magnético N colocado en dicho punto.</p> <p>Modelo que se utiliza como referencia para la reducción de las observaciones magnéticas.</p> <p>Es el campo de referencia el cual se resta el IGRF al campo medido en dicha zona, para remover el campo regional.</p>	<p>Fichas de Datos.</p> <p>Gráficas de Excel de anomalías.</p> <p>Uso de software (zondreRes2D)</p> <p>Uso de software (ARCGIS).</p>
<p>Obtener un modelo de resistividad del subsuelo en dos dimensiones mediante el método de tomografía eléctrica para identificar anomalías relacionadas a fallamiento superficial en los campos del Recinto Universitario ``Rubén Darío``</p>	<p>Modelo de resistividad del subsuelo.</p>	<p>Conductividad</p> <p>Resistividad</p> <p>Espesor de capa</p>	<p>La conductividad permite el flujo de corriente eléctrica a través de sus partículas.</p> <p>Está relacionada a parámetros como minerales, contenido de fluidos, porosidad y grado de saturación de las rocas.</p> <p>Distancia medida perpendicular entre el techo y la base.</p>	<p>Fichas de Datos.</p> <p>Uso de software (ZondRes2D).</p>

3.2. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.2.1. Método Magnético.

El método magnético es la técnica geofísica usada en la exploración del subsuelo, este método mide las variaciones del campo magnético terrestre y en base a ellas establece la geología del subsuelo. Los levantamientos magnéticos consisten en realizar mediciones del campo magnético sobre la superficie terrestre, con instrumentos denominados magnetómetros en intervalos de distancias aproximadamente constantes a lo largo de una línea denominada perfil.

Este método estudia anomalías originadas por cambios de las propiedades petrofísicas de las rocas, en el cual la propiedad petrofísica que se estudia en dicho método es la susceptibilidad magnética. La aplicación de este método es amplia, se puede utilizar para el mapeo estructural de zonas de debilidad (fallas, fracturas).

En esta investigación se realizó el análisis de mediciones de zonas de anomalías magnéticas relacionadas a estructuras de fallas geológicas.

Los datos magnéticos fueron obtenidos como parte de las Prácticas de Especialización II en el año 2019 de nuestra carrera, este levantamiento de campo fue dirigido por nuestra tutora Msc. Xochilt Zambrana. Para la realización de este trabajo de seminario de graduación se nos han proporcionado datos magnéticos.

3.2.1.1. Equipo Utilizado.

Se utilizó para la adquisición de datos magnéticos fue con un magnetómetro protónico Gsm-19t el cual mide el campo magnético de la Tierra con una resolución de 0.01 nT y una precisión absoluta de 0.2 nT sobre su rango de temperatura. Es uno de los principales instrumentos para la investigación y la exploración del

subsuelo. El sistema de protones es un magnetómetro versátil diseñado para estudios geofísicos avanzados del suelo, por un bajo costo.

El objetivo fundamental de este método geofísico es detectar y ubicar estructuras geológicas ligadas a fallas, contactos o paleocauces, con base en anomalías del campo magnético que resultan de las propiedades magnéticas características de los diferentes tipos de materiales que constituyen el subsuelo. Se trata de detectar las variaciones de los valores del campo magnético en el subsuelo.



Figura 15. Magnetómetro protónico (GSM-19T).

EL GSM-19 es un instrumento portable de alta sensibilidad, de tipo Overhauser, el cual constituye en la actualidad, uno de los instrumentos más precisos para determinar la intensidad total del campo geomagnético.

Tabla 4. Características técnicas del magnetómetro protónico (GSM-19t).

Propiedades del Magnetómetro Protónico (GSM-19t).	
Sensibilidad (nT @ 1 Hz).	-0.15
Resolución (nT).	- 0,01
Precisión absoluta (nT).	- + / - 0,2
Rango dinámico o (nT).	-20.000 a 120.000
Gradiente de tolerancia (nT/m).	-Más de 7.000
Frecuencia de muestre o (S).	-60+, 5,4,3,2,1,0,5
Temperatura de funcionamiento o (° C).	-40 a + 50

El magnetómetro GSM-19, posee una consola con botones de operación, una memoria digital con gran capacidad y una cabeza detectora, que comprende la bobina y el líquido en solución especial (Figura 15). Es de fácil manejo puede operar de modo móvil, o también puede ser utilizado como estación base. Este instrumento también es resistente al agua y es capaz de operar en un amplio rango de temperaturas, todas las operaciones se controlan desde el panel frontal. Las especificaciones técnicas se muestran en la siguiente Tabla 4.

3.2.1.2. Método Eléctrico.

El método eléctrico se basa aplicando una corriente eléctrica (Amp) continua (DC) al subsuelo por un par de electrodos y midiendo su diferencia de potencial (V) en otro par de electrodos. Relacionando estas dos magnitudes podemos determinar la distribución resistiva vertical y horizontal del subsuelo, tomando lectura desde la superficie de la misma. La resistividad del suelo se relaciona con varios parámetros geológicos como el mineral, contenido de fluidos, porosidad de la roca y saturación de agua.

Las propiedades del método eléctrico se definen por tres magnitudes físicas tales como:

- Resistividad eléctrica o inversa de la conductibilidad, que condiciona la cantidad de corriente que atraviesa una roca al serle aplicada una determinada diferencia de potencial.
- Constante dieléctrica, que informa la capacidad de un material para almacenar una carga eléctrica.
- Permeabilidad magnética, es una propiedad de las rocas relacionada a la inducción magnética y a la intensidad del campo magnético para atraer y hacer a través de ella campos magnéticos.

Las propiedades eléctricas aplican fundamentalmente en la base de Litologías y fallas, detección de cavidades, recursos minerales tales como, metales y no

metales, deslizamiento de laderas, detección de tuberías y en el medio ambiente (contaminación de los suelos y acuíferos, control de vertederos, detección de intrusión de aguas en acuíferos costeros).

3.2.1.3 Equipo Utilizado.

En esta experiencia se utilizó el Terrameter ABEM LS que es un avanzado sistema de adquisición de datos para mediciones de auto potencial (Self Potencial SP) resistividad y polarización inducida en el dominio del tiempo (IP). El instrumento es entregado con todo lo necesario para realizar levantamientos geoelectricos de imágenes Topográficas, excepto por los cables de electrodos y los electrodos.

El GPS integrado en el equipo automáticamente graba la posición del instrumento durante la adquisición de datos; con tal de que exista una recepción adecuada de la señal del GPS (LS).

El Terrameter LS es totalmente compatible con partes existentes de los sistemas de ABEM para la adquisición de Imágenes Topográficas tales como cables de electrodos, conectores puentes de cables, conectores de electrodos y unidades selectoras de electrodos para expansión. La figura muestra el equipo que se utilizó para la práctica.



Figura 16. Equipo Terrameter LS, utilizado para mediciones de resistividad eléctrica.

3.2.1.4. Otros Equipos.

Brújula: es un instrumento que nos sirvió para orientarnos y su fundamento está basado principalmente en las propiedades de las agujas magnetizadas. A través de una aguja imantada se señala el norte magnético, el cual es ligeramente diferente en cada zona del planeta.

GPS: este instrumento fue de gran importancia en nuestra práctica ya que este transmite la información de la señal a la tierra y se utilizó para calcular la ubicación (coordenadas).

Cinta Métrica: nos permitió realizar levantamientos topográficos del terreno.

Estacas: se clavan en el suelo, y esto nos sirvió como un demarcador de la sección del terreno.

Libreta de Campo: esta es de gran ayuda ya que en ella escribimos anotaciones de cada dato proporcionado de los equipos y cada descripción detallada del sitio.



Figura 17. Herramientas Básicas Utilizadas en Campo.

3.2.5 Procedimientos para la Recolección de Datos.

3.2.5.1. Método Magnético.

En el levantamiento de las mediciones magnéticas, la metodología empleada para obtener los datos de campo y el procesamiento de los mismos tuvo una implementación de corte mixto puesto que se estableció tanto trabajo de campo y de gabinete. Con base a los datos que se obtuvieron y los programas para el procesado magnético, se realizó una interpretación para observar aquellas anomalías presentes.

La metodología de recolección de datos se hizo mediante perfiles volviendo cada 20 minutos a la base magnética, en la cual se tomaron las coordenadas y el valor del campo magnético, estos valores fueron fundamentales para realizar las correcciones de variación diurna de los perfiles.



Figura 18. Mediciones con el método magnético, en el Recinto Universitario ``Rubén Darío.``

El trabajo investigativo consistió en el análisis de 18 perfiles magnéticos en total, los cuales fueron levantados en las prácticas de especialización con apoyo de instrumentación del IGG-UNAN-Managua, así mismo, los maestros Msc. Xochilt Zambrana Areas y el Msc. Lener Sequeira Gómez proporcionaron partes de los datos magnéticos para la elaboración de esta tesis. Los primeros 14 perfiles tienen longitudes de 95 a 335 metros con una distancia de medición cada 5 metros. Los perfiles 15, 16, 17 y 18 poseen longitudes de 78 a 100 metros, con un espaciamiento entre 2 a 5 metros, y separación de perfiles cada 20 metros. Para las mediciones magnéticas se colocó el sensor del magnetómetro de forma vertical en dirección hacia el norte magnético en donde se realizaron dos mediciones por estación para asegurarnos que el valor obtenido no presentara grandes variaciones en los datos, luego se determinó el promedio de las dos mediciones en cada punto.

3.2.5.1.1. Descripción de los Perfiles Magnéticos.

Se presenta descripciones de 14 perfiles magnéticos con dirección Este-Norte, para facilitar la interpretación de las anomalías magnéticas que están asociada a una discontinuidad o una estructura geológica. La longitud de los perfiles oscila entre los 95 y 335 metros.

El perfil 1, localizado en la parte Este-Norte, con longitud de 95 metros, la curva magnética presenta los valores de campo magnético total (nT) podemos observar que entre los -20 a 20 m tenemos un valor promedio de 35,147 a 35,265 (nT) a partir de los 5 a 20 m podemos observar un cambio muy pronunciado.

En el perfil 2, con longitud de 140 metros, se observa que de los -55 m a los -5 m hay un cambio descendente y luego ascendente con valores magnéticos promedio de 35,157 a 35,145 (nT). La intensidad de campo sigue un patrón con el mismo comportamiento del perfil 1 a una distancia de 5 a los 20 m, el cual describe una secuencia de lineamiento. También podemos observar un cambio descendente de

los 50 m a los 65 con valores promedio de 37,181 a 37,081 (nT) y luego asciende a los 75 m con valores promedio de 37,210 (nT).

El perfil 3, con longitud de 180 metros, presenta una variación ascendente desde -55 m a -5 m con valores promedio de 36,971 a 37,136 (nT). Luego se muestra un cambio descendente de los 90 m a los 105 m y luego asciende de los 105 m a los 120 m, mostrando una anomalía desde los 90 m a los 120m.

El perfil 4, con una longitud de 265 m, se pueden detectar anomalías magnéticas desde los 20 m a los 50 con un cambio ascendente y descendente con valores promedio de 37,151 a 37,116 (nT). Luego en el punto de los 160 m se observa una tendencia ascendente a los 175 m, y desciende a los 200 m, con valores promedio de 37,011 a 36,831 (nT).

El perfil 5, muestra una longitud de 310 m, a partir de los -35 m asciende a los -25 m luego desciende a los -15 m, presentando una posible anomalía y a partir de los 100 m a los 115 se presenta otro cambio con valores promedio de 37,068 a 37,041 (nT).

El perfil 6, con una longitud de 320 m, se presenta en el -80 m un cambio descendente a los -60 m y luego asciende a los -55 m, con valores de promedio de 36,992 a 37,008 (nT) observando una anomalía y luego para los 100 y 200 m se observa una tendencia de curvas ascendentes y descendentes.

El perfil 7, tiene una longitud de 325 m, se sitúa anomalía desde el -45 m a -30, se puede identificar otra anomalía desde los 90 m a los 105 m con valores promedio de 37, 097 y 37,109 (nT) y luego se puede observar que de los 180 m a los 230 m hay cambios de variaciones en la curva.

Para los perfiles 8 y 9 con longitudes de 325 m, se observa dos grandes anomalías, la primera a partir de los 5 a 40 m, muestran curvas magnéticas, y podemos identificar lineamientos, y la segunda a partir de los 70 y 95 m.

En los perfiles 10 y 11, tiene una longitud de 315 m. Estas curvas magnéticas presentan anomalías negativas desde -15 m hasta los 65 m y luego de los 75 m a los 110 m se muestran otra anomalía.

En el perfil 12, con una longitud de 325 m, este perfil muestra que desde los 5 a los 50 m, se observa anomalía magnética, y luego se presenta otra a una distancia de los 150 a 180 m.

El perfil 13, tiene una longitud de 330 m, a partir de los 50 a los 85 m se observa un cambio, mostrando una anomalía magnética y a partir de los 180 m, la curva desciende negativamente a los 185 m, ascendiéndose luego a los 195 m, con valores promedio de 36, 430 a 37, 021 (nT).

Para el perfil 14, tiene una longitud de 335 m, y se puede observar que desde los 50 a 85 m se muestra una anomalía en secuencia del perfil 13, se puede observar un lineamiento de anomalías magnéticas.

LOCALIZACIÓN DE PERFILES MAGNÉTICOS.

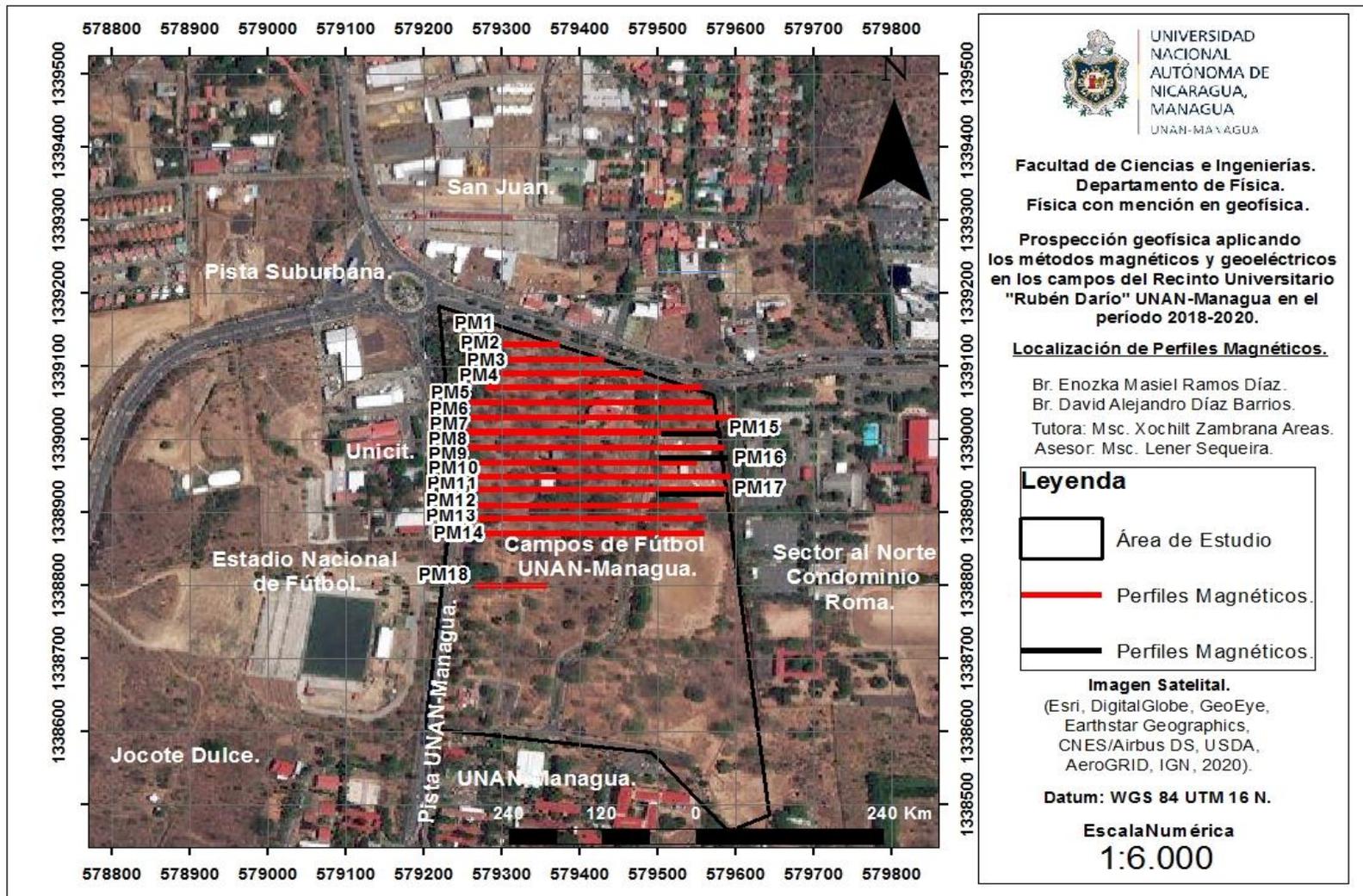


Figura 19. Mapa de localización de Perfiles Magnéticos, en el Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

3.2.5.1.2. Método Eléctrico.

3.2.5.1.3. Tomografías Eléctricas.

Es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde perforaciones.

En este trabajo investigativo se levantaron y procesaron datos del método de prospección de tomografía eléctrica, con el propósito de obtener un modelo de resistividad del subsuelo en dos dimensiones para identificar anomalías relacionadas con fallamiento superficial en la parte norte de los Campos del Recinto Universitario "Rubén Darío", UNAN-Managua. Se obtuvieron los datos como base de las prácticas de especialización II en conjunto al apoyo del IGG-CIGEO, siendo esta experiencia de campo impartida por la Msc. Xochilt Zambrana Areas y el Msc. Lener Sequeira.



Figura 20. Mediciones de Tomografía Eléctrica en la Parte WE de los Campos del Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua.

En esta experiencia investigativa se estableció 1 perfil eléctrico con 81 electrodos inyectados, con un espaciamiento de 10 metros entre cada electrodo teniendo una longitud de 120 metros y una separación de 20 metros, la colocación de los electrodos en la superficie fue de forma equiespaciada intentando siempre que formen una línea recta, se definió el origen y el final del perfil con el fin de no tener problemas con la fase de interpretación, también se tomó en cuenta que la topografía del terreno fuese lo más plana posible para evitar tener fenómenos anómalos en las medidas de resistividad pero en cambio el software permite minimizar en la parte de exterminios de datos erróneos este fenómeno por lo que se clavaron los electrodos en el terreno lo suficiente para garantizar un buen contacto entre electro-suelo.

Tabla 5. Medición de los datos del de tomografía Eléctrica.

Coordenadas WGS 1984 UTM Zona 16 N.				
Perfil Eléctrico.				
X	Y	X	Y	
579375	1338873	579253	1338876	
<u>Perfil N°</u>	Dirección.	N.º Electrodo.	Espaciamiento Entre cada Electrodo.	Extensión.
Tomografía Eléctrica.	WE	81	10 metro	120 metros

Con base a como se hallan establecido la forma de ordenamiento de los electrodos se pueden obtener distintos tipos de arreglos en los que en el proceso del método de tomografía eléctrica en 2D se destacan el Dipolo-Dipolo, Wenner, Wenner-schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo y el gradiente. En la siguiente figura se observa el alcance de profundidad media para el arreglo Gradiente el cual nos muestra a que aproximada profundidad podemos alcanzar con este arreglo.

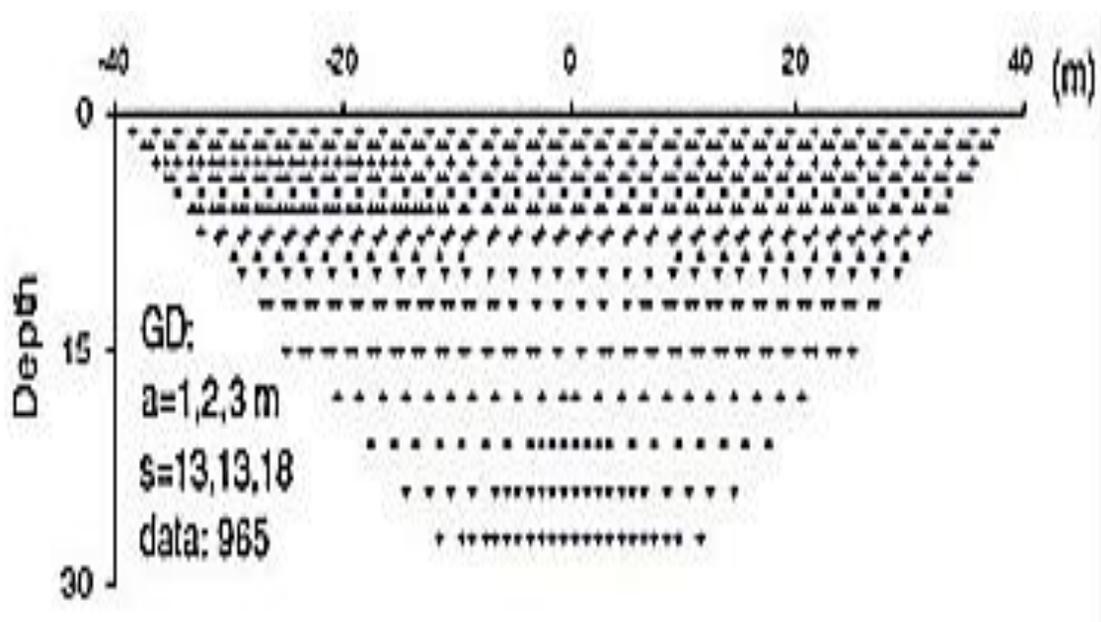


Figura 21. Modelo Gradiente. (<https://goo.gl/images/GevG5e>).

LOCALIZACIÓN DE PERFIL DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.

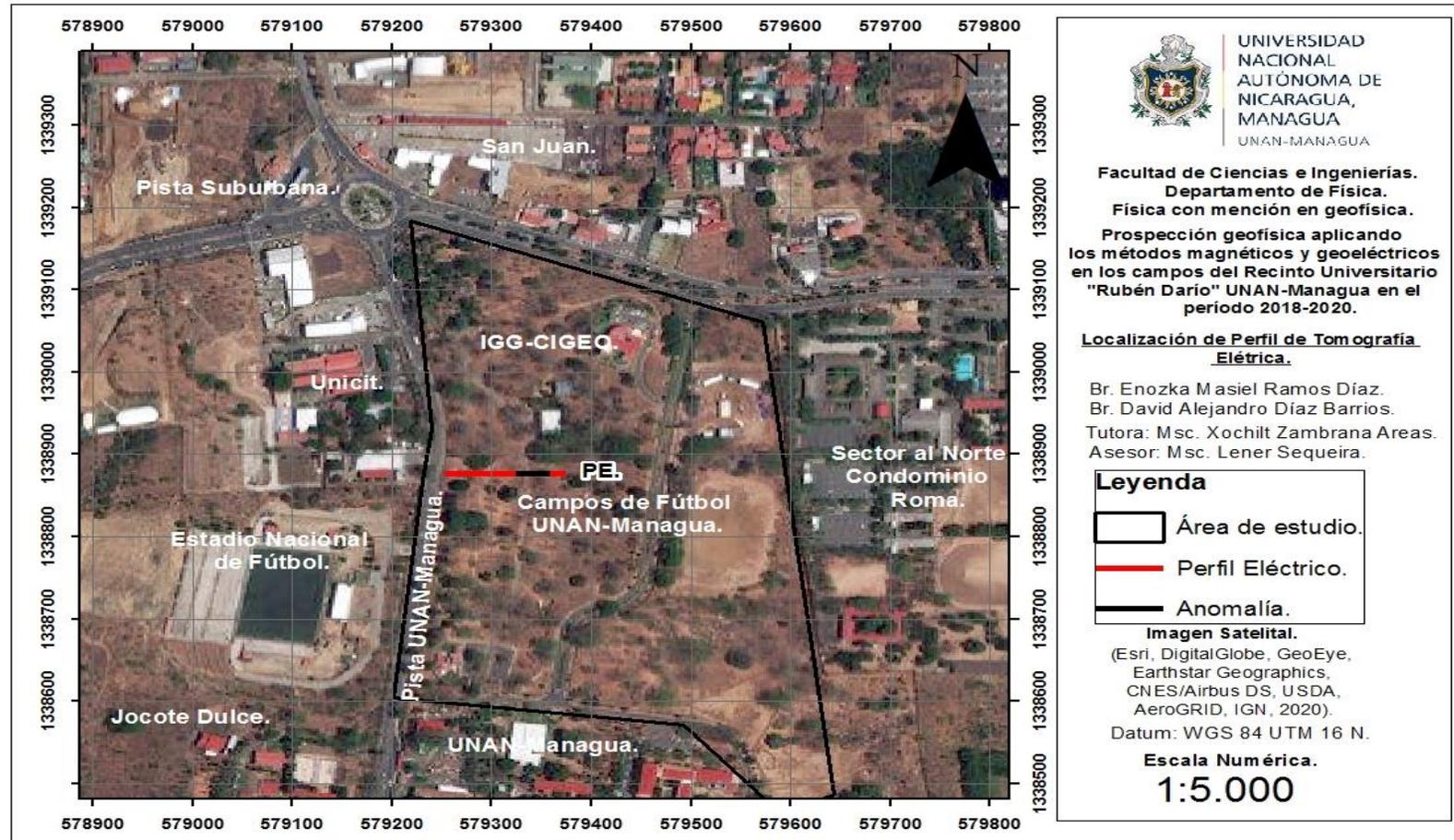


Figura 22. Mapa de localización de perfil de tomografía eléctrica en la parte N del Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

3.2.6. Plan de Procesamiento y Análisis.

3.2.6.1. Método Magnético.

Para el proceso y análisis de recolección de datos fue necesario la recopilación de estudios previos, Luego de realizar la investigación exploratoria y haber recopilado los datos de nuestra investigación, se indago al análisis de información de tesis académicas, artículos científicos basados en estudios del método magnético.

Se utilizaron herramientas de Microsoft como Word, Excel y Power Point para la redacción técnica y presentación de esta investigación, además de introducir coordenadas de puntos de mediciones por anomalías magnéticas para obtener una base de datos, también se empleó software de Sistema de Información Geográfica (SIG), como Arcgis de ESRI.

