

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE, UBICADA EN LA PROVINCIA DE ESMERALDAS, CANTÓN MUISNE, RECINTO MOMPICHE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

JAIME CARLOS DÍAZ CASTRO
jcarlos.diazcastro@gmail.com

DIRECTOR: GEÓL. JHONNY JOSÉ HERRERA GARCÍA
jherrera@grannacionalminera.com

CO-DIRECTORA: ING. HALINA ZOFIA LACHOWICZ
halina.lachowicz@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2013

DECLARACIÓN

Yo Jaime Carlos Díaz Castro, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Jaime Carlos Díaz Castro

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jaime Carlos Díaz Castro, bajo mi supervisión.

Geól. Jhonny José Herrera García
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M., por su apoyo total a lo largo de la ejecución de este proyecto y en especial a Jhonny Herrera por aceptar dirigirlo y darme siempre los consejos necesarios para avanzar con su ejecución.

Al Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional, a sus profesores por las enseñanzas recibidas pero en especial a la Ing. Rocío López por su don de gente en todo momento, sabiendo comprender las necesidades que cualquier estudiante debe afrontar en la vida universitaria y por haberme hecho conocer diversos lugares hermosos del país en todas las giras que a bien supo organizar.

A mis compañeros y amigos de la u, con los que se compartió tantas vivencias en este tiempo y de todos los tipos posibles. Realmente esta etapa universitaria no habría sido la misma sin todos ustedes mis Viejos Amigos y claro está sin tantos Jueves Culturales en los que compartimos todo tipo de situaciones.

A mis amigos de toda la vida, mis vagos del barrio, por estar ahí siempre para sacarme una risa y demostrarme que existe gente que está en las buenas y en las malas y que a pesar de varios malos momentos vividos siempre se puede arrimar el hombro y dar fuerzas al que lo necesita para seguir adelante en la vida.

Y a mi querida familia, por estar siempre a mi lado y ser un apoyo total en cualquier momento, especialmente a esas 4 personas, que están un poco lejos ahora pero con las que llegado el momento nos reuniremos nuevamente, infinitas gracias viejitos queridos por todo lo que a lo largo de su vida nos enseñaron a todos.

DEDICATORIA

A dios y a la vida, por haberme puesto en el lugar preciso a lo largo de todo el tiempo de mi existencia; porque esto me llevó a ser parte de una familia espectacular.

A mis hermanos Silvana, Mary y Ramiro; que me aguantaron en todo momento y supieron lidiar conmigo y mis ideas, sé que en muchos momentos no debió ser fácil, pero siempre han estado ahí para aconsejarme, gracias por todo ñaños.

Pero en especial a mi mamá, Marianita de Jesús, por haber hecho este sueño posible a pesar de los sacrificios que tuviste que hacer en tu vida; este logro es tuyo mamita querida.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE MAPAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 JUSTIFICACIONES	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 ALCANCE	4
1.4.1 HIPÓTESIS DE ESTUDIO	5
1.5 ÁREA DE ESTUDIO	5
1.5.1 UBICACIÓN	5
1.5.2 MORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
1.5.3 HIDROLOGÍA	6
1.5.4 CLIMA Y VEGETACIÓN	9
1.5.5 ASPECTOS SOCIALES	10
1.5.6 ACCESOS	11
1.5.7 MAPA TOPOGRÁFICO BASE	13

1.5.8 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	13
1.6 METODOLOGÍA	16
1.7 TRABAJOS ANTERIORES.....	18

CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA REGIONAL	21
2.1 INTRODUCCIÓN	21
2.2 GEODINÁMICA ACTUAL	24
2.3 GEOMORFOLOGÍA DE LA COSTA.....	26
2.4 GEOLOGÍA DEL BASAMENTO DE LA COSTA NORTE	27
2.4.1 FORMACIÓN PIÑÓN (APTIANO – ALBIANO)	28
2.4.2 FORMACIÓN ZAPALLO (EOCENO MEDIO - SUPERIOR).....	30
2.5 GEOLOGÍA DE LAS UNIDADES NEÓGENAS DE LA COSTA NORTE	30
2.5.1 FORMACIÓN PAMBIL (OLIGOCENO SUPERIOR – MIOCENO INFERIOR).....	30
2.5.2 FORMACIÓN VICHE (MIOCENO INFERIOR - MEDIO)	31
2.5.3 FORMACIÓN ANGOSTURA (MIOCENO MEDIO).....	32
2.5.4 FORMACIÓN ONZOLE (MIOCENO TARDÍO – PLIOCENO)	32
2.5.5 FORMACIÓN BORBÓN (PLIOCENO - PLEISTOCENO TEMPRANO) 33	
2.5.6 FORMACIÓN TABLAZO (PLEISTOCENO)	34
2.5.7 DEPÓSITOS ALUVIALES Y TERRAZAS (CUATERNARIO)	34
2.6 EVOLUCIÓN TECTÓNICA.....	34
2.6.1 ACRECIÓN DE TERRENOS ALÓCTONOS	37
2.6.2 LEVANTAMIENTO DE LA CORDILLERA COSTERA.....	38