Los datos magnéticos fueron corregidos por variación DIURNA e IGRF (campos geomagnéticos de referencia internacional). Las correcciones que se realizaron a los datos magnéticos fueron por variación diurna y eliminación del IGRF. Los valores del IGRF se obtuvieron del software Magnetic.

Este valor fue restado de los datos de intensidad total del campo magnético, de tal manera que el resultado representa anomalías magnéticas debidas solamente a cuerpos magnetizados en la corteza terrestre. Por lo tanto, la anomalía magnética de campo total se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 14. } \Delta F = F_{\text{obs}} - \delta F - \text{FIGRF}$$

Fobs= Valores observados, **δF**= Corrección por variación diurna, **FIGRF**= Valores de IGRF.

3.2.6.1.1. Uso del Software ARCGIS.

Consistió en brindarnos las herramientas para la creación de mapas de alta calidad, facilita modelar y comprender todos los aspectos de datos, Arcgis al igual que otros programas garantiza descubrir todos los patrones y tendencias de datos, permite mejora de mapas y modelos de una variedad de opciones de personificación.

3.2.6.2.1. Método Eléctrico.

Para el análisis y el procesamiento del perfil Eléctrico se procedió a utilizar el software de interpretación ZondRes2, el programa permite visualizar las medidas obtenidas a fin de poder eliminar posibles valores o fenómenos anómalos erróneos que se distinguen por presentar valores muy diferenciados al de los puntos adyacentes, calcula el modelo de resistividades aparentes que se deriva del modelo de resistividades reales, Compara el modelo aparente calculado con el medido en campo. Por lo tanto, alcanza un proceso iterativo con el fin de encontrar un modelo de resistividades real, tal que la diferencia entre el modelo de resistividad aparente calculado y el medido sea mínimo.

El proceso de inversión utilizado por el programa fue el de mínimos cuadrados para tener un reducimiento en el tiempo de procesamiento.

3.2.6.2.2. Programa ZONDRES2D.

Este programa está diseñado para la interpretación bidimensional de datos de tomografía eléctrica por resistividad y método de polarización inducida en casos de tierra, pozos cruzados y agua. También para visualizar la tomografía eléctrica, para facilitar la presentación gráfica de los datos de las imágenes de Resistividad en 2D y las secciones de los modelos invertidos.

3.2.6.2.4. Inversión de los Datos de Tomografía Eléctrica.

Se debe tomar en cuenta que las observaciones que fueron obtenidas en campo son datos de resistividad aparente (ρ_a) y no corresponden a la resistividad real del subsuelo. Si graficamos la seudosección de estos valores se muestra efectivamente la distribución de resistividad en el subsuelo, pero con una visión deformada de contornos y alteración en magnitud de valores, esto debido al tipo de arreglo eléctrico usado y a la presencia de cuerpos de diferentes resistividades.

El objetivo de la inversión geofísica eléctrica es encontrar un modelo de distribución de resistividades verdaderas en el subsuelo, que genere una respuesta similar a los valores de resistividad aparente medidos. Las relaciones matemáticas entre los valores de resistividades aparentes medidas y las resistividades verdaderas del subsuelo se obtienen a partir de métodos de elementos finitos o diferencias finitas

Capítulo VI

4.1 Análisis y Discusión de los Resultados.

4.1.1.2 Resultados del Método Magnético.

El método magnético constituye una eficaz herramienta de exploración del subsuelo. En este trabajo de investigación se procesaron un total de 18 perfiles magnéticos, para los primeros 14 perfiles con longitudes desde (95 a 335 metros) separados en distancias cada (5 metros) y con espaciamiento entre estaciones magnéticas de (20 metros), posteriormente para los siguientes perfiles 15, 16, 17 y 18 poseen longitudes de (78 hasta 100 metros) con paso de medición entre (2 a 5 metros) y un espaciamiento de (20 metros).

Los datos magnéticos medidos en campo fueron corregidos por la variación diurna de una estación magnética base, con el fin de reducir los efectos de tormentas magnéticas de periodos cortos que pudieran afectar a los datos levantados en campo. Una vez corregidos los datos magnéticos por variación diurna se consultó el IGRF para el área de Managua y corregir los datos con respecto al campo magnético internacional y obtener la anomalía magnética residual.

La (figura 23) presenta la gráfica del proceso de variación diurna en conjunto a la base magnética del perfil 15.

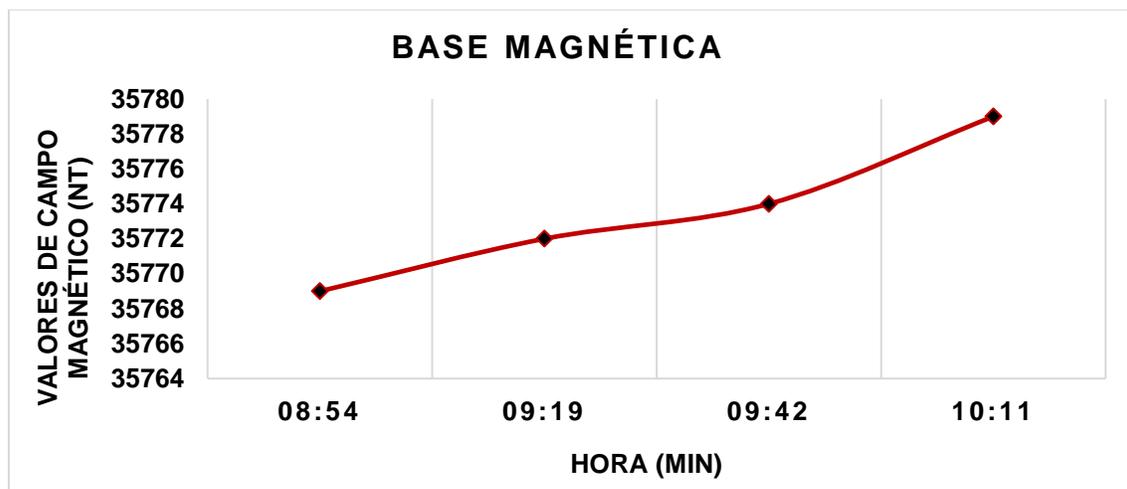


Figura 23. Gráfica de la variación diurna con la base magnética.

La gráfica de la variación diurna con la base magnética (figura 23) se obtuvo de los datos registrados de la estación base en una forma de series de tiempo que permitieron obtener el modelo matemático por medio de una regresión lineal. El valor que se llegó a obtener del modelo de series de tiempo se restó con el de los valores observados, correspondientes a los tiempos de su adquisición.

En la gráfica 15 (figura 24) mostrando los valores crudos, se presenta los datos de los valores medidos en campo, esto solo para el perfil 15 como demostración, con valores máximo de 35,753 (nT) y mínimos de 35,592 (nT) con el fin de identificar anomalías magnéticas. Como podemos observar en cada gráfica se muestran valores de campo magnético medidos, valores de campo magnético corregidos por variación diurna, y valores de campo magnético restando el IGRF (anomalía residual).

En el perfil 15 (figura 24) se presenta los valores de Campo Magnético Medidos (nT) podemos observar que entre los 10 m a 30 m tenemos un valor de campo magnético promedio de 35,760 a 35,740 (nT) a partir de los 35 m hay un ascenso entre 35,780 (nT), y luego hace un descenso entre los 35,720 (nT), a partir de ese valor el campo magnético baja con un cambio muy pronunciado a los 35,600 (nT) y probablemente este asociado a una discontinuidad o una estructura geológica.

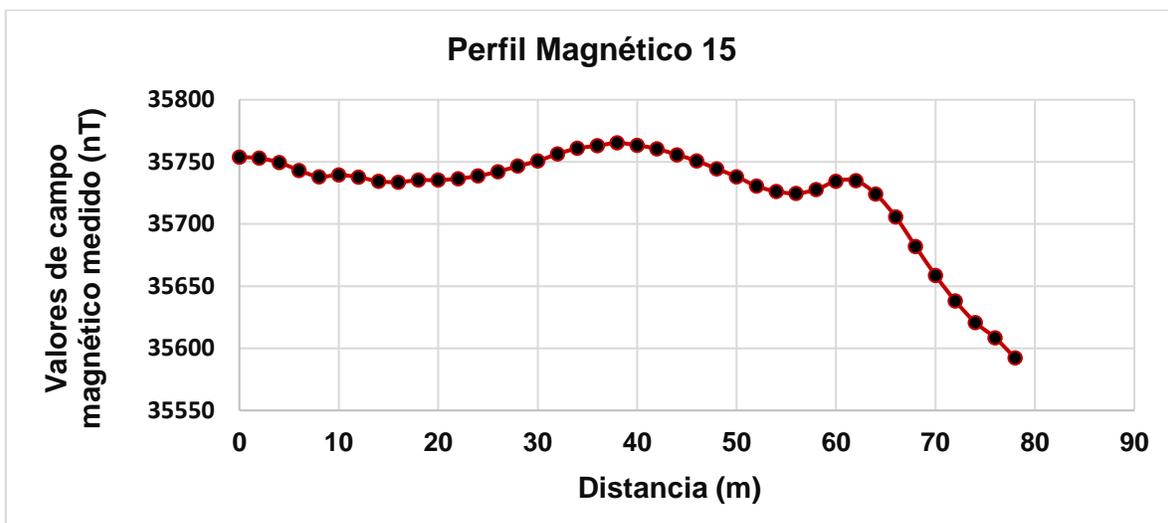


Figura 24. Gráfica del perfil 15 de los valores de campo magnético medidos (nT).

4.1.1.3. Variación Diurna y Cálculo de Anomalía Magnética de Campo Total.

Obtenidos los datos levantados en campo, se tomaron nota de la hora, minutos y segundos de cada medición pasando estas a tiempos en minutos, se lograron tomar dos lecturas por cada medición y luego se sacó la lectura promedio (L_p), una vez esta obtenida, procedemos hacer la corrección por variación diurna mediante la ecuación 15.

$$\text{Ecuación 15. } L_p - (L_{Pi} - L_{Pf}) / (T_f - T_i) * T.$$

Donde:

L_p = lectura promedio.

L_{Pi} = lectura promedio inicial.

L_{Pf} = lectura promedio final.

T = tiempo (min).

T_f = tiempo final.

T_i = tiempo inicial.

La grafica del perfil 15 (figura 25) presenta los valores de Campo Magnético total corregidos por variación diurna. Esta grafica hace énfasis a la (figura 24). En este perfil se aplicó la variación diurna debido a que el campo geomagnético se debe a que las fuentes internas fueron extraídas quedando solo las variaciones, debido a esas fuentes internas. Por lo tanto, los datos son agrupados y finalmente se ordenan de acuerdo a la corrección aplicada. El patrón en el comportamiento de la curva varía de acuerdo a los factores definidos por las variaciones diurnas.

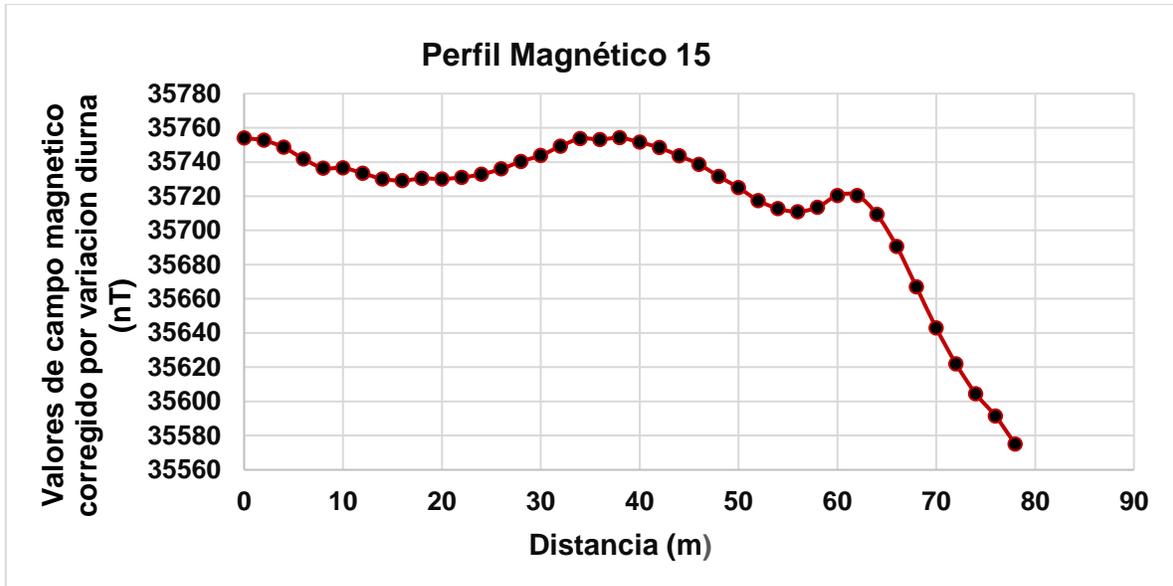


Figura 25. Gráfica del Perfil 15 de los Valores de Campo Magnético Total, corregidos por Variación Diurna.

4.1.1.4 Descripción teórica del IGRF.

El campo de referencia geomagnético internacional (IGRF) es una descripción de la estructura a gran escala del campo magnético principal de la tierra y su variación secular. Y se sustrae de los datos observados para determinar el valor local de campo magnético.

La gráfica del perfil 15 (figura 26) muestra los valores que fueron corregidos por IGRF (Anomalía Magnética Residual). El modelo del IGRF provee un campo de referencia regional, una vez obtenida la anomalía se procede a obtener la anomalía residual, valores corregidos por IGRF.

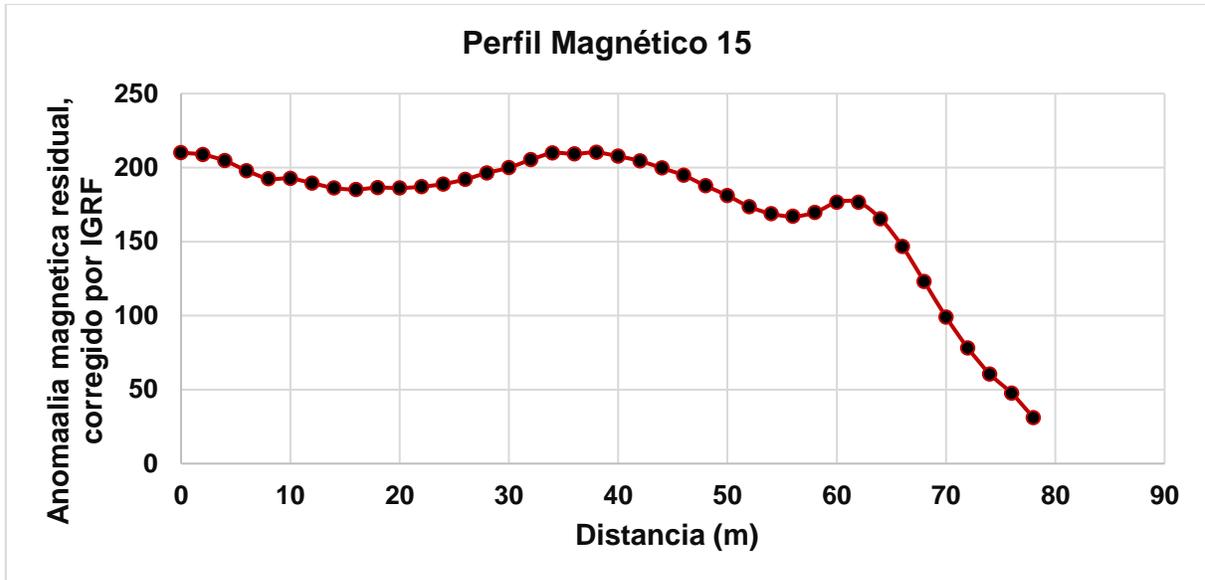


Figura 26. Gráfica del Perfil 15 de los Valores corregidos por IGRF (Anomalia Magnética Residual).

El proceso de la obtención de los valores del IGRF se basó en tres cálculos distintos uno para los perfiles 1-14 el segundo para los perfiles 15, 16 y 17 el ultimo para el perfil 18, el cual fueron obtenidas por medio de la página Magnetic Field NOAA ingresando los valores de acuerdo a su latitud, longitud, fecha y hora de medición en donde ya obtenido los valores del IGRF, se restaron a los datos de intensidad total del campo magnético para así llegar a obtener los resultados que representa las anomalías magnéticas, debido a cuerpos magnetizados en la corteza terrestre.

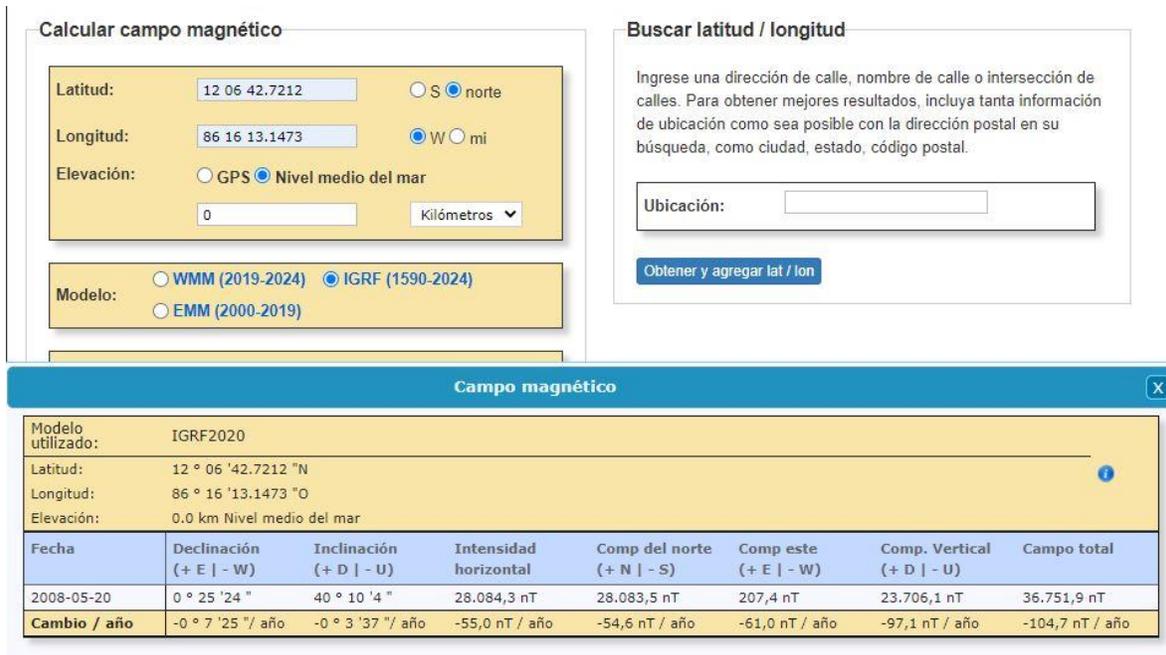


Figura 27. Valor del IGRF del Perfil 1 al 14 (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true#igrfwmm>).

Seguidamente se muestra el segundo proceso del cálculo del valor del IGRF.

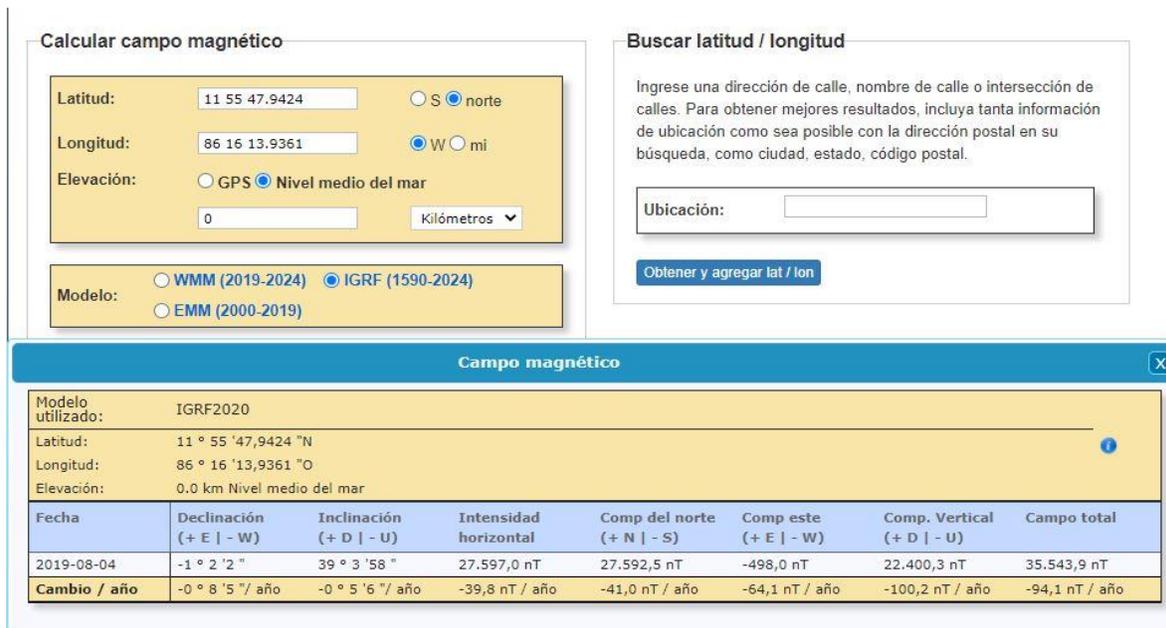


Figura 28. Valor del cálculo de IGRF de los Perfiles 15, 16 y 17 (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true#igrfwmm>).

Finalmente se muestra el tercer proceso del cálculo del valor del IGRF.

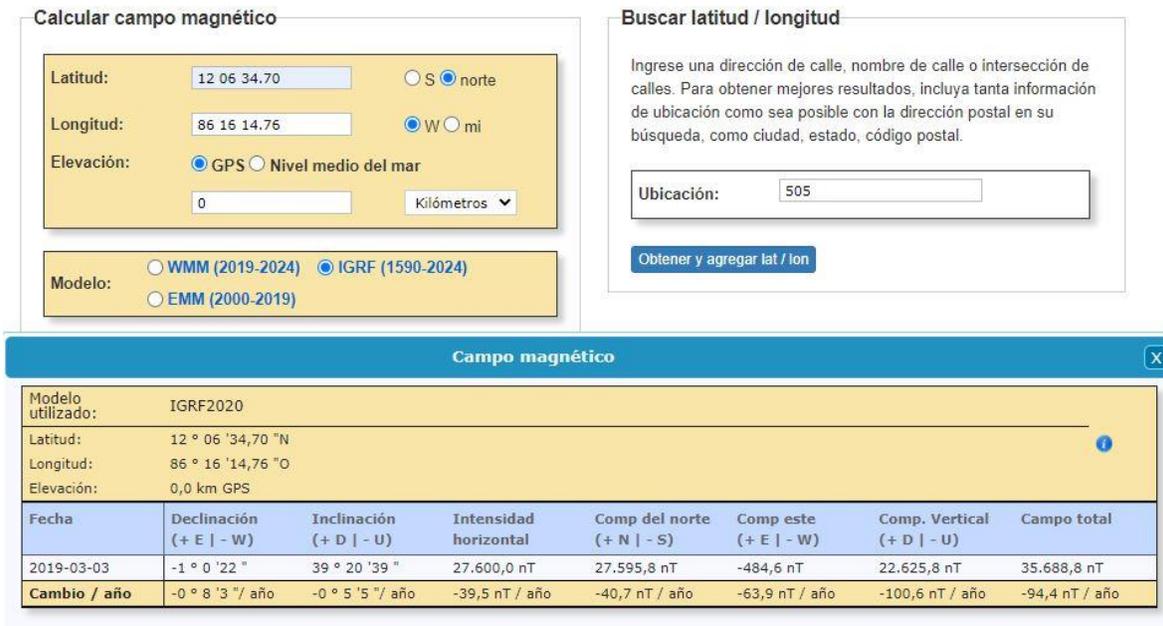


Figura 29. Valor del cálculo de IGRF para el Perfil 18 (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?useFullSite=true#igrfwmm>).

A continuación, se presenta la tabla donde muestra que los valores IGRF cambian debido a que los datos fueron tomados en diferentes días, meses y en distintos años, en donde el perfil 1-14 el valor del IGRF son del año 2008 y del perfil 15-18 los valores son del año **2019**.

Tabla 6. Valores de IGRF de los Perfiles Magnéticos.

Perfiles Magnéticos.	Valores del IGRF (nT).
PM 1-14	36,752
PM15-17	35,543
PM 18	35,690

4.2. Procesado de Mapas Magnéticos.

Para la realización de los mapas de Isolíneas se procedió primeramente a realizar tres bases de datos distintas en Excel con los primeros 14 perfiles con coordenadas en (X Y Z) siendo Z los valores de campo magnético medidos, los valores de campo total corregidos por variación diurna y los valores de campo magnéticos corregidos por IGRF, seguidamente se realizó el proceso de interpolación (Kriging) en el programa Arcmap (ARCGIS) donde se mandaron a llamar las tres bases de datos de los 14 perfiles en el programa, obteniendo mapas de contornos de los valores de campo magnético medidos de valores de anomalía magnética total y de anomalía magnética residual, con el propósito de obtener y determinar las posibles estructuras y lineamientos geológicos estructurales relacionadas a fallas y fracturas.

4.2.1. Mapas de Contorno Magnéticos (Medido, Total y Residual).

Los mapas de Isolíneas o de contorno que se mostraran a continuación corresponden a la compilación de los resultados del método magnético, mostrando las figuras (30, 31 y 3) los cuales corresponden a los Valores de Campo Magnético Medido, Anomalía de Campo Magnético Total y Anomalía de Campo Magnético Residual.

El Mapa de contorno de los Valores Magnéticos observados o medidos con orientación WE, muestran la intensidad de sus Valores máximos de 37732 nT y sus mínimos de 36372 nT en los campos de futbol del Recinto Universitario “Rubén Darío” UNAN-Managua.

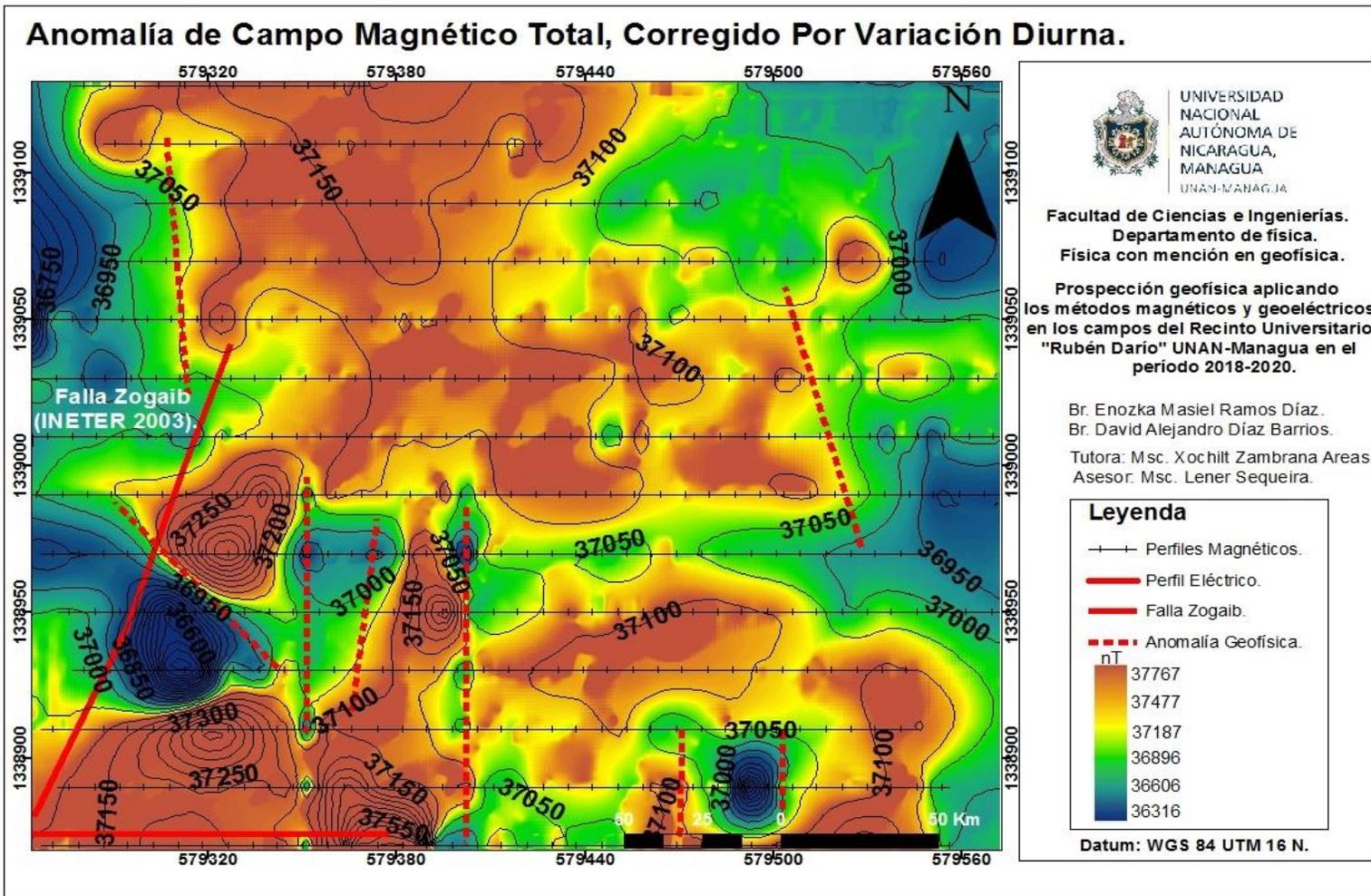


Figura 31. Mapa de Intensidad de Campo Magnético Total, Corregidos por Variación Diurna (nT).

4.2.2. Resultado del Método Magnético (Mapa de Intensidad de Campo Magnético Total, Corregido por Variación Diurna).

El mapa de intensidad de campo magnético Total, valores que fueron corregidos por variación diurna (figura 31) muestra que los datos registrados de la banda izquierda (Oeste) y la banda derecha (Este) se encuentra caracterizados por un campo magnético que varía entre a 37767 a 36316 nT, estando asociados en profundidad a un paquete geológico con un bajo y alto contenido de materiales ferromagnéticos, Se evaluó las zonas de contacto que se muestran y tienden a poder estar asociadas y relacionadas a estructuras geológicas tales como fallas y fracturas, determinando que en la banda izquierda de lo anterior ya mencionado se justifica por la falla inferida comprobada en la base cartográfica de INETER 2003.

En la figura 31 se interpreta la presencia de anomalías de gradiente magnético con geometrías bien definidas. En el sector central se definen como un conjunto de anomalías de lineamientos estructurales geológicos con orientaciones (norte-Sur). En el sector sur se define otro conjunto de anomalías con geometría lineal paralelas entre sí, en el parte del sector oeste también puede observarse una serie de anomalías poco definidas, estos lineamientos geológicos estructurales tienden a tener una importante relación con estructuras geológicas relacionadas a fallas en los campos de futbol de la UNAN-Managua.

El mapa de intensidad de campo magnético total, corregido por variación diurna (figura 31) refleja que en la orientación (Este a Oeste) y a la altura de la coordenada norte 1338975, se logra señalar otra anomalía magnética de campo total menor a 37050 nT, pero de una forma no muy consistente, observándose una discontinuidad geológica, pero con un bajo contenido en materiales ferromagnéticos.

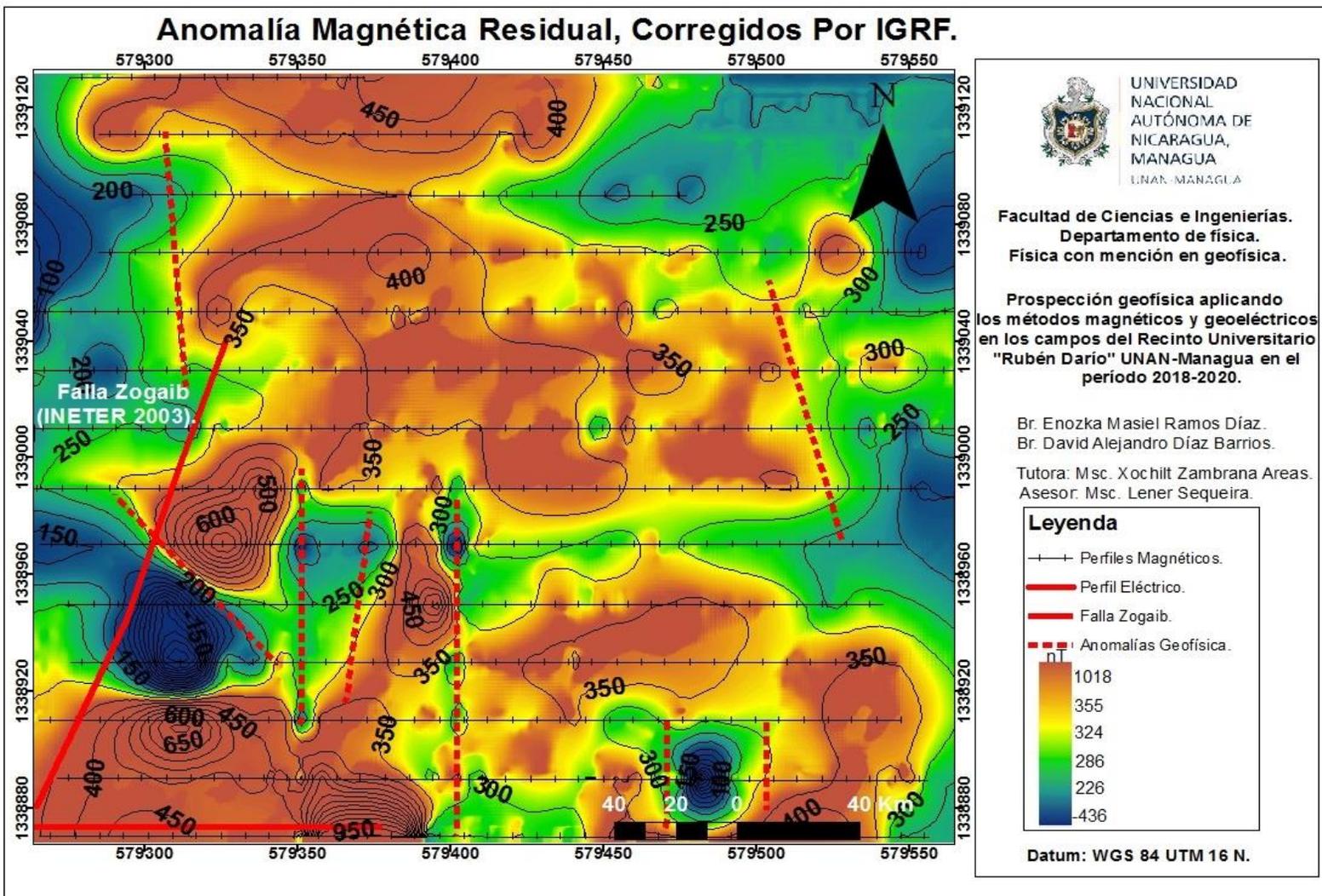


Figura 32. Mapa de Intensidad de Anomalía Magnética Residual, Corregidos Por IGRF.

4.2.3. Resultado del Método Magnético (Mapa de Anomalía Magnética Residual, Corregido por IGRF).

El mapa de anomalía magnética residual, valores que fueron corregidos restando el IGRF (figura 32), muestra que al igual que en el mapa de campo magnético total en dirección (Este y Oeste), pero estando menos definidas, se observan zonas con anomalías magnéticas que se encuentra caracterizado por un campo magnético distinto que varía entre -436 a 1018 nT siendo de igual forma similares a las descritas para el campo magnético total.

Se interpreta la presencia de lineamientos magnéticos con orientación (Norte-Sur) teniendo una misma tendencia en todos los sectores al igual que el mapa de intensidad magnética total (figura 31) las anomalías muestran geometrías bien definidas estando relacionadas a procesos geológicos estructurales tales como: fallas y fracturas, las cuales fueron evaluadas y determinadas en la (figura 33) mapa de localización de fallas del área de estudio en los campos de fútbol de la UNAN-Managua.

El mapa de anomalía magnética residual eliminando el IGRF (figura 32), muestra como la misma anomalía magnética se localiza a la misma altura de la coordenada norte 1338975 del mapa de intensidad de campo magnético total, teniendo una orientación (Este- Oeste) que se ve manifestada en la elongación de las líneas de contorno con una igual dirección (Este –Oeste).

LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LOS CAMPOS DE FÚTBOL DE LA UNAN-MANAGUA.

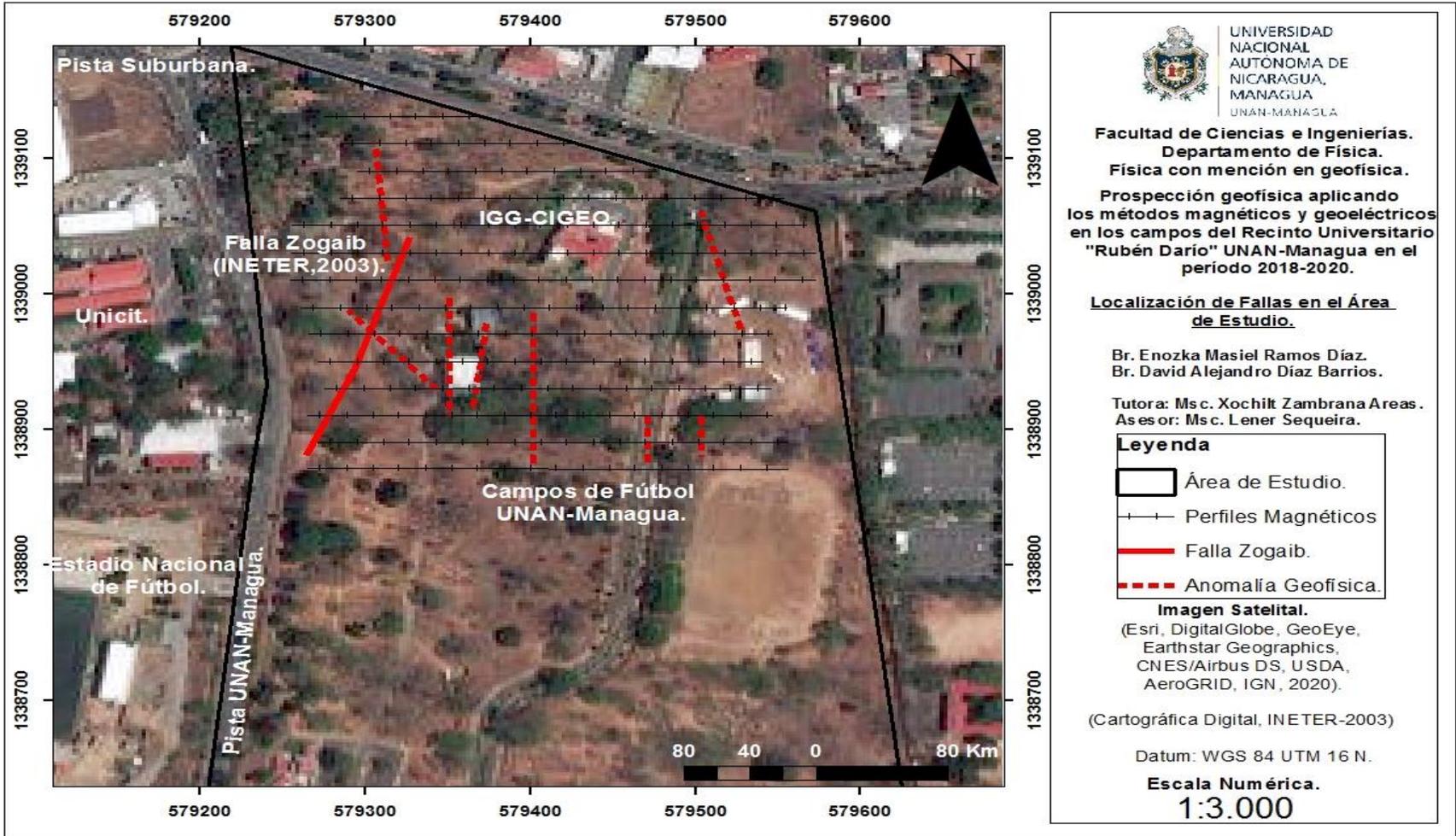


Figura 33. Mapa de Localización de Fallas Geológicas del Área de Estudio de los Campos de Fútbol del Recinto Universitario ``Rubén Darío`` UNAN-Managua (Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

4.3. Resultados del Método Eléctrico.

El método de Tomografía de Resistividad Eléctrica basado en la modelación 2D consiste en la adquisición de inyección de corriente en el subsuelo mediante un par de electrodos el cual da respuesta de la medida de diferencia de potencial "Voltaje" a través de otro par de electrodos llamados potencial; en donde la distribución de potencial eléctrico permite la reconstrucción de la resistividad eléctrica asociada a los diferentes materiales o litologías que conforman el subsuelo.

Para la finalidad de este estudio los datos eléctricos fueron proporcionados por parte de la maestra Msc. Xochilt Zambrana Areas y por el maestro Msc. Lener Sequeira en donde se llevó a cabo la determinación de capas y espesor identificando las posibles anomalías geofísicas que estén relacionados a estructuras geológicas de fallamiento superficial.

4.3.1.1. Proceso de Inversión de los Datos de Tomografía Eléctrica.

El proceso de la inversión del perfil eléctrico obtenido, se llevó acabo primeramente en la descarga e instalación del programa ZondRes2D, donde se mandó a llamar el archivo para su debida inversión por lo que el método a utilizar dicha inversión fue el de los mínimos cuadrados por lo que minimiza las variaciones en los parámetros del modelo de resistividad para llegar a obtener grandes resultados y buena resolución en la imagen de resistividad eléctrica.

Para llegar a tener una mejor visualización e interpretación de la Tomografía Eléctrica del perfil, el programa ZondRes2D facilito la presentación de la imagen de resistividad en 2D y del modelo invertido (ver figura 33 y 34).

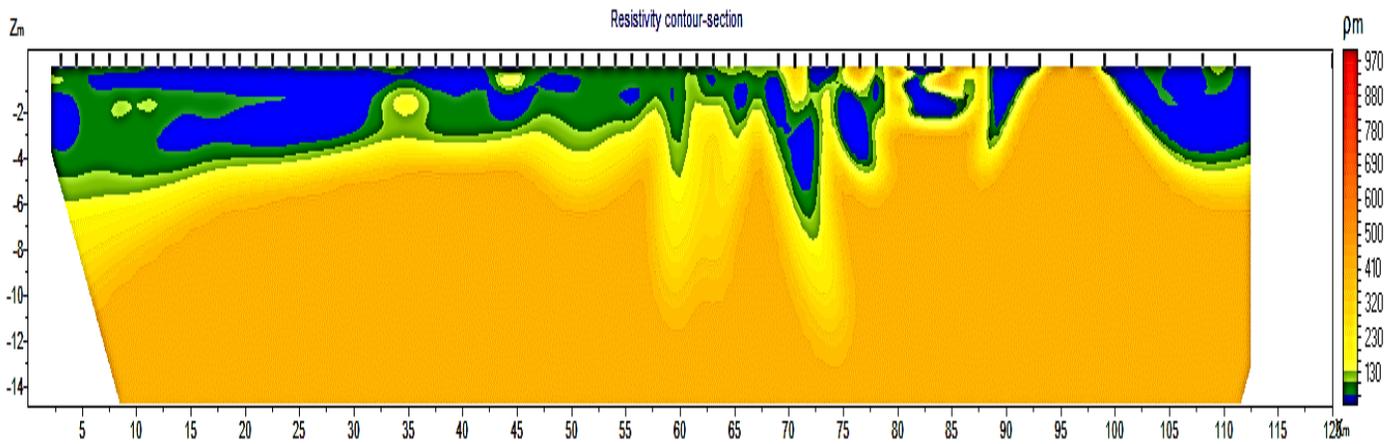


Figura 34 . Modelo de inversión de Resistividad del perfil Eléctrico en 2D realizado con el programa ZondRes2D, con orientación WE en los campos del Recinto Universitario “Rubén Darío” UNAN-Managua.

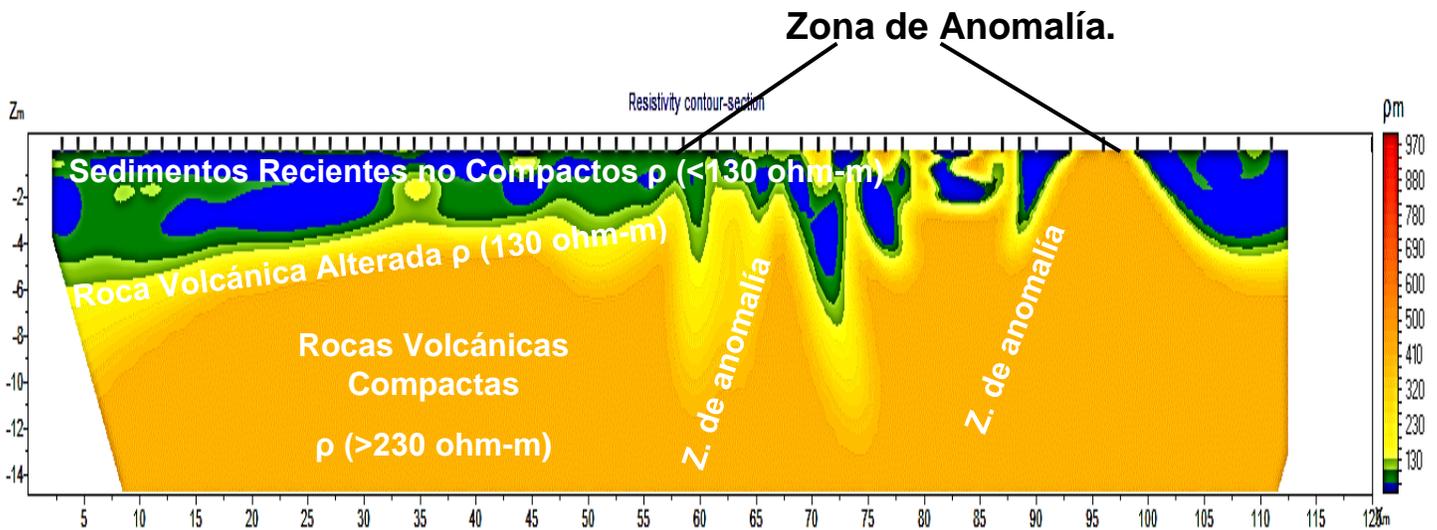


Figura 35. Resultado de la imagen de del modelo de resistividad en la parte norte de los campos de fútbol del Recinto Universitario “Rubén Darío” UNAN-Managua.

4.3.1.2. Resultado de Tomografía Eléctrica.

En base a los datos que fueron procesados en la medición de campo, dio como resultado la imagen del modelo de resistividad en 2D realizado con el programa ZondRes2D, donde se logró evaluar diferentes tipos de capas con sus materiales según sus valores en Ohm-m que se describen en lo siguiente:

Resistividades eléctricas menores a 130 ohm-m: se definen como materiales blandos tales como pueden ser sedimentos recientes no compactos, son suelos modernos limo-arcilloso, es material aluvial con alto contenido en limo, esta capa se identifica con colores verde a azul en la escala de colores de la tomografía eléctrica 2D. Esta capa resistiva se estima que tiene un espesor promedio de 6 metros.

Resistividades eléctricas mayores a 130 ohm-m: esta capa se interpreta como depósitos de roca volcánica alterada con fragmentos líticos de la misma composición con un espesor aproximado de 15 metros. Esta capa está representada con los colores amarillo y muestra una anomalía geofísica en términos de resistividades eléctricas que pueden asociarse a infiltración de agua producto de precipitaciones a través de un material más permeable o una zona de fracturas, esta zona de anomalías tiene un ancho aproximado de 57 hasta los 90 metros donde se presenta con los colores amarillos, el límite derecho de esta anomalía geofísica está bien definido, lo que corrobora que la anomalía existe.

Resistividades eléctricas mayores 230 ohm-m: esta capa está asociada a rocas volcánicas compactas, con moderado contenido de cenizas alterada tamaño lapilli que esta representa de color naranja y las zonas de mayor espesor que muestra anomalías geofísicas bien definidas en su límite derecho a partir de los 57 metros de distancia el cual tiende a tener un espesor aproximado de 15 metros.

El modelo de resistividad eléctrica (figura 36) visualiza las zonas de anomalías relacionadas a las posibles fallas geológicas estructurales localizadas en la parte norte de los campos de fútbol del Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua, en donde a los 57, 73 y 90 metros de longitud del modelo de resistividad se observan contrastes entre las resistividades eléctricas que pueden estar

asociadas a posible fallamiento superficial las cuales se ven reflejadas de color negro por líneas discontinuas paralelas entre sí en la parte media y en los límites de su parte derecha del modelo bidimensional.

En la (figura 36) las anomalías geofísicas que se observan en el modelo de resistividad eléctrica se pueden relacionar como una falla secundaria del Sistema de Fallas Zogaib. Tomando como referencia también la base de datos de fallas geológicas cartográfica de INETER del año 2003 en esta zona se localiza un ramal de la falla principal Zogaib y teniendo relación con los resultados obtenidos en nuestro estudio investigativo de campo.

LOCALIZACIÓN DE FALLAS MAGNÉTICAS Y GEOELÉCTRICAS

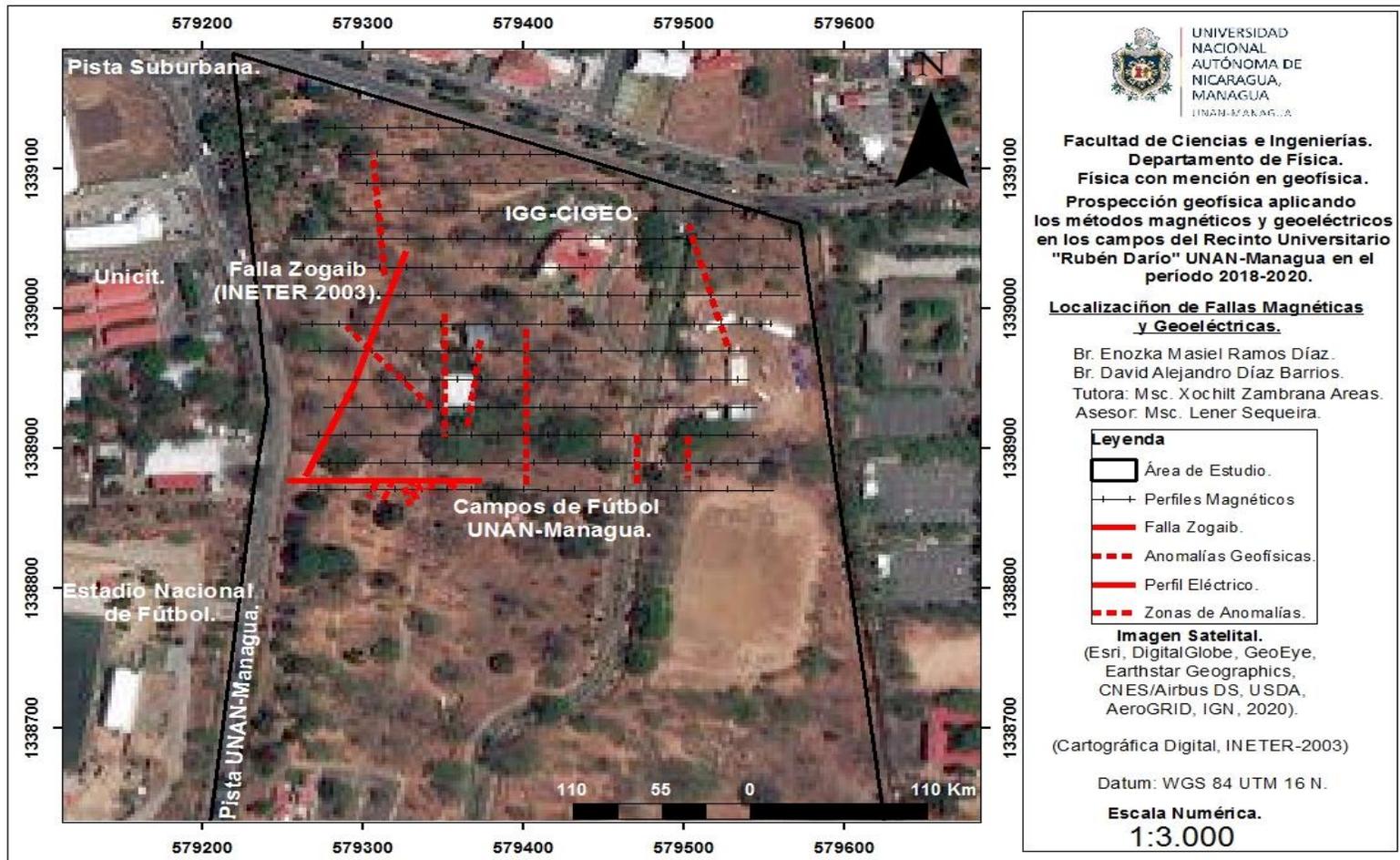


Figura 36. Mapa de Localización de Fallas Magnéticas y Geo eléctricas en el Área de los Campos de Fútbol del Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua (Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020)

ZONIFICACIÓN SISMICA EN LOS CAMPOS DE FÚTBOL DE LA UNAN-MANAGUA.

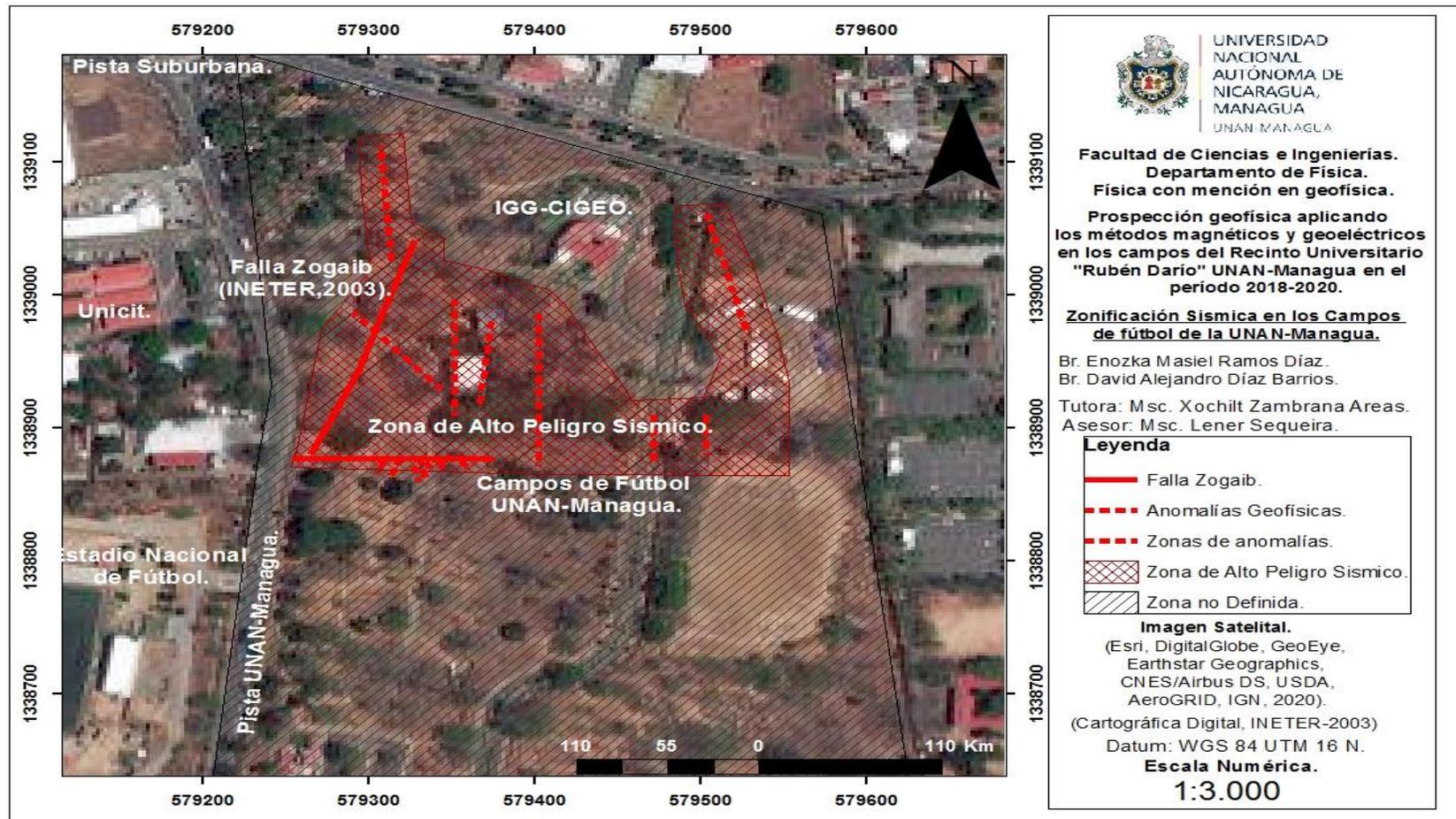


Figura 37. Mapa de Zonificación Sísmica del Área de los Campos de Fútbol del Recinto Universitario "Rubén Darío" UNAN-Managua (Cartográfica Digital, INETER-2003) (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AeroGRID, IGN, 2020).

4.3.1.3. Discusión.

El método magnético pretende investigar la geología del subsuelo sobre la base de anomalías en el campo magnético de la tierra como resultado de las propiedades magnéticas de rocas subyacentes. En cambio, el método eléctrico constituye pruebas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno. De manera particular estos métodos están relacionados al estudio y caracterización del subsuelo, por lo que ambos métodos nos permiten identificar zonas de fallas y fracturas.

Mejía, B. y Calero. J. establecieron un estudio de caracterización de las condiciones geológicas y sísmicas en la zona N y SW del Recinto Universitario Rubén Darío; donde según el cálculo de magnitud momento da información que estas estructuras geológicas pueden provocar sismos entre magnitudes de 5.6^o y 6.2^o así como los periodos dominantes de vibración del suelo, obtuvieron también dos imágenes de modelos geofísico- geológico donde identificaron anomalías estructuras y fracturas geológicas.

Zambrana, X., ejecuta un proyecto, donde dicha investigación tiene como objetivo caracterizar el peligro sísmico por efecto de sitio, orientada a conocer las condiciones y respuestas sísmicas de los suelos en sus modos de vibrar ante un evento sísmico. El área de la Unan-Managua corresponde a una zona de alta peligrosidad sísmica por localizarse al oeste una falla activa conocida como Zogaib, la cual tiene una longitud de 2,7 km y orientación norte-sur.

En esta tesis monográfica, se han abordado diferentes aspectos claves relacionados con estudios magnéticos y Geoeléctricos, los cuales fue de gran aportación para el Recinto Universitario Rubén Darío (UNAN-MANAGUA). El estudio detallado de cada uno de los métodos que constituyen esta tesis ha permitido la identificación de una zona muy vulnerable, debido a que está asociado a la falla principal Zogaib comprobada por INETER y con nuestro estudio realizado

nos brinda información de interés en el campo de la geofísica, ya que este abarca fenómenos relacionados a estructuras y condición física.

Al efectuar estos estudios geofísicos y hacer su debido procesamiento se pudieron observar una serie de anomalías o lineamientos estructurales geológicos-geofísicos, los cuales están asociadas a las áreas verdes del campo de futbol del recinto. Mediante el método magnético, se realizó mapas de contornos magnéticos total y residual, los cuales se reflejaron lineamientos estructurales como fallas y fracturas.

En base al método eléctrico y compararlo con el estudio de Mejía, B. y Calero. J. se encuentra que al realizar el modelo de resistividad en dirección E-W de perfil 1 ellos encuentran que a los 60, 92, y 132 metros de longitud se localizan contrastes de resistividades y para el perfil 2 a los 68, 81 y 126 metros de longitud lo que corrobora que la anomalía existe, y en nuestro estudio se visualizan zonas de anomalías en relación a posibles fallas geológicas estructurales en donde a los 57, 73 y 90 metros de longitud en dirección WE, se observan contrastes de resistividades que están asociadas a posibles fallamientos superficiales y en relación a nuestro trabajo investigativo hace relación más clara y objetiva de una falla secundaria al sistema de la falla zogaib.

El aporte e importancia de este estudio es que través de los métodos planteados, nos permitieron aportar información del subsuelo. En dicha investigación se logra observar y caracterizar anomalías relacionadas a estructuras geológicas como fallas y fracturas.

Este estudio contribuye a la información del subsuelo, ya que no es apto construir en una zona de peligro sísmico como podemos observar en el mapa de zonificación sísmica del área de estudio, el cual es una herramienta para la reducción de la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgos: como la población estudiantil e infraestructuras.

Capítulo V

5.1 Conclusiones.

Al finalizar esta tesis-monográfica, logramos cumplir con todos los objetivos propuestos, concluyendo lo siguiente:

- Según los resultados obtenidos en la zona de los campos de fútbol del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) UNAN-Managua, se presenta zonas de anomalías magnéticas y geoelectrico relacionada a fallas secundarias de la falla principal Zogaib.
- Se interpreta que las anomalías geofísicas presentan una dirección preferencial Norte-Sur, y se caracterizan por presentar gran amplitud y longitud de onda de corte, lo que se asocia a fuentes de anomalías someras.
- Mediante el método magnético se realizaron mapas de contornos de intensidad de campo magnético total con valores entre 36316 a 37767 nT y de intensidad de campo magnético residual con valores entre -436 a 1018 nT los cuales reflejaron lineamientos estructurales relacionados a estructuras geológicas como fallas y fracturas.
- Se realizó la correlación de ambos métodos (magnético y eléctrico) donde se determinó las anomalías magnéticas con orientación (Norte-Sur) y el perfil eléctrico con orientación (Este-Oeste) evaluando las zonas de anomalía de intensidad de campo magnético total que varía entre 36316 a 37767 nT y de anomalía magnética residual que varía entre -436 a 1018 nT en donde el modelo de resistividad varía entre 130 a 970 ohm-m constatando de como las posibles anomalías geológicas-geofísicas reflejadas, tienden a tener una similitud relacionadas o asociadas a fallas y fracturas.

- Se obtuvo un modelo de resistividad eléctrica 2D (dos dimensiones) del subsuelo mediante la aplicación de Tomografía Eléctrica identificando anomalías estructurales como posibles fallas y fracturas geológicas, además de identificar tres capas con rangos de resistividad distinto: a) capa 1, rangos menores a 130 ohm-m, definidos como sedimentos recientes no compactos; b) capa 2, rangos mayores a 130 ohm-m , interpretados como roca volcánica alterada c) capa 3, rangos de resistividades mayores a 230 ohm-m definidos como rocas volcánicas compactas.

5.2. Recomendaciones.

En la investigación, se ha logrado obtener información de características geofísicas del subsuelo mediante los métodos magnéticos y eléctricos, permitiendo recomendar más estudios orientados a otras temáticas, por lo que se hacen las siguientes recomendaciones:

Esta investigación debe ser base para la planificación de futuras obras civiles en el Recinto Universitario Rubén Darío, con dirección E-N, ya que no es apto construir en una zona de alto peligro sísmico debido a la presencia de la falla Zogaib, y también tomar en cuenta este estudio con el objetivo de reducir riesgo sísmico en la zona.

Realizar más estudios, aplicando perfiles eléctricos con dirección N-S, para mejorar el modelo de resistividades de la tomografía eléctrica y así mismo tener una mejor interpretación, ya que es un área afectada y pueda que existan más posibles tendencias de fallas.

Tomar en cuenta los resultados geológicos y geofísicos de este estudio para actualizar el Mapa de fallas de Managua, ya que la investigación aporta información valiosa, así también los resultados de estudios geofísicos indican zonas de anomalías relacionadas a estructuras geológicas en la parte E-N y W-E de la UNAN-Managua, asociada como un ramal de la falla zogaib.

5.3. Bibliografías.

- Barker, L. &. (1996). *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections Using a Quasi-Newton Method*.
https://www.researchgate.net/publication/227844596_Rapid_Least-Squares_Inversion_of_Apparent_Resistivity_Pseudosections_Using_a_Quasi-Newton_Method.
- Burger, H. (1992). *Exploration using magnetic method in Exploration geophysics*. Recuperado el 20 de abril de 2020, de <https://webapps.unitn.it/Biblioteca/it/Web/EngibankFile/Exploration%20geophysics%20of%20the%20shallow%20subsurface.pdf>
- Castaño, j. (2017). *Análisis y Posible Explicación Física de la Variación Secular Residual*. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. Recuperado el 17 de abril de 2020, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62549/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chávez. (2011). *La Tomografía Eléctrica se destaca con respecto a los métodos de resistividad*.
- Dahlin. (2001). *Detección de zonas de riesgo en la Ciudad de Guatemala* .
- Díaz, P. (2010). *Implementación del código Zondres2D para la modelación directa e inversa de datos de tomografía de resistividad eléctrica 2D*. T E S I S P R O F E S I O N A L Q U E P A R A O B T E N E R E L T Í T U L O D E : I N G E N I E R O G E O F Í S I C O , U N I V E R S I D A D N A C I O N A L A U T Ó N O M A D E M É X I C O , M e x i c o . R e c u p e r a d o e l 2 3 d e a g o s t o d e 2 0 2 0 , d e <https://studylib.es/doc/5973896/universidad-nacional-aut%C3%B3noma-de-m%C3%A9xico>
- Escorza, M. (2010). *MAGNETOMETRÍA DE LA ISLA SOCORRO*. tesis para optar al título de INGENIERO GEOFÍSICO, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA, mexico. Recuperado el lunes de abril de 2020, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/1296>

- España, J. (2017). *Análisis Aeromagnético del complejo dómico “Las Derrumbadas”, en el estado de Puebla*. Para obtener el grado de: Maestro en Geociencias Aplicadas, INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C., San Luis Potosí, S.L.P. Recuperado el 28 de abril de 2020, de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1360/1/TMIPICYTE8A52017.pdf>
- Frischbutter, A. (2002). *Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. Mexico: Revista UNAM. Recuperado el 29 de mayo de 2020, de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/40097>
- Frischbutter, A. (2002). Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images. *Geofísica Internacional*, 41(2), 87-102., Vol. 41,.
- Frischbutter, A. (2002). *Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images*.
- Griffiths. (1993). *Detección de zonas de riesgo en la Ciudad de Guatemala* .
- Guatemala, J. (2007). *Caracterización de la estela de contaminación del basurero la joya en granada, Nicaragua*. tesis para optar al grado de master en ciencias del agua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Recuperado el 28 de mayo de 2020, de <https://es.slideshare.net/jduarteurbina/trabajo-master>
- Hernandez, h. (2014). *Estudio Magnetométrico en Tláhuac de la Subcuenca de Chalco*,. tesis para obtener el título de ingeniero geofísico, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA, Mexico. Recuperado el 12 de abril de 2020, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5745/Tesis.pdf?sequence=1>
- Hernández, H. (2014). *Estudio Magnetométrico en Tláhuac de la Subcuenca de Chalco, Zona Conurbada México D. F.* TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO GEOFÍSICO, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO. Recuperado el 10 de NOVIEMBRE de 2020, de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5745/Tesis.pdf?sequence=1>

Hodgson, G. (2002). *Geología Histórica e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central, 2da Edic.*

Hodgson, L. &. (1983). *Desplazamiento de Actividades Volcánicas Durante El Terciario y la Relación Entre Paleo-Arcos Volcánicos y Depósitos de Minerales en Nicaragua.*

<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>, U. (19 de diciembre de 2019).
Obtenido de URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>

INETER. (2002). *ACTUALIZACION DEL MAPA DE FALLAS GEOLOGICAS DE MANAGUA*. Managua. Recuperado el 28 de abril de 2020, de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/fallas-geologicas-managua.pdf>

INETER. (2005). Recuperado el 28 de mayo de 2020, de <https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/proyectos/micromana/3-geologia-resx.htm>

INETER, G. (2020). *Geología en Nicaragua*. Managua. Recuperado el 28 de abril de 2020, de <https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/geol/geologia.html>

Ingeniería, T. (2019). *Tropical Ingeniería*. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <http://www.tropicalingenieria.com/tecnologia-con-la-que-contamos-abem-terrameter-ls1/>

Kearey, P. B. (1984). *An introduction to Geophysical exploration. Geoscience* (Vol. 4). (2. Wiley, Ed.) Recuperado el 22 de abril de 2020, de https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=https://books.google.com/books/about/An_Introduction_to_Geophysical_Explorati.html%3Fid%3Dyj7CMOMvxnMC&prev=search&pto=aue

Knodel. (2007). *Principio del método resistivo*.

Kutterolf, S. F.-U. (2007). *Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua*. Managua. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.02.006>

- La Femina, P. C. (2002). Bookshelf faulting in Nicaragua. *Bookshelf faulting in Nicaragua. Geology*, 30(8), 751-754.
- Loke. (2011). *tomografía electrica*.
- Lorente, I. D. (2012). *Repositorio UNAN - Managua*. Obtenido de Repositorio UNAN - Managua: <http://repositorio.unan.edu.ni/244/1/93840.pdf>
- LS, T. (s.f.). *Manual de Instrucción*. Obtenido de Manual de Instrucción: <https://www.guidelinegeo.com/wp-content/uploads/2016/03/Guia-de-usuario-Terrameter-LS-20120628.pdf>
- Machales, T. (2006). *prospeccion magnetica aplicada a la deteccion y caracterizacion de dolinas en el entorno de zaragosa*. Universitario de la Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Tierra , zaragoza. Recuperado el 14 de abril de 2020, de https://www.igme.es/zaragoza/tesis/Mochales_06_Postgrado.pdf
- Magnetometers, G. S. (2019). *Gem Systems Advanced Magnetometers*. Recuperado el 14 de agosto de 2019, de <http://gemsys.ca/spanish-landing/>
- Mayela, M. (2012). *Analisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores*. Para optar al Título de Ingeniero Geólogo, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA, managua. Recuperado el 13 de abril de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/237/1/94037.pdf>
- Mejía, B. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS Y SÍSMICAS EN LA PARTE N Y SW DEL RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO (RURD, UNAN-MANAGUA)*. Monografía para optar al Título de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA, Managua. Recuperado el 28 de abril de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/10615/1/99518.pdf>
- Méndez, F. T. (2010). *EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA, GRAVIMÉTRICA Y MAGNETOMÉTRICA Y MAGNETOMÉTRICA EN LA REGIÓN DE LA CEIBA Y LA CEIBA-POZA RICA, ESTADOS DE PUEBLA Y VERACRUZ*. TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEOFÍSICO, México.

Recuperado el 10 de NOVIEMBRE de 2020, de
file:///C:/Users/Downloads/Tesis.pdf

Mojica, A. M. (2011). PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA EN AMÉRICA CENTRAL MEDIANTE EL USO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS. *Revista geologica de America Central*, 41.

UNAN-Managua. (21 de junio de 2019). *Unan.edu.ni*. Obtenido de Unan.edu.ni:
<https://www.unan.edu.ni/index.php/presentacion>

valle, s. (sf). *PERFILES SÍSMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y MAGNÉTICOS DEL LECHO MARINO DENTRO DEL*. universidad nacional de mexico, Facultad de Ingeniería UNAM, mexico. Recuperado el 14 de abril de 2020, de
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/144/A5.pdf?sequence=5>

Vallecillo, R. (24 de noviembre de 2014). *repositorio Unan Managua*. Obtenido de repositorio Unan Managua: <https://repositorio.unan.edu.ni/5767/1/72109.pdf>

Velásquez, G. A. (2015). *Zonificación morfotectónica volcánica en el análisis morfoestructural del relieve: el caso del municipio de Managua, Nicaragua*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) Managua, Nicaragua, Managua. Recuperado el 29 de mayo de 2020, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112015000200118#B20

Venable, M. (1994). *A Geologic, Tectonic And Metallogenic Evaluation Of The Siuna Terrane*.

Venable, M. (1994). *A Geologic, Tectonic And Metallogenic Evaluation Of The Siuna*. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de
<https://core.ac.uk/download/pdf/53105102.pdf>

Yaoska, G. (2012). *Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores*. Para optar al Título de Ingeniero Geólogo, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA, Departamento de

tecnología , Managua. Recuperado el 27 de abril de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/237/1/94037.pdf>

Zambrana., X. (15 de Enero de 2020). *Revista científica de Farem Esteli*. Obtenido de Revista científica de Farem Esteli: <https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/9233>

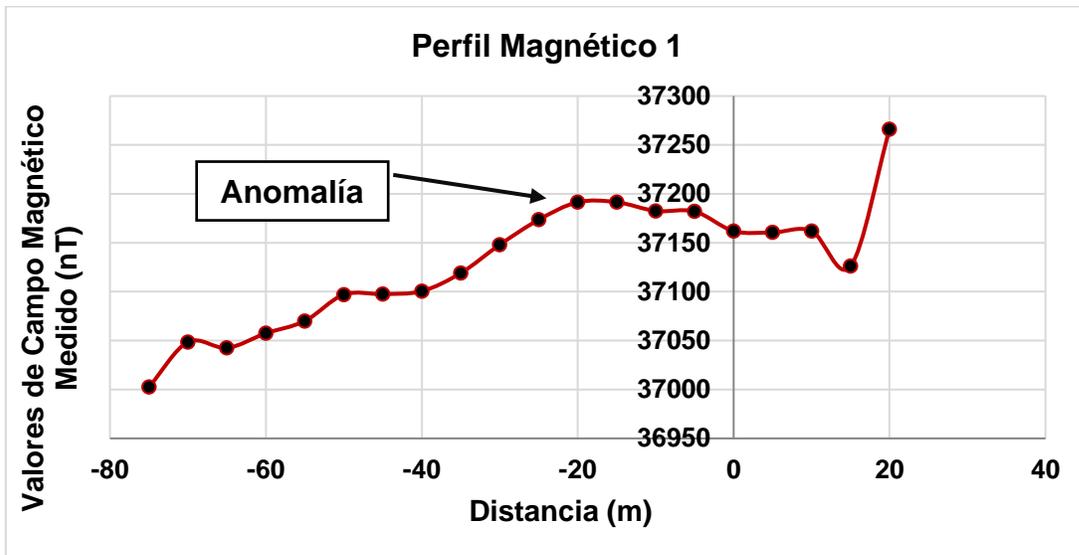
Anexos I

Tabla 6. Puntos de las Coordenadas UTM de las Mediciones de Datos Magnéticos en los Campos del Recinto Universitario ``Rubén Darío`` (RURD-UNAN, Managua).

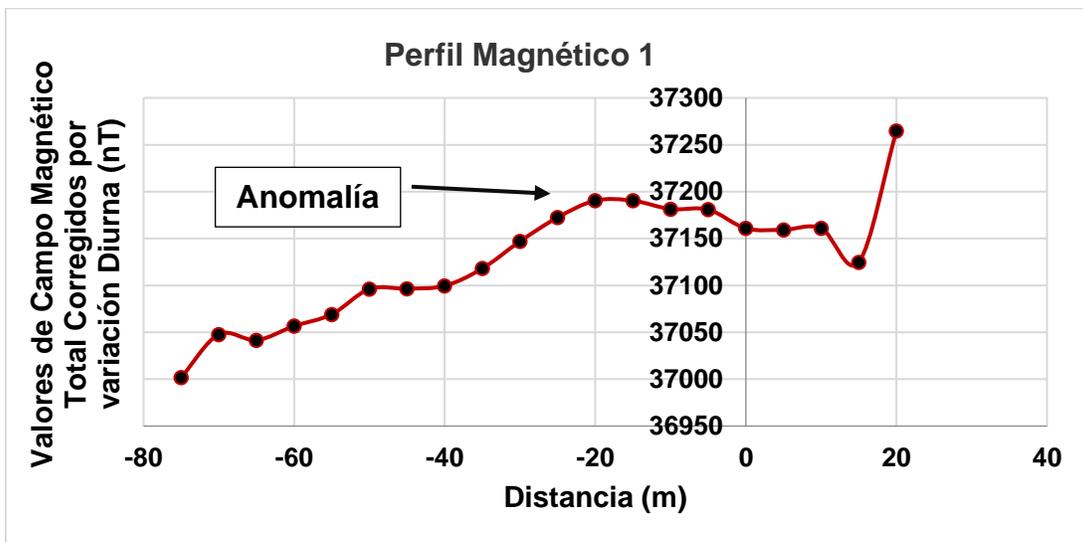
Números de perfil	Coordenadas UTM WGS 1984				Longitud (m)	Separación de Distancia (m)	Estación entre cada Medición (m)
	E		N				
Perfil 1	579277	579372	1339130	1339130	95	5	20
Perfil 2	579287	579427	1339110	1339110	140	5	20
Perfil 3	579297	579477	1339090	1339090	180	5	20
Perfil 4	579287	579552	1339070	1339070	265	5	20
Perfil 5	579257	579567	1339050	1339050	310	5	20
Perfil 6	579252	579572	1339030	1339030	320	5	20
Perfil 7	579257	579582	1339010	1339010	325	5	20
Perfil 8	579577	579557	1338990	1338990	325	5	20
Perfil 9	579402	579547	1338970	1338970	325	5	20
Perfil 10	579582	579542	1338950	1338950	315	5	20
Perfil 11	579352	579547	1338930	1338930	315	5	20
Perfil 12	579352	579547	1338910	1338910	325	5	20
Perfil 13	579402	579557	1338890	1338890	330	5	20
Perfil 14	579402	579557	1338870	1338870	335	5	20
Perfil 15	579505	579582	1339009	1339011	78	2	20
Perfil 16	579503	579592	1338974	1338971	92	2	20
Perfil 17	579499	579598	1338925	1338929	100	5	20
Perfil 18	579356	579270	1338800	1338798	94	2	20

Anexos II

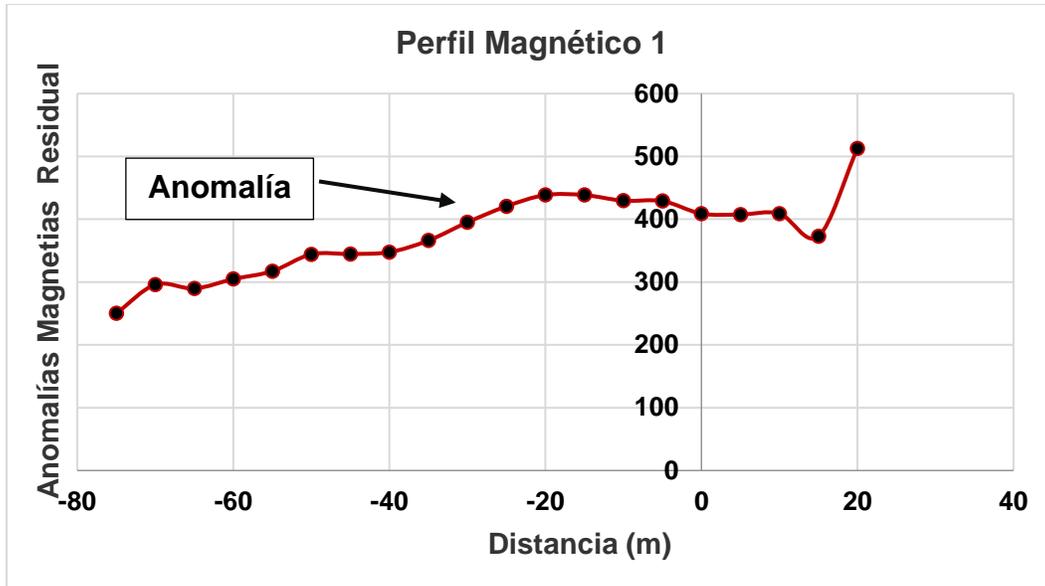
Gráficas de los Valores Magnéticos.



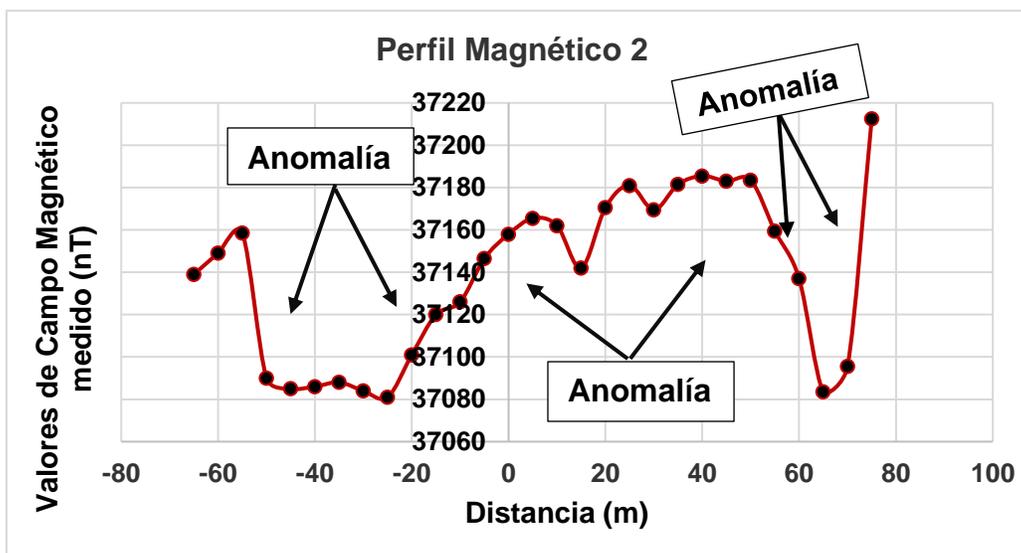
Perfil 1. Se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) en donde se puede observar sus posibles puntos de Anomalía.



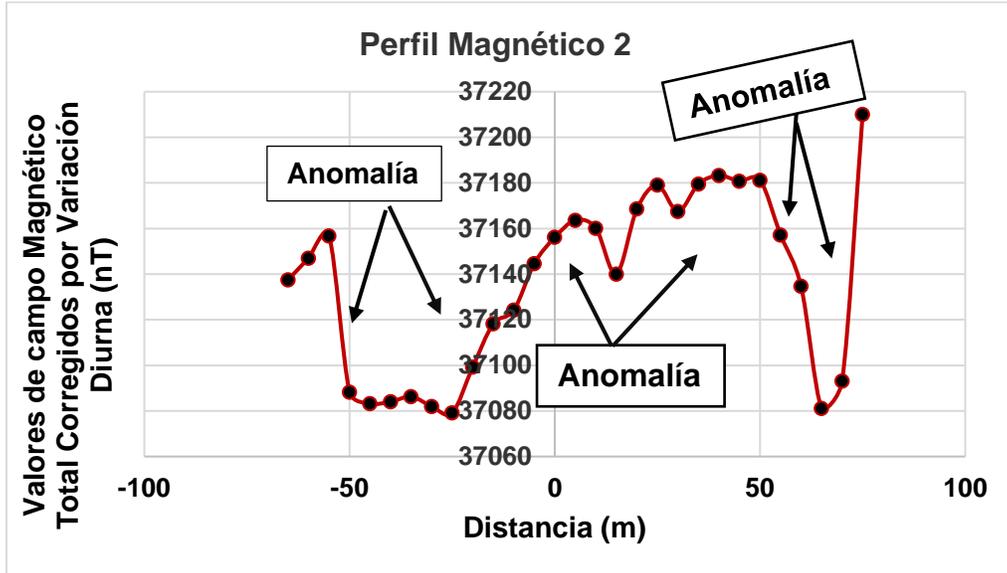
Perfil 1. Se presentan los valores de campo Magnética total (nT) observando sus puntos de Anomalía.



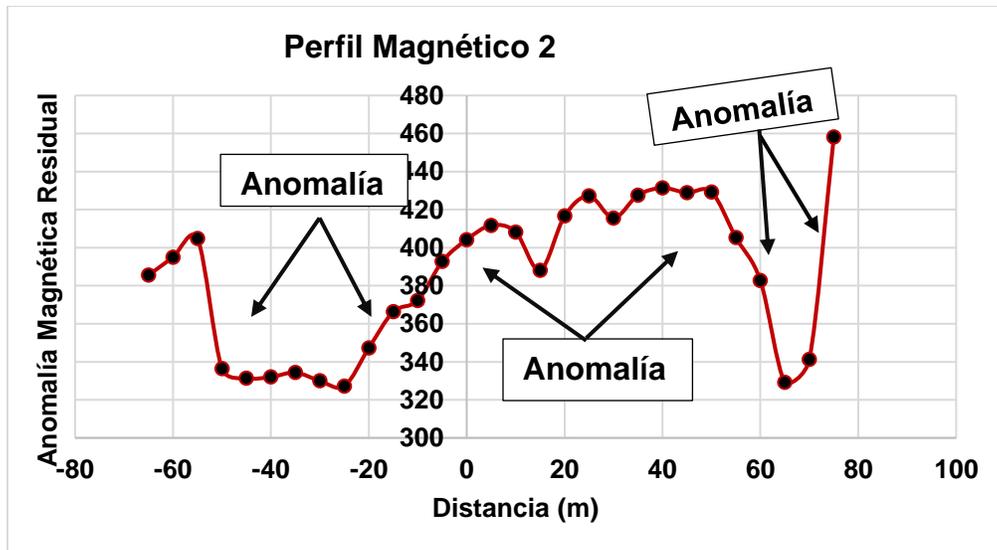
Perfil 1. Se Presenta la Gráfica de Anomalía Magnética Residual mostrando sus posibles puntos de Anomalía.



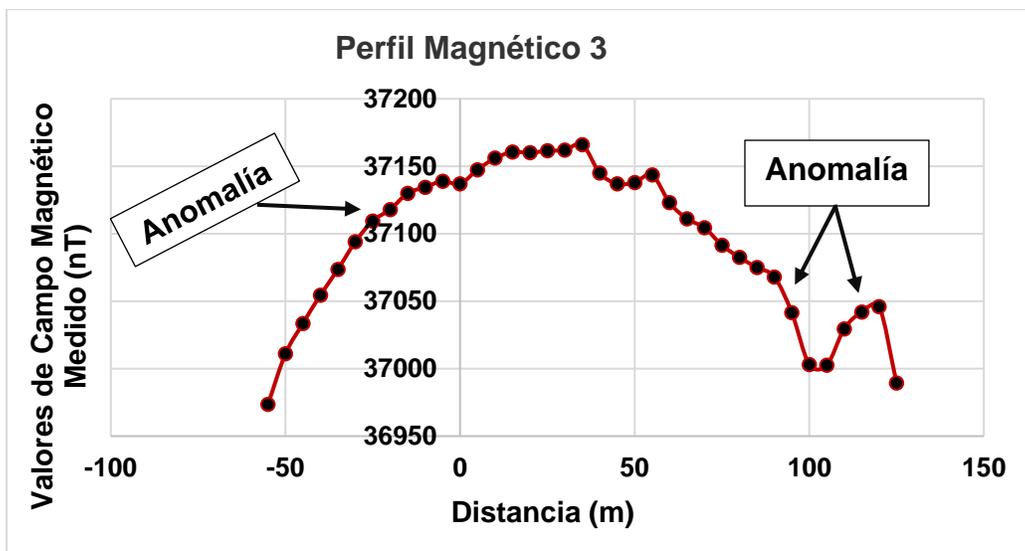
Perfil 2. Se muestra la gráfica de los valores de los datos magnéticos medidos (nT) observando los puntos de gradientes con sus posibles Anomalías.



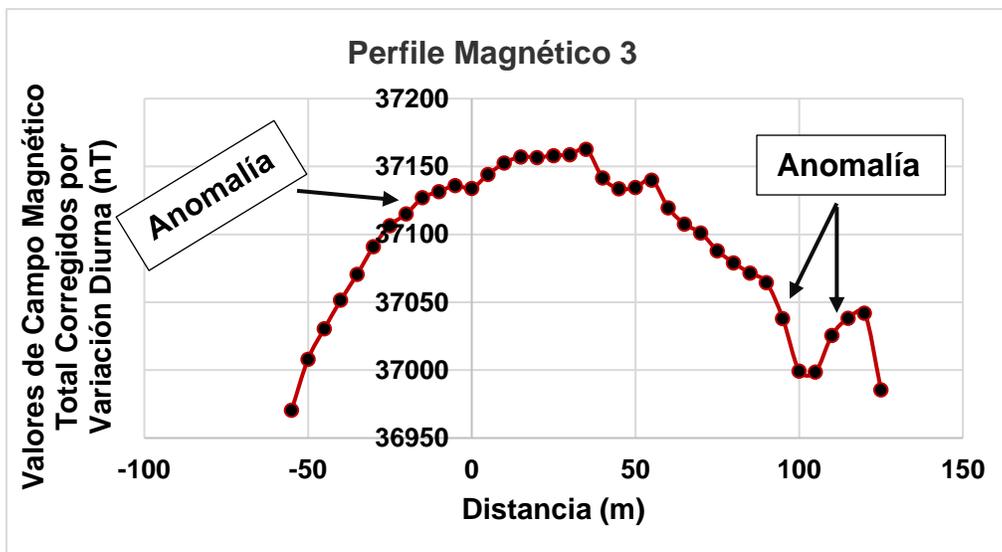
Perfil 2. Se Observa la gráfica de los valores de Campo Magnético total (nT) donde se muestra los puntos de gradientes y las posibles Anomalías.



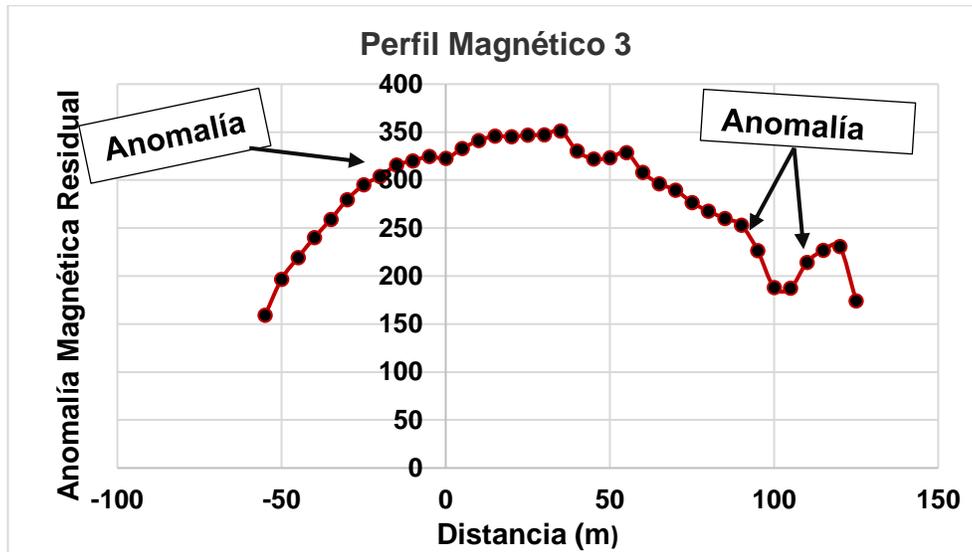
Perfil 2. Se presenta la gráfica de Anomalía Magnética Residual en donde se muestran los puntos de gradientes y las posibles Anomalías.



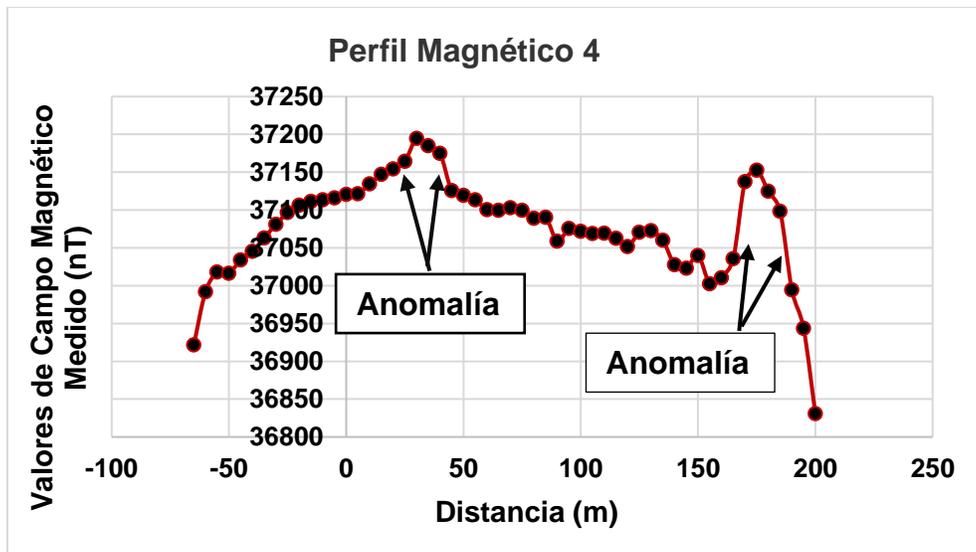
Perfil 3. Se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) mostrando los posibles puntos de Anomalía.



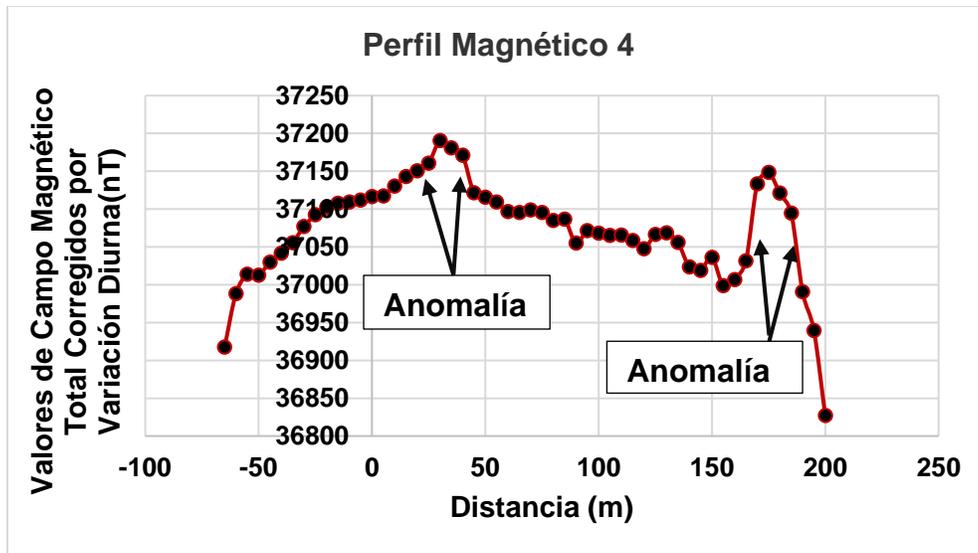
Perfil 3. A continuación se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) presentando los posibles puntos de Anomalías.



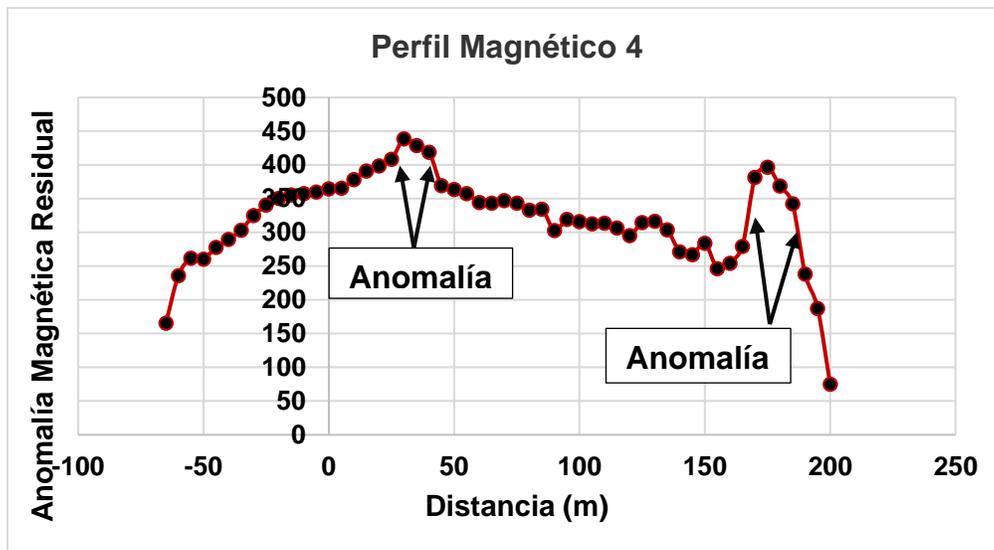
Perfil 4. Se presentan la gráfica de Anomalía Magnética Residual en donde se observan los posibles puntos de Anomalías.



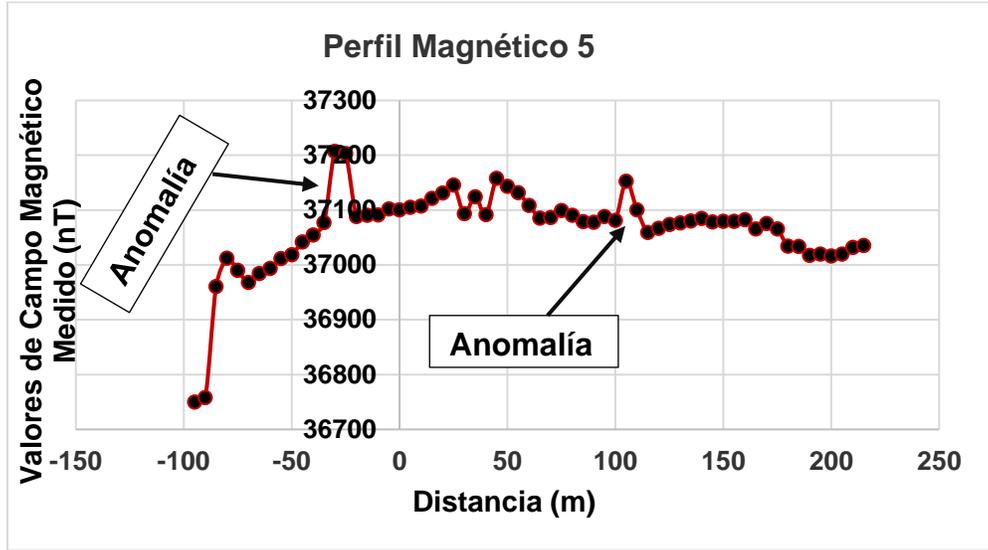
Perfil 4. Se muestra la gráfica de los valores de Campo Magnético Medido (nT) en donde se puede observar los puntos de gradientes y las posibles Anomalías.



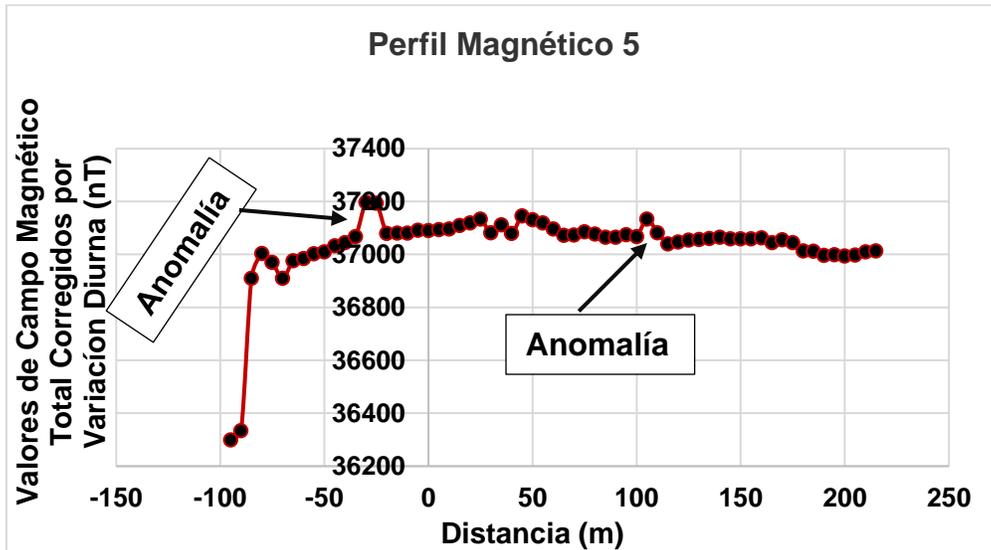
Perfil 4. Se observa la gráfica de los Valores de campo Magnético total (nT) mostrando los puntos de gradientes y posibles Anomalías.



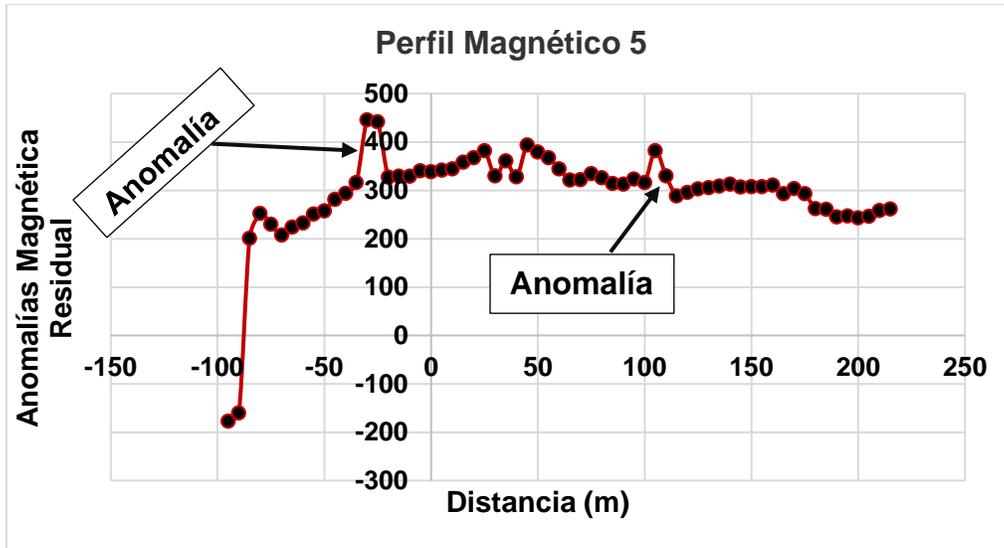
Perfil 4. Se presenta la gráfica de Anomalía Residual en donde se puede observar los puntos de gradientes y las posibles Anomalías.



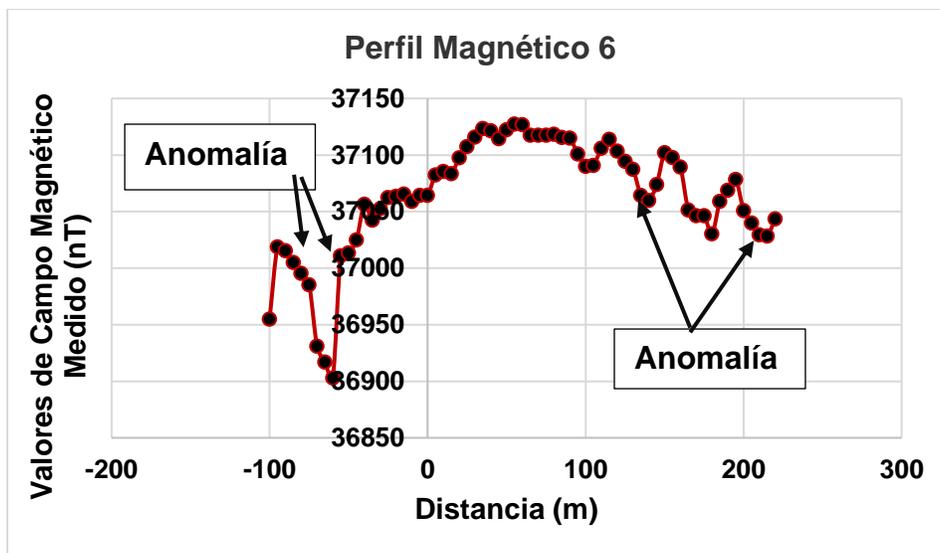
Perfil 5. Grafica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) observando los posibles puntos de Anomalía.



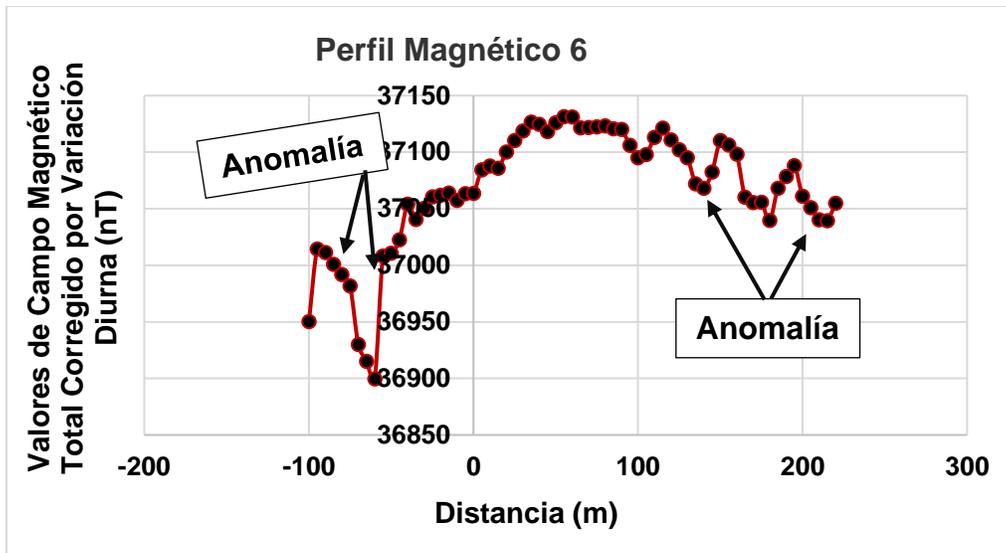
Perfil 5. Se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) indicando los posibles puntos de Anomalía.



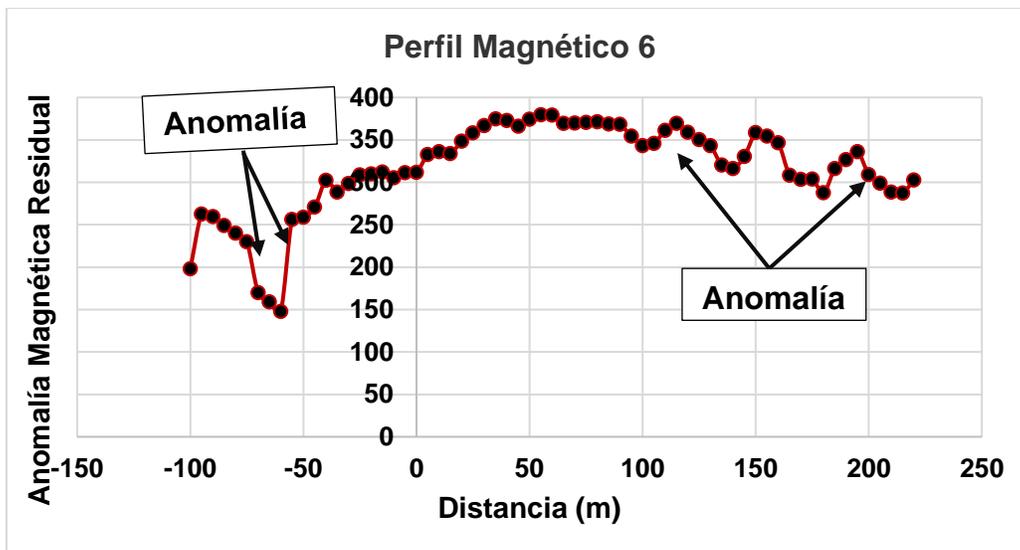
Perfil 5. Se presenta la gráfica de Anomalía Magnética Residual con los posibles puntos de Anomalía.



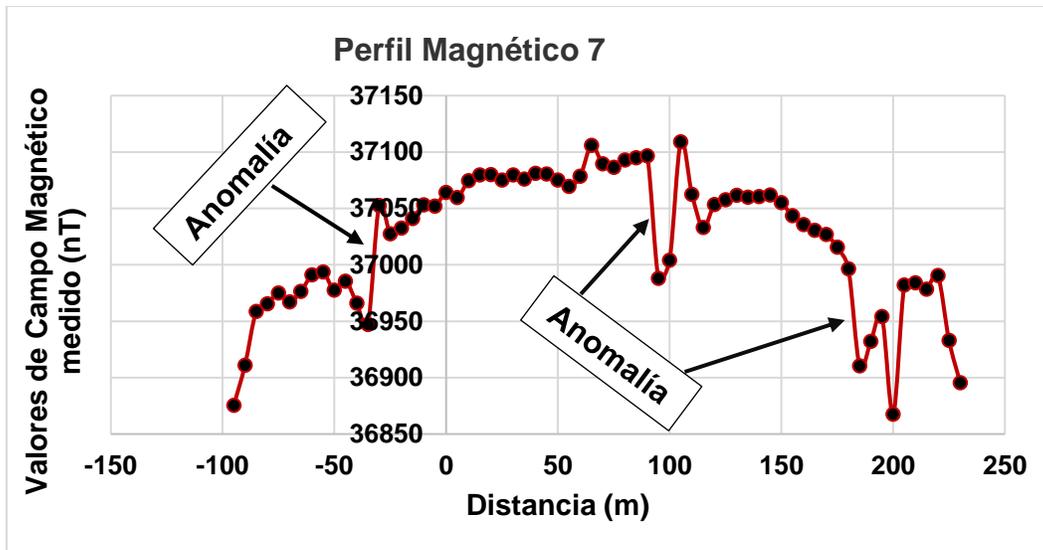
Perfil 6. Gráfica de Valores de Campo Magnético Medido (nT) en donde se indica los posibles puntos de Anomalía.



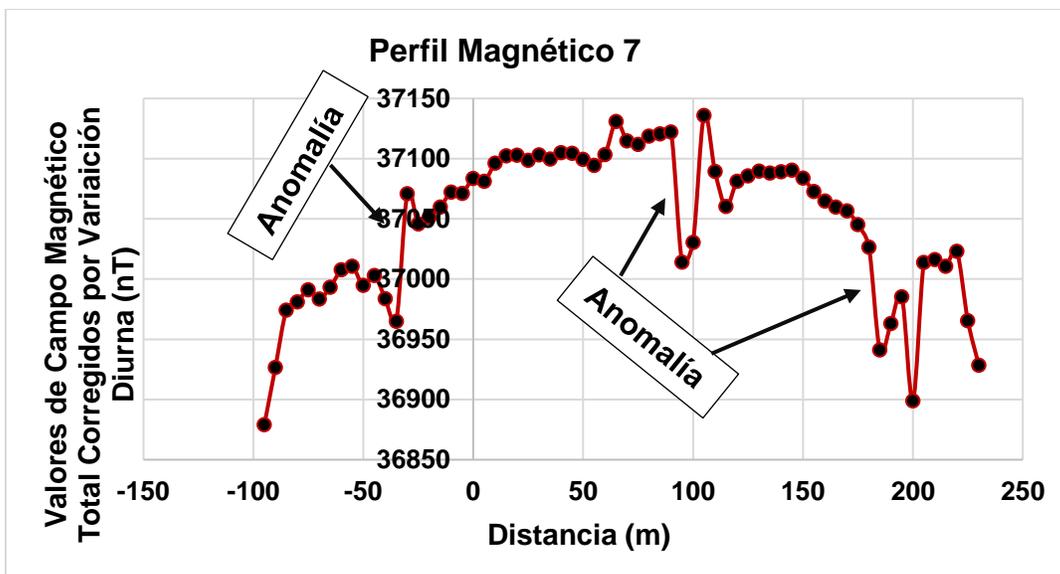
Perfil 6. Gráfica de Valores de Campo Magnético total (nT) indicando los posibles puntos de Anomalías.



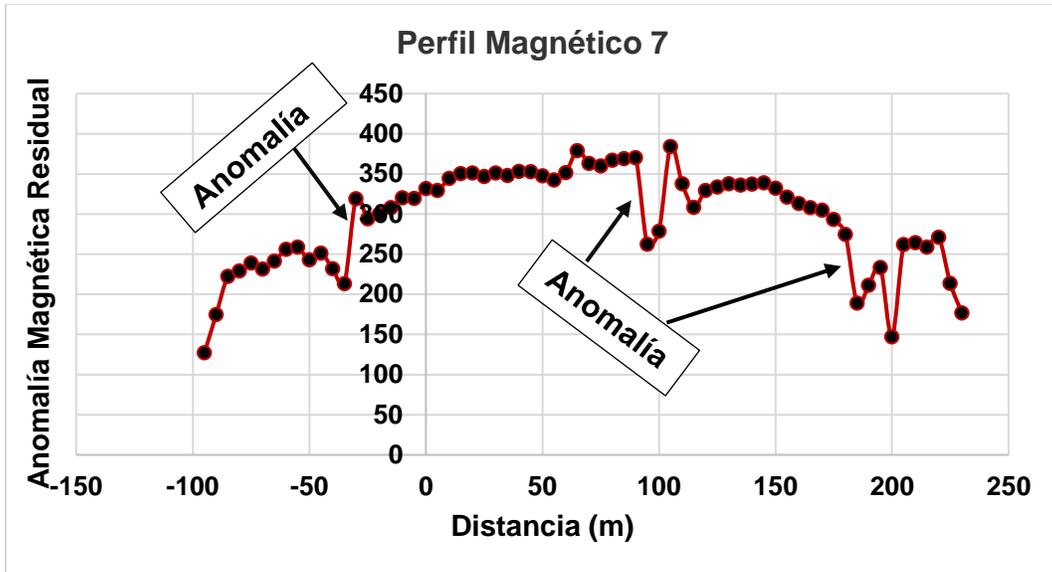
Perfil 6. Se presenta la Gráfica de Anomalía Magnética Residual mostrando los posibles puntos de Anomalía.



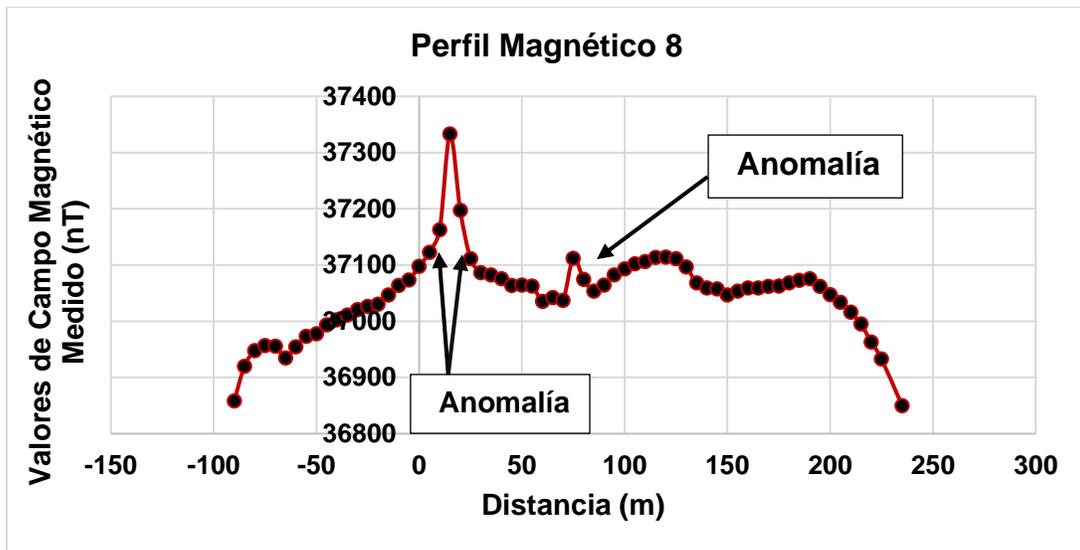
Perfil 7. Gráfica de los Valores de Campo Magnético Medidos (nT) presentando los posibles puntos de Anomalia.



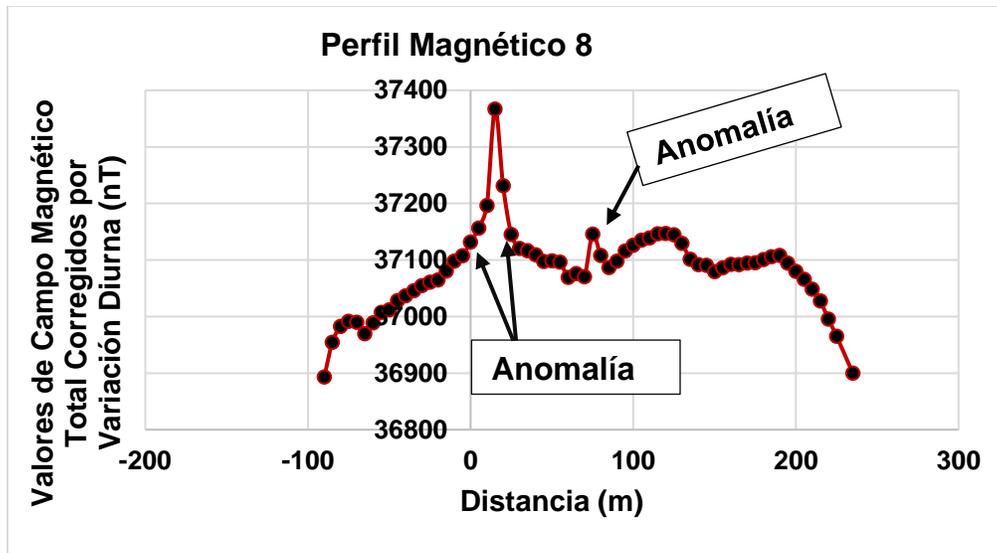
Perfil 7. Se presenta la gráfica de Valores de Campo Magnético total (nT) indicando los posibles puntos de Anomalías.



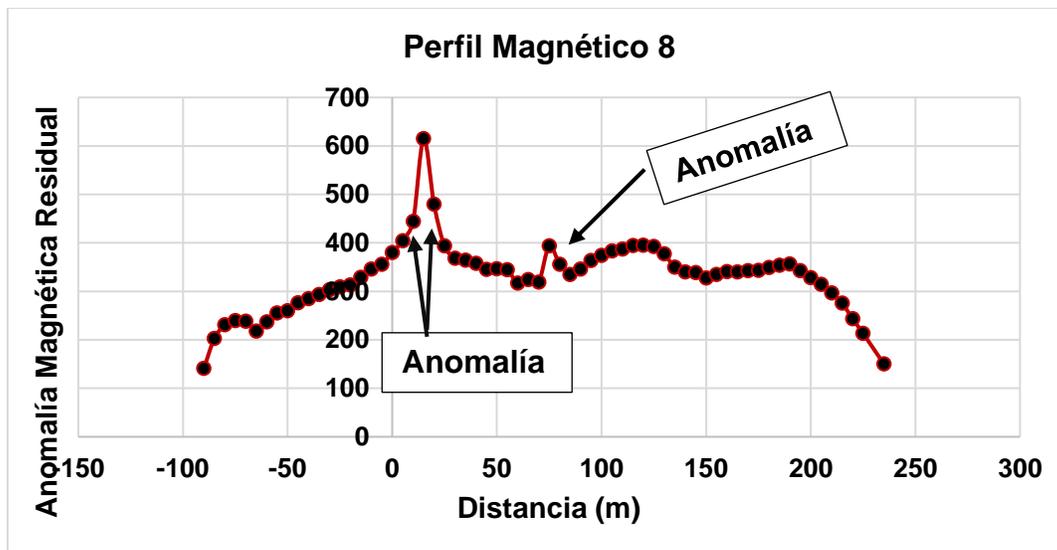
Perfil 7. Gráfica de Anomalía Magnética Residual presentando las posibles Anomalías.



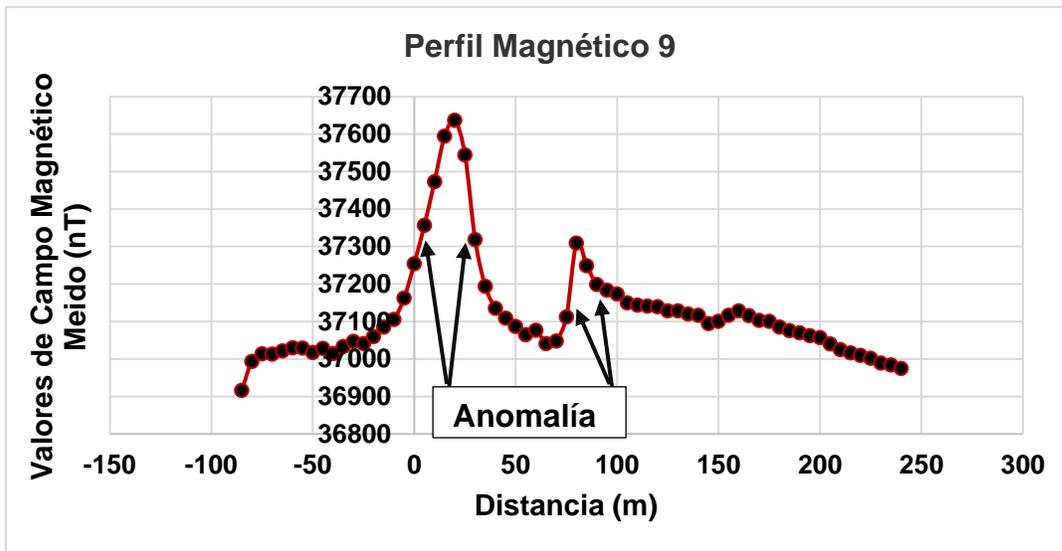
Perfil 8. Se observa la gráfica de Valores de Campo Magnético Medido (nT) con posibles Anomalías.



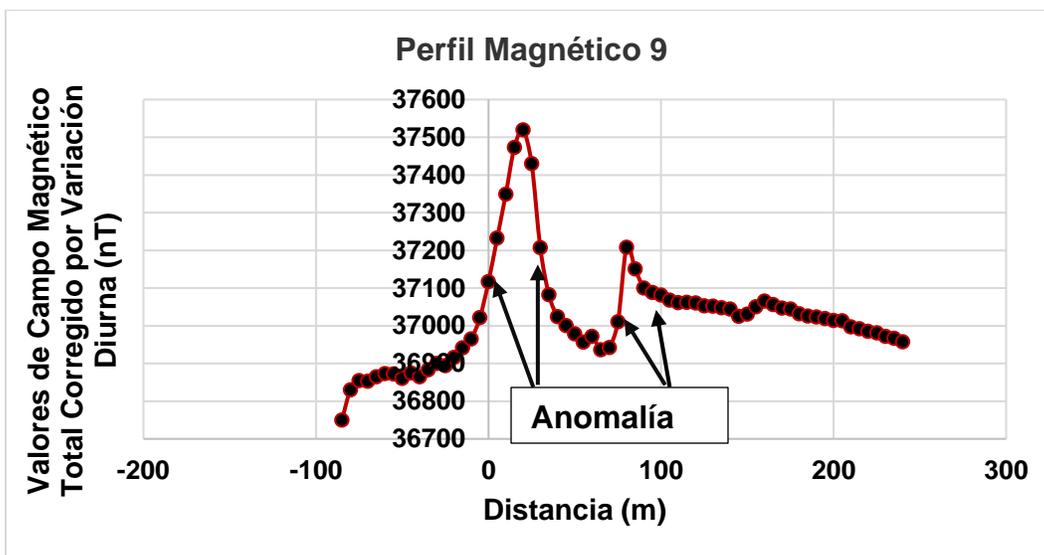
Perfil 8. Grafica de los Valores de Campo Magnético total (nT) indicando sus posibles Anomalías



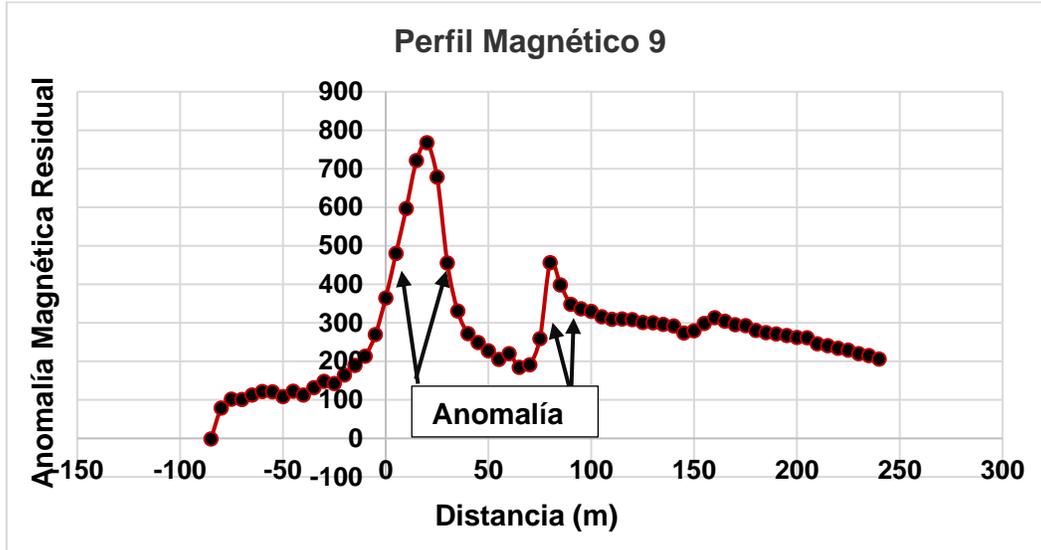
Perfil 8. Gráfica de Anomalia Magnética Residual con sus posibles puntos de Anomalías.



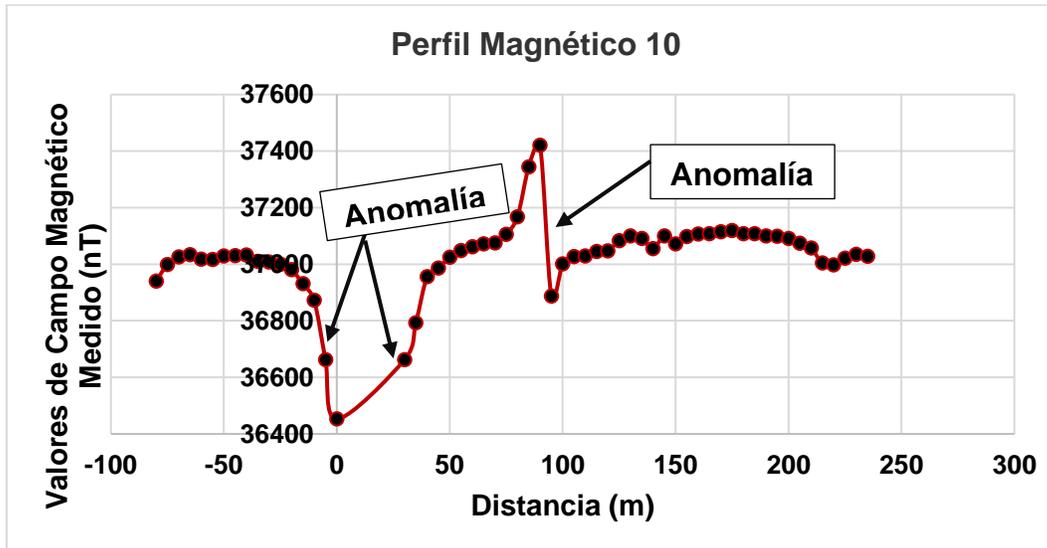
Perfil 9. Se presenta la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) indicando los puntos de gradiente y las posibles Anomalías.



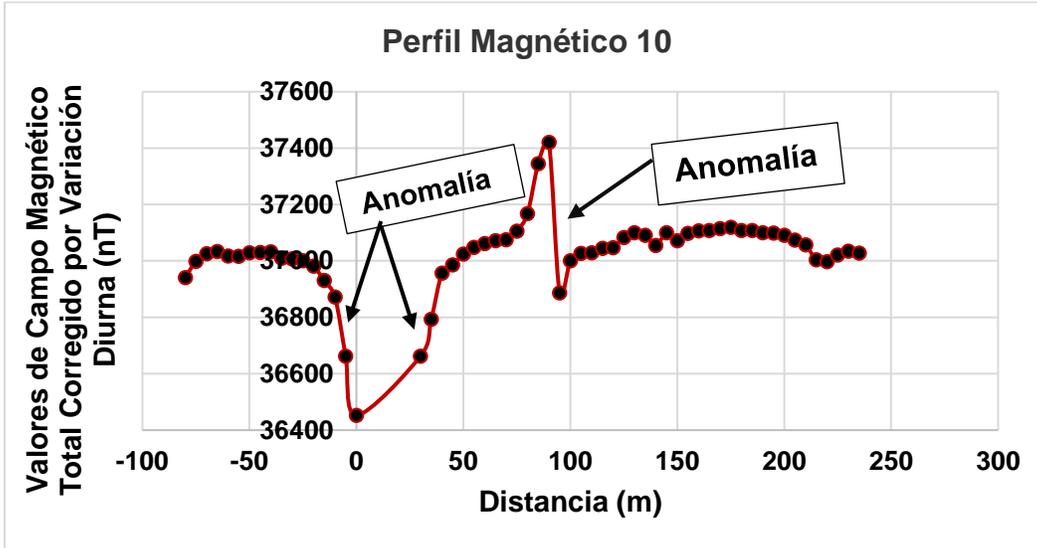
Perfil 9. Gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) mostrando sus posibles Anomalías y sus puntos de gradiente



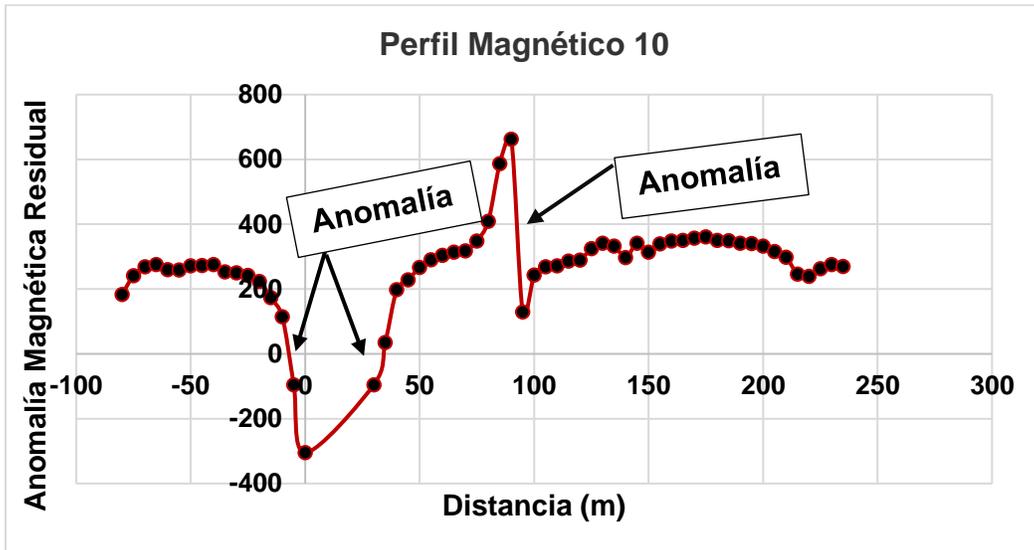
Perfil 9. Gráfica de Anomalía Magnética Residual con sus gradientes y sus puntos de Anomalía.



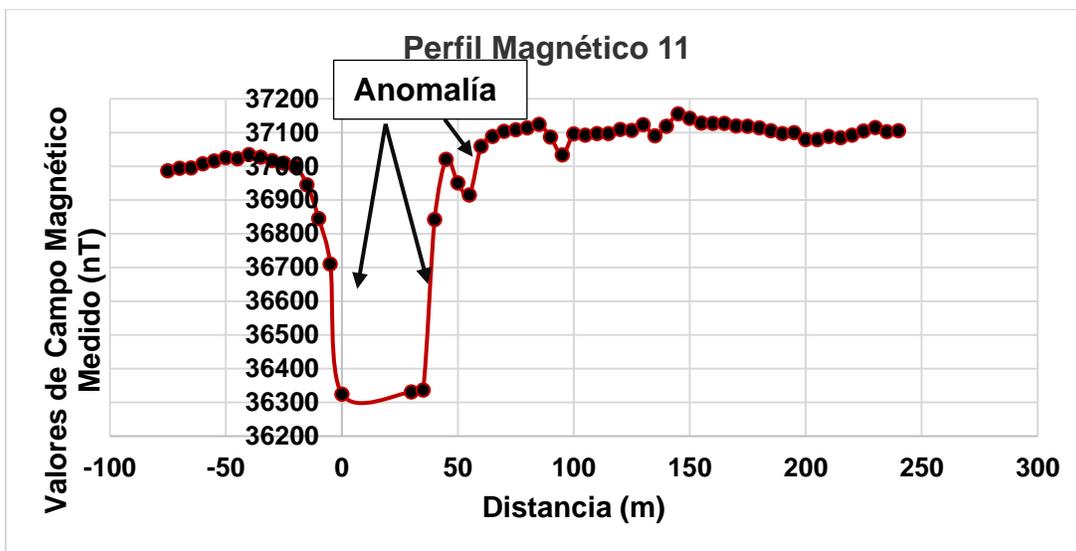
Perfil 10. A continuación se presenta la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) con sus puntos de gradientes y los posibles puntos de Anomalía.



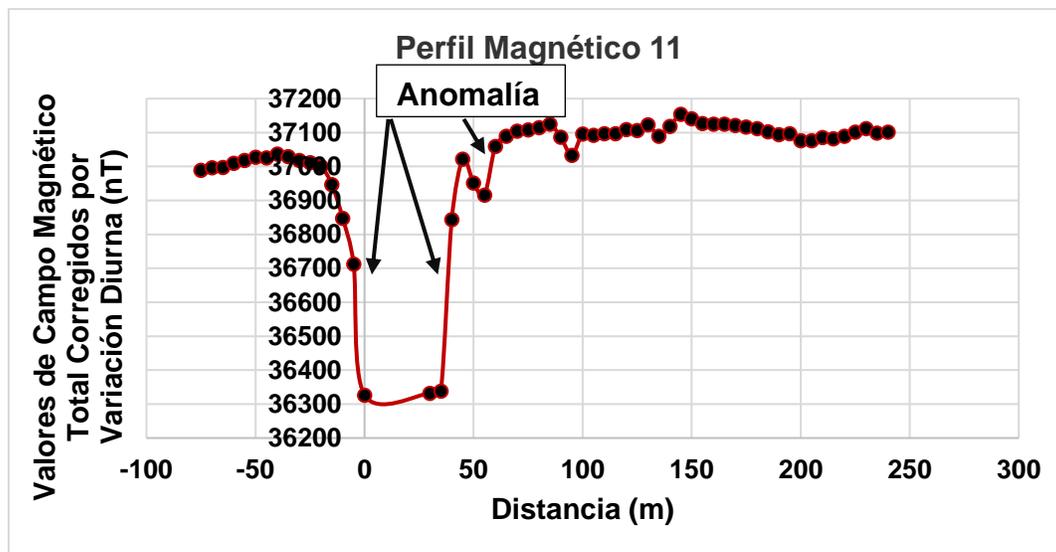
Perfil 10. Gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) con sus posibles puntos de Anomalía e indicando sus gradientes



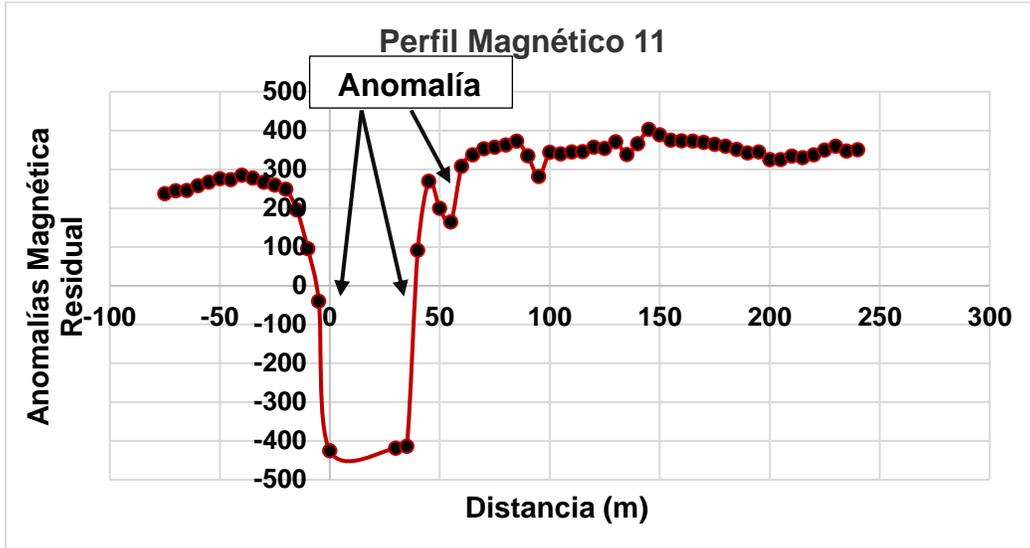
Perfil 10. Se observa la gráfica de Anomalía Magnética Residual mostrando los puntos de gradientes y posibles Anomalías.



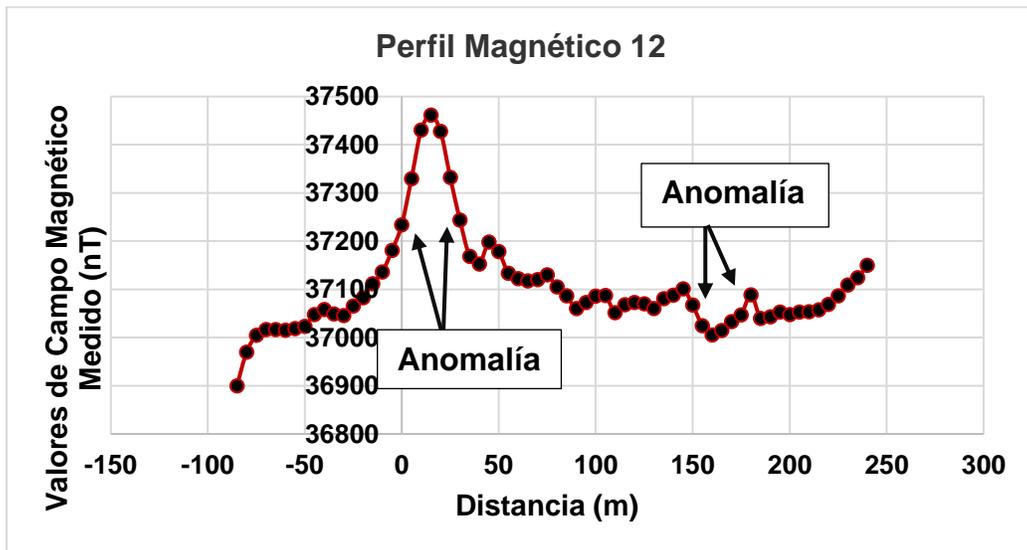
Perfil 11. Se muestra la gráfica de Valores de Campo Magnético Medido (nT) indicando sus posibles Anomalías.



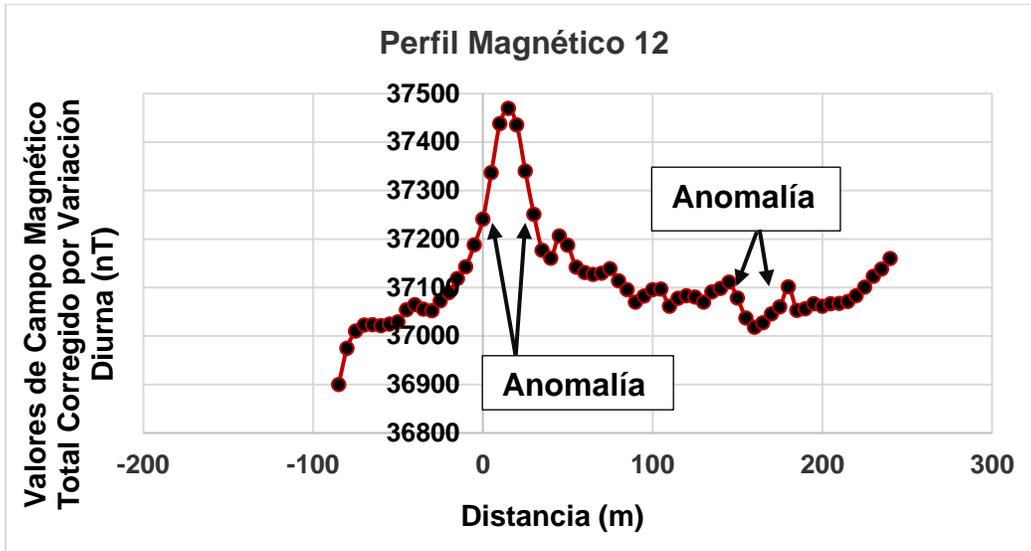
Perfil 11. Gráfica de Valores de Campo Magnético total (nT) con sus posibles Anomalías.



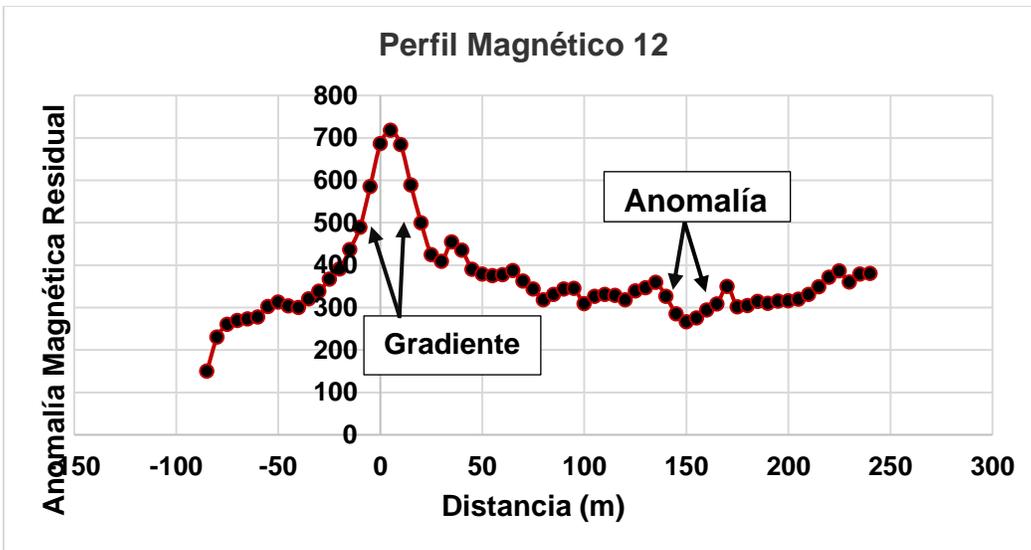
Perfil 11. Se muestra la gráfica de Anomalía Magnética Residual (nT) mostrando las posibles Anomalías.



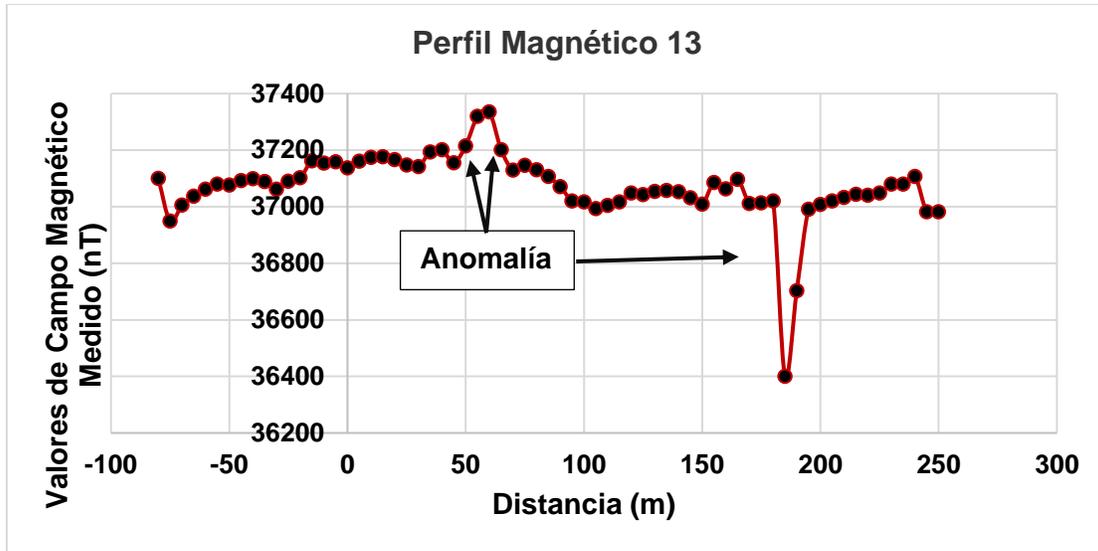
Perfil 12. Gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) donde se muestran sus puntos de gradientes y las posibles Anomalías.



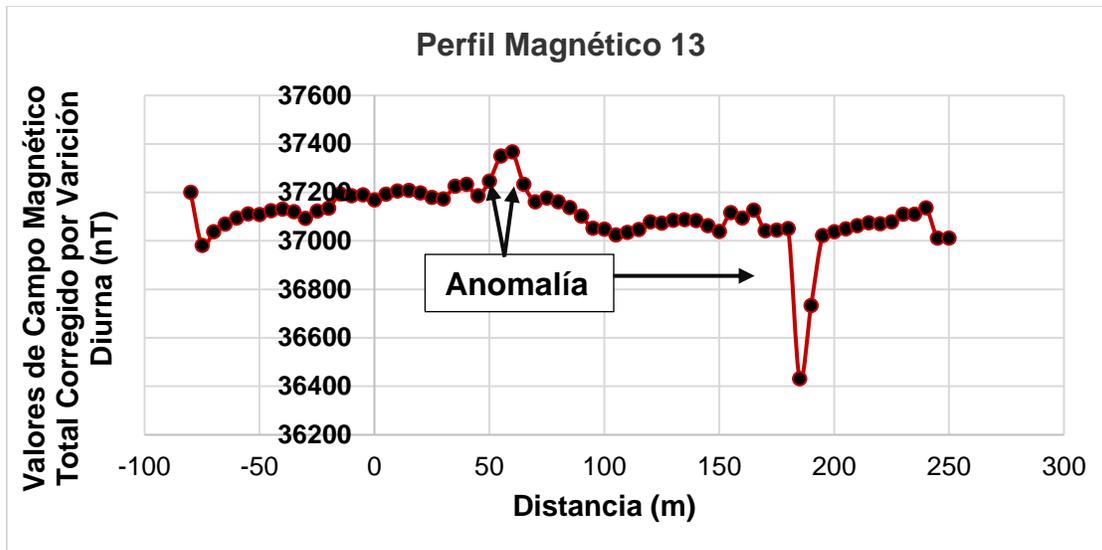
Perfil 12. Se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) en donde se indican las posibles Anomalías y puntos de gradientes.



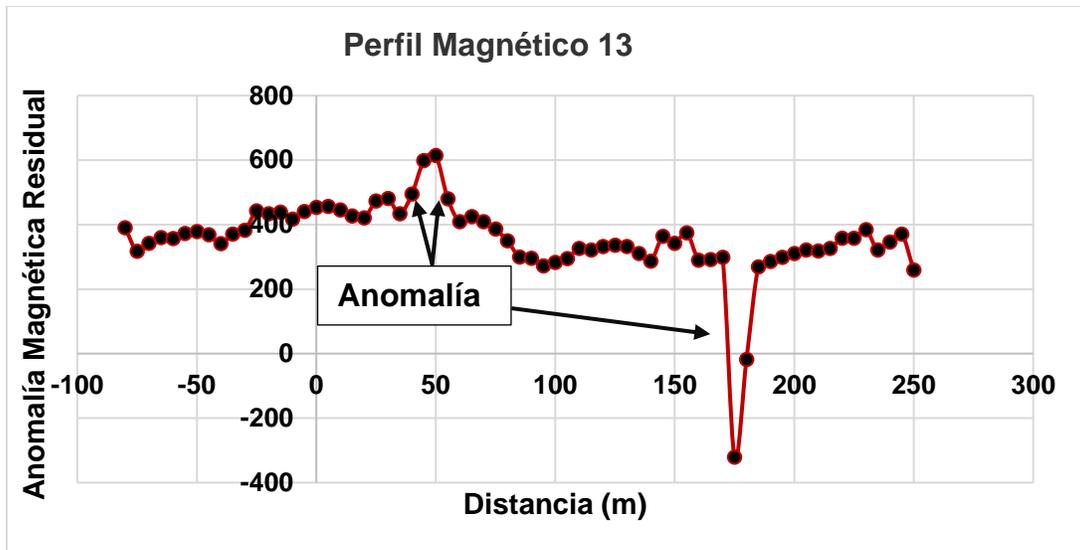
Perfil 12. Se muestra la gráfica de Anomalia Magnética Residual con sus posibles puntos de Anomalia y sus puntos de gradiente.



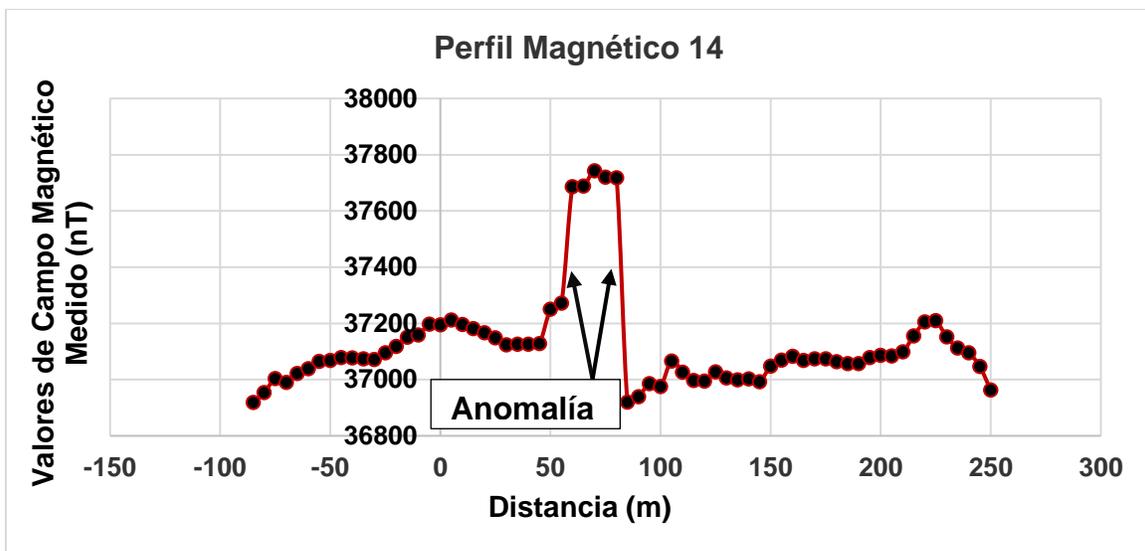
Perfil 13. Gráfica de Valores de Campo Magnético Medido (nT) indicando las posibles Anomalías.



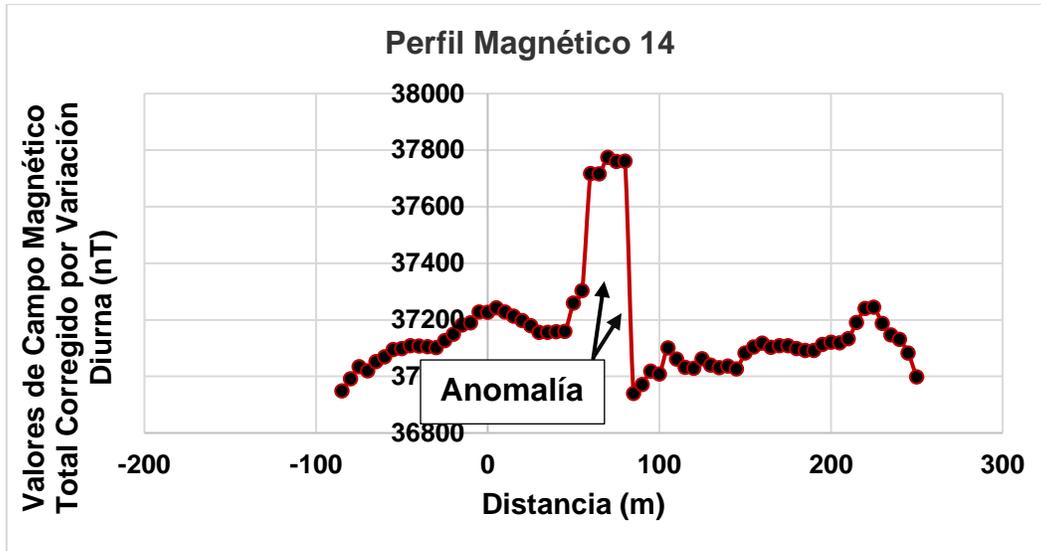
Perfil 13. Se presenta la gráfica de Valores de Campo Magnético total (nT) en donde se muestra las posibles Anomalías.



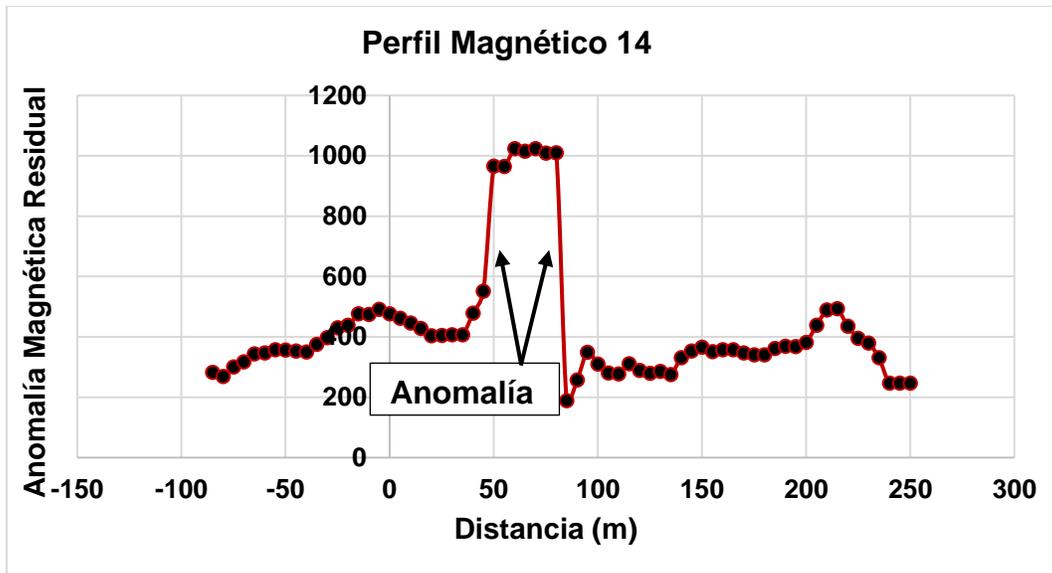
Perfil 13. Seguidamente se presenta la gráfica de Anomalia Magnética Residual en donde se observa las posibles Anomalías.



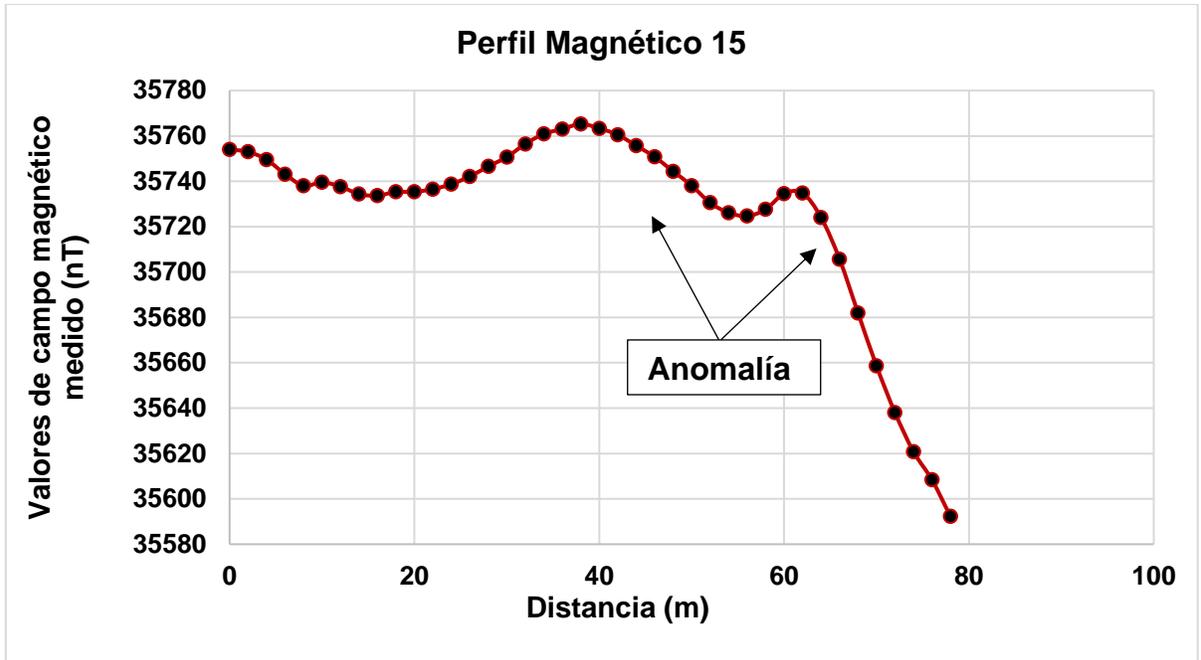
Perfil 14. Se observa la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) mostrando los posibles puntos de Anomalia.



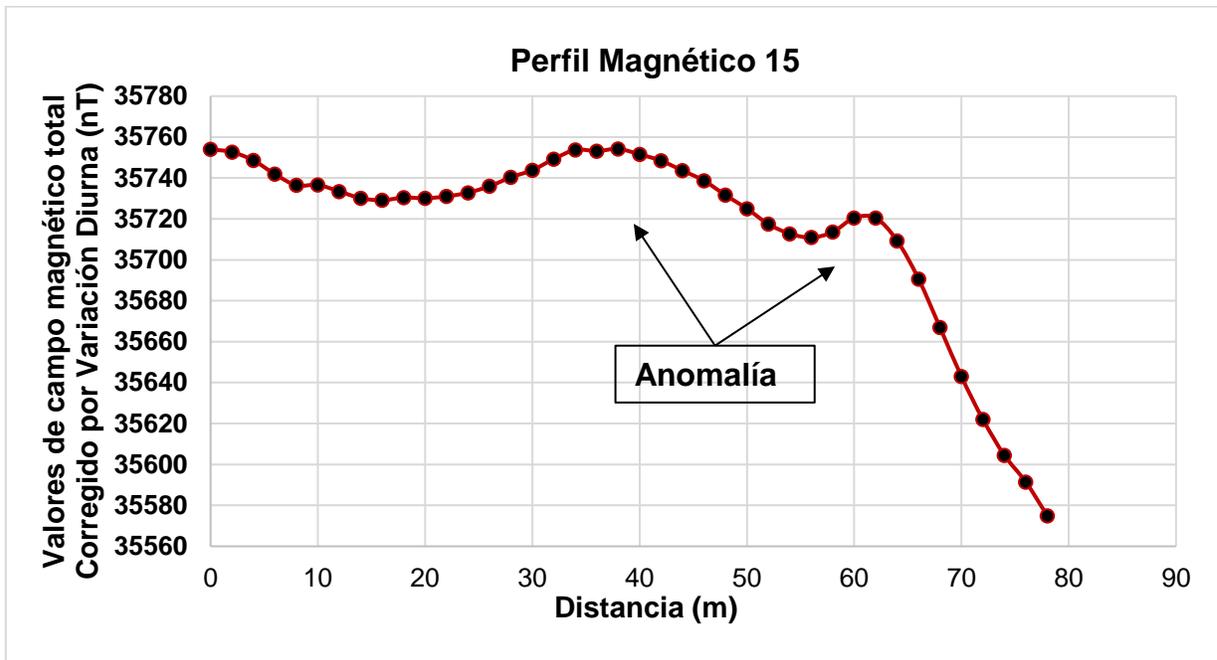
Perfil 14. Se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético total (nT) presentando los puntos de Anomalías.



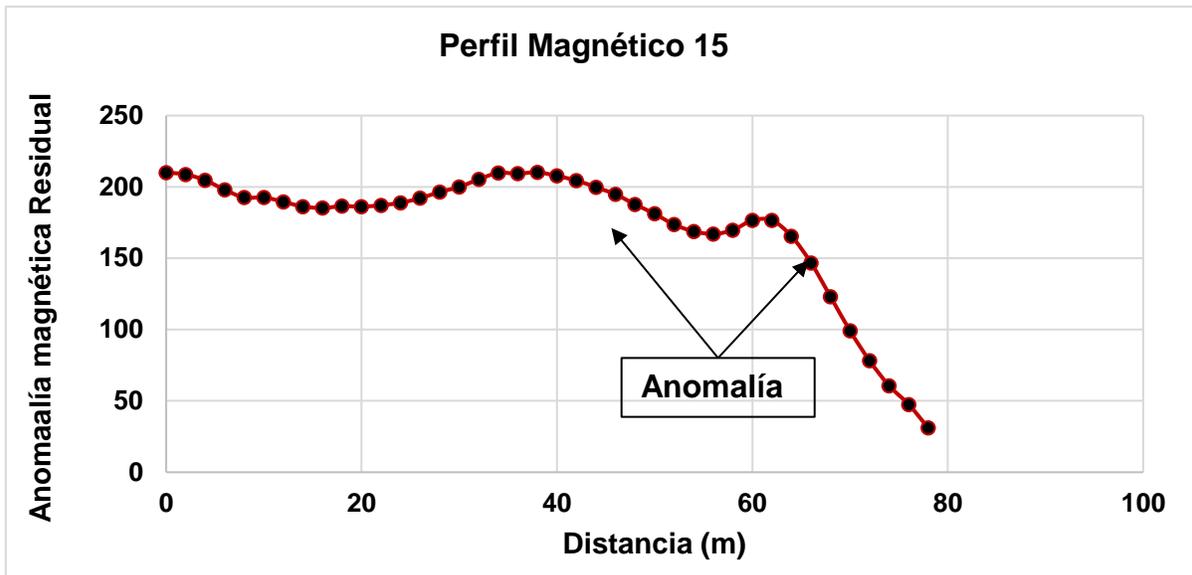
Perfil 14. Gráfica de Anomalía Magnética Residual indicando los posibles puntos de Anomalías.



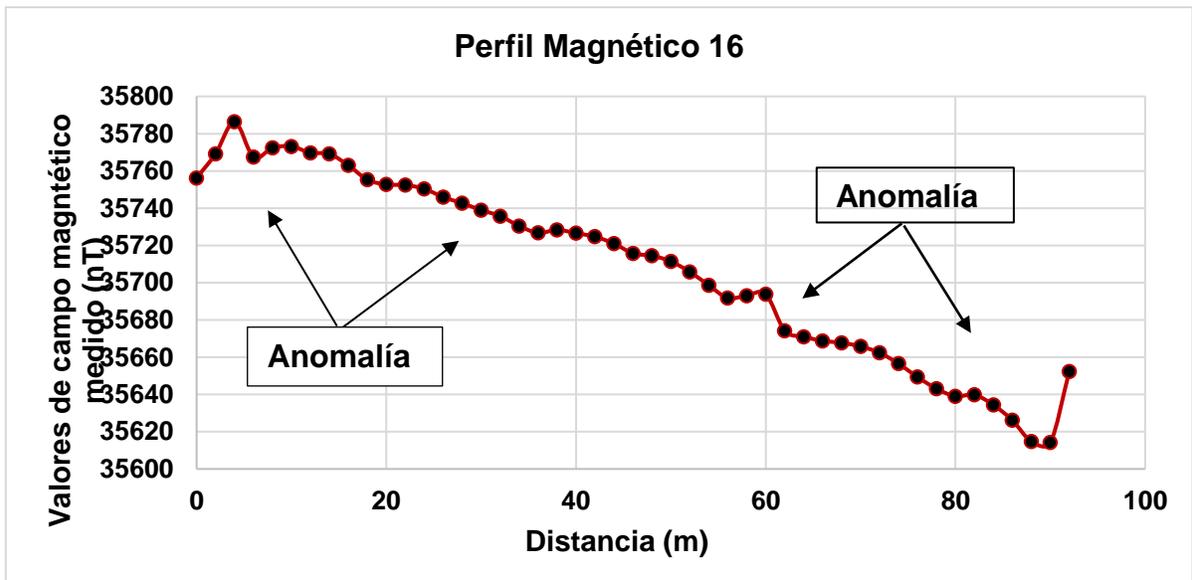
Perfil 15. Se observan los valores de campo magnético medido (nT) y se muestra los puntos de gradientes y las posibles anomalías.



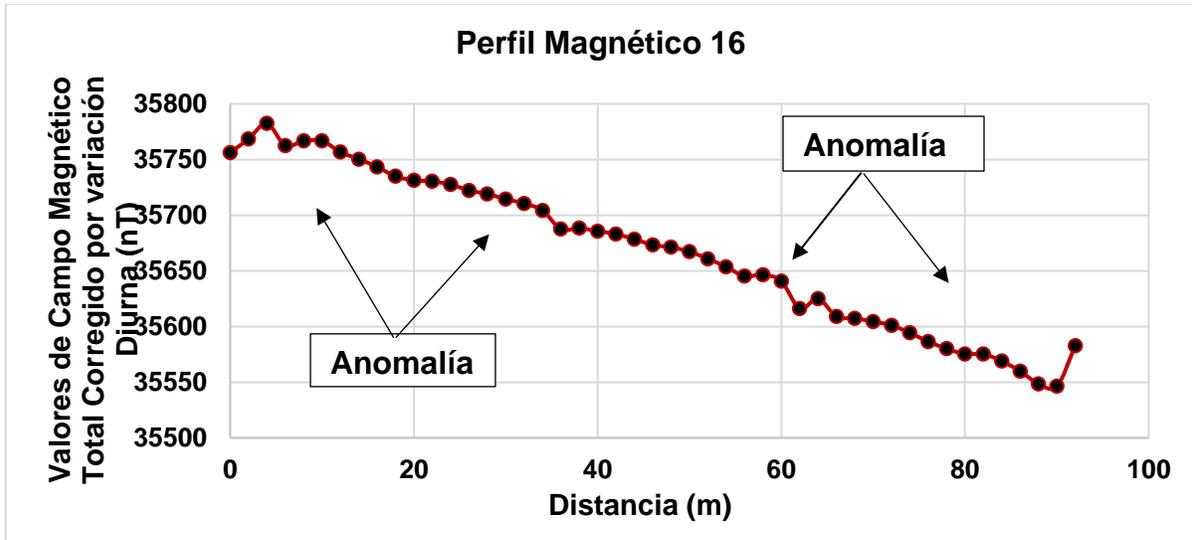
Perfil 15. Se presentan en la gráfica los valores de campo magnéticos corregidos por variación diurna (nT) y se muestra los puntos gradiente y posible anomalía.



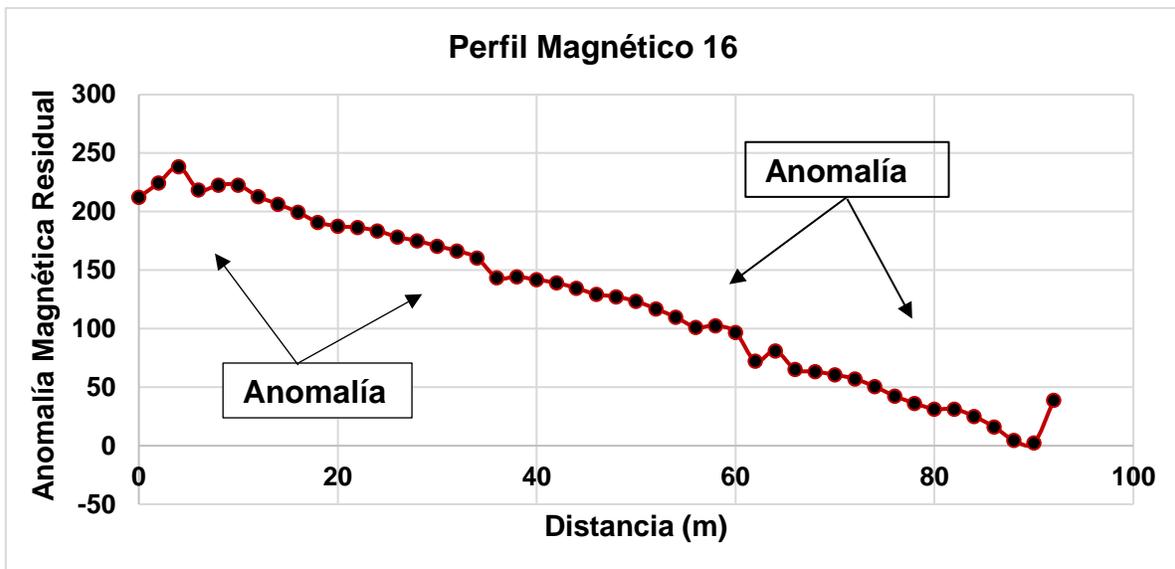
Perfil 15. Se muestra la gráfica de anomalía magnética residual, donde se observa los puntos gradiente y posible anomalía.



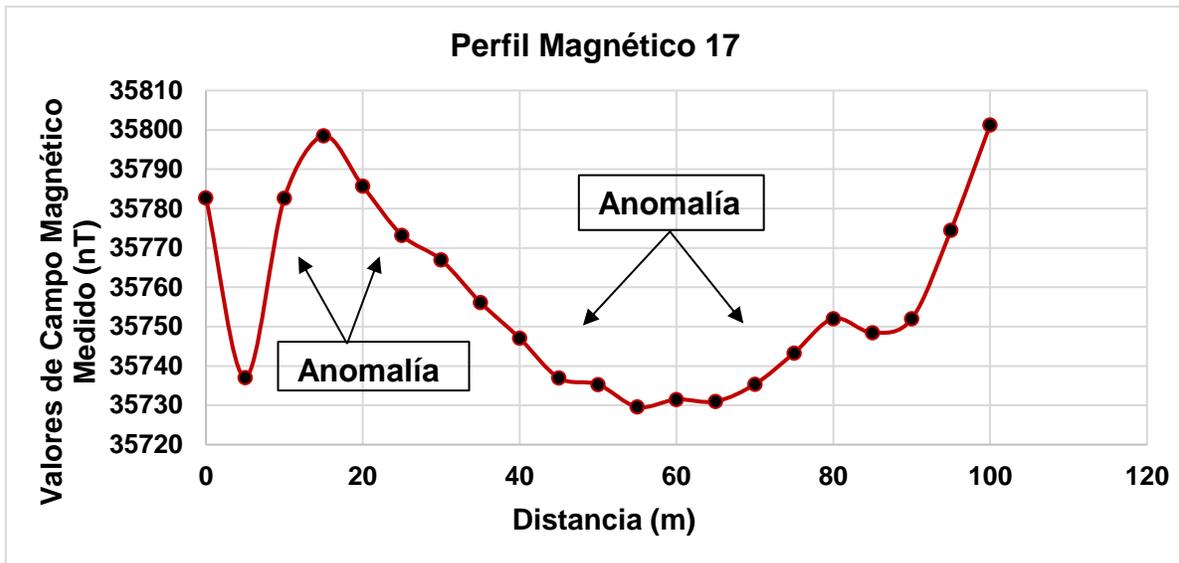
Perfil 16. Se observan los valores de campo magnético medido (nT) y se muestra los puntos de gradientes y las posibles anomalías.



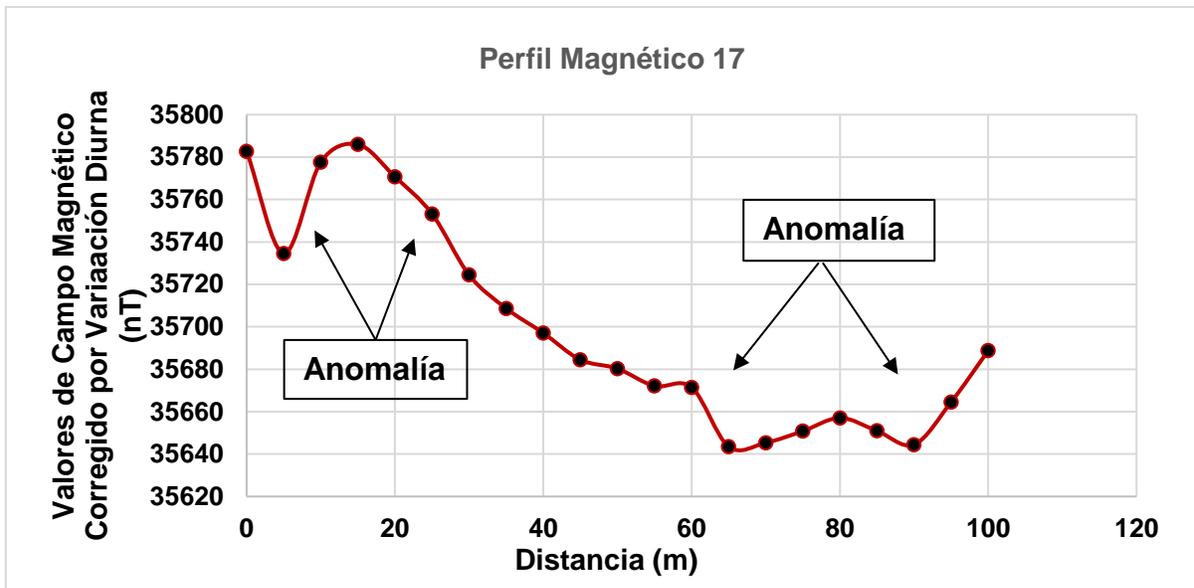
Perfil 16. Se presentan en la gráfica los valores de campo magnéticos corregidos por variación diurna (nT) y se muestra los puntos gradiente y posible anomalía.



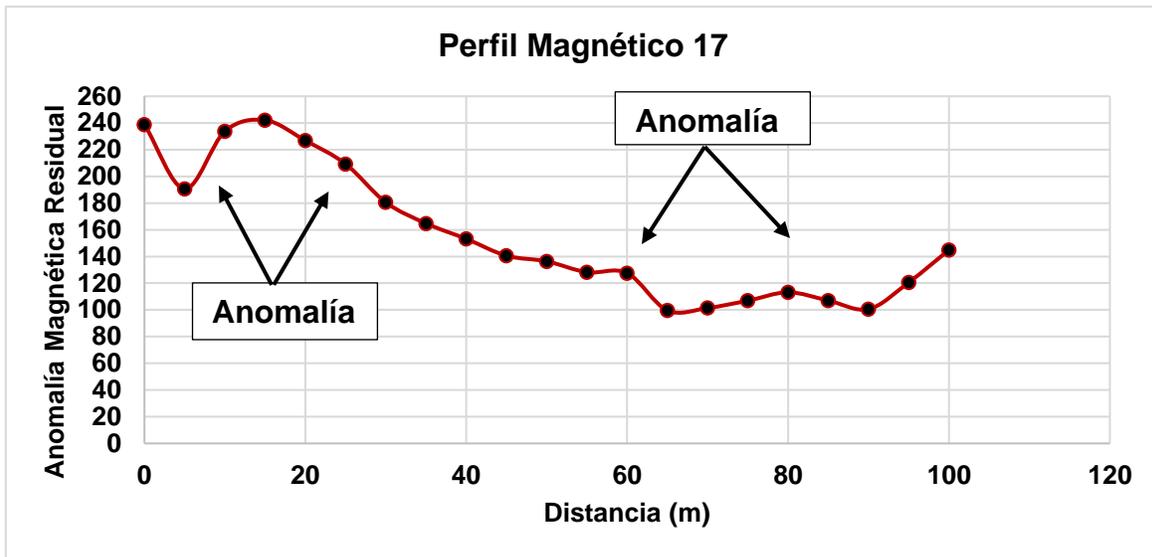
Perfil 16. Se muestra la gráfica de anomalía magnética residual, donde se observa los puntos gradiente y posible anomalía.



Perfil 17. Se observan los valores de campo magnético medido (nT) y se muestra los puntos de gradientes y las posibles anomalías.



Perfil 17. Se presentan en la gráfica los valores de campo magnéticos corregidos por variación diurna (nT) y se muestra los puntos gradiente y posible anomalía.



Perfil 17. Se muestra la gráfica de anomalía magnética residual, donde se observa los puntos gradiente y posible anomalía.

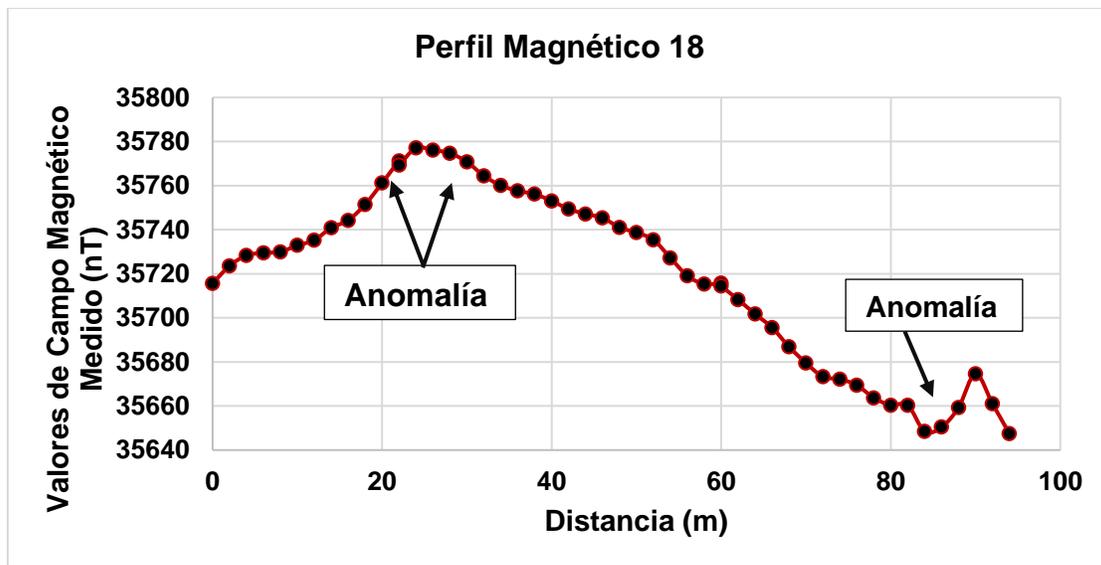


Figura 18. Seguidamente se muestra la gráfica de los Valores de Campo Magnético Medido (nT) en donde se muestran los posibles puntos Anómalos

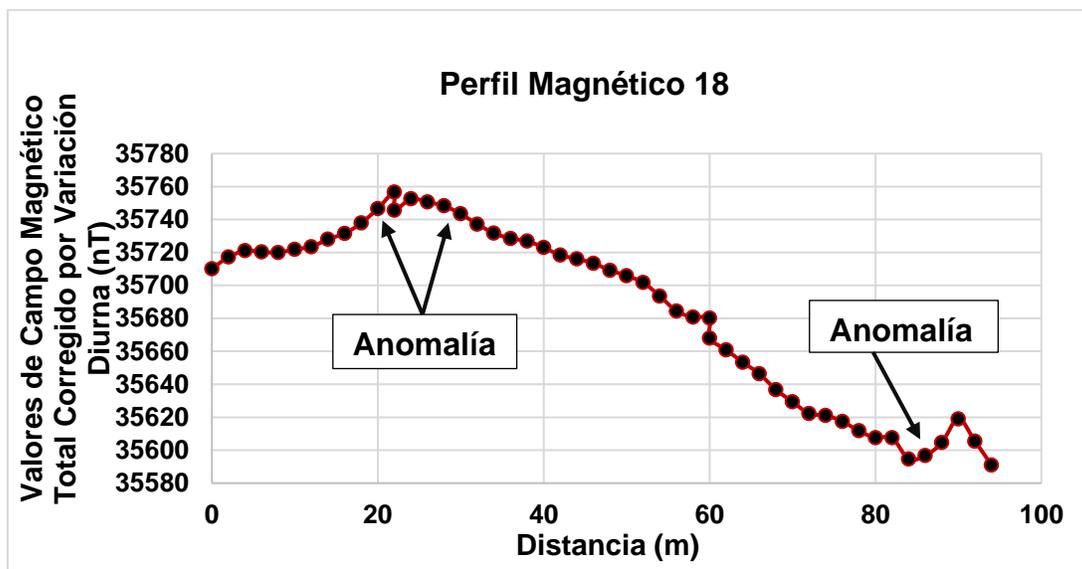


Figura 18. Se presenta la gráfica de los Valores de Campo Magnético Total (nT) en donde se pueden observar algunos posibles puntos de Anomalías

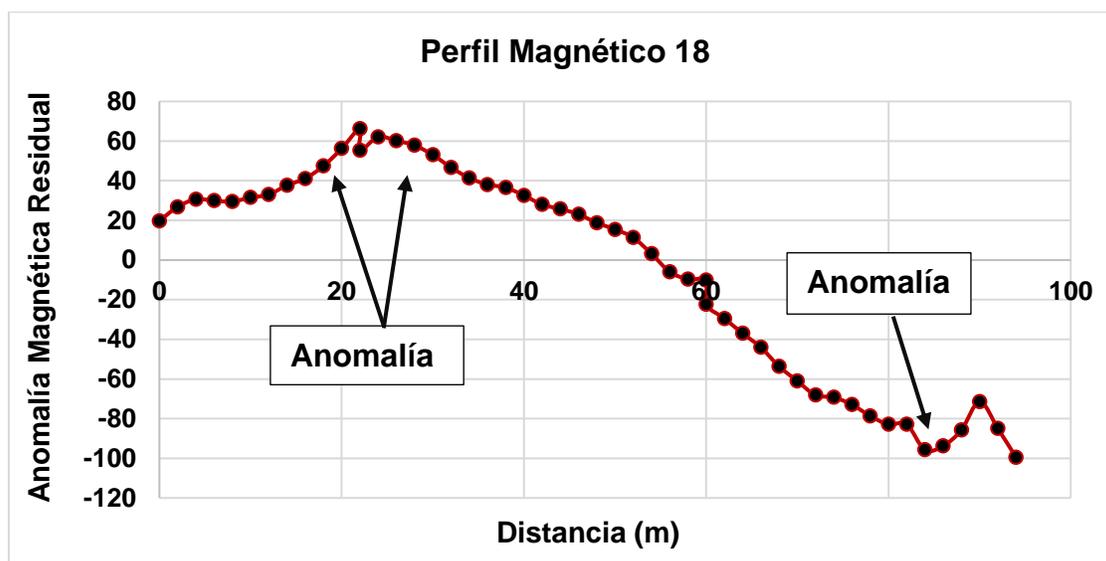


Figura 18. Se muestra la gráfica de Anomalía Magnética Residual indicando los posibles puntos Anómalos