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
3.1 INTRODUCCIÓN	40
3.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	41
3.3 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	43
3.3.1 FORMACIÓN ONZOLE INFERIOR (Mioceno Tardío) (Mio)	65
3.3.2 DEPÓSITOS MARINOS (Cuaternario) (Qm)	66
3.3.3 DEPÓSITOS COLUVIALES (Cuaternario) (Qc).....	66

3.3.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Cuaternario) (Qa).....	67
3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	69
3.4.1 FALLAS INFERIDAS.....	72
3.4.2 FALLAS LOCALES	72
3.4.3 TENDENCIA DE ESTRATIFICACIÓN	73
3.5 COLUMNA LITOLÓGICA REPRESENTATIVA	73
3.6 PERFILES GEOLÓGICOS REPRESENTATIVOS	74
3.7 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	77

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA.....	79
4.1 INTRODUCCIÓN.....	79
4.1.1 PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA.....	81
4.1.2 CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA.....	82
4.1.3 UNIDADES DE MEDIDA DEL MAGNETISMO	84
4.1.4 COORDENADAS GEOMAGNÉTICAS.....	84
4.1.5 VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	86
4.1.6 CORRECCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	86
4.1.7 ANOMALÍAS MAGNÉTICAS.....	89
4.1.8 MAGNETIZACIÓN DE UN CUERPO	91
4.2 METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA	91
4.2.1 INSTRUMENTACIÓN	92
4.2.2 INSTALACIÓN DE BASES DE CAMPO	93
4.2.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	93
4.2.4 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	93
4.3 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	95
4.4 DATOS TÉCNICOS DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO	96
4.4.1 MODELO.....	96
4.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	97
4.4.3 DETALLES DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	98
4.4.4 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	98
4.4.5 PRINCIPIOS OPERACIONALES.....	99

4.4.6 VENTAJAS DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO	100
4.4.7 LIMITACIONES DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO	101
4.4.8 INFORMACIÓN SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	101
4.5 DATOS GEOFÍSICOS ADQUIRIDOS.....	104
4.5.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO GEOFÍSICO DE CAMPO	105
4.5.2 MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO GEOFÍSICO	106
4.5.3 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN	108
4.5.4 OBSERVACIONES OBTENIDAS EN EL TRABAJO DE CAMPO.....	111
CAPÍTULO 5	
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA.....	113
5.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	113
5.2 CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA	114
5.2.1 DESCRIPCIÓN GEOFÍSICA.....	114
5.2.2 MAPA DE ANOMALÍAS GEOFÍSICAS	115
5.2.3 INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA.....	117
5.3 RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	119
5.3.1 PROSPECCIÓN DE ARENAS FERROSAS – TITANÍFERAS	119
CAPÍTULO 6	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
6.1 CONCLUSIONES	122
6.2 RECOMENDACIONES.....	123
CAPÍTULO 7	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de ubicación de vías de acceso a la zona de estudio en Mompiche	12
Figura 2.1: Marco Geológico de Ecuador continental e insular, batimetría y anomalías magnéticas de la Placa de Nazca. Tomado de Vallejo, 2007.	22
Figura 2.2: Esquema Geológico y estructural de la Provincia de Esmeraldas. Tomado del Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana de Reyes y Michaud (2012) (escala 1:500000)	23
Figura 2.3: Esquema geodinámico del Ecuador y las placas asociadas en el proceso de subducción, además del Ridge de Carnegie. Tomado de Gutscher et al. 1999.	25
Figura 2.4: Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Borbón. Tomado de Coello, 2009, Modificado de Evans y Whittaker 1982	29
Figura 2.5: Esquema de las formaciones en las cuencas sedimentarias en la Costa. Tomado de Jaillard et al., 1997	31
Figura 2.6: Mapa de unidades tectono - estratigráficas en el ante-arco ecuatoriano. Tomado de Luzieux, 2006	36
Figura 3.1: Fotografía aérea de la zona de estudio	42
Figura 3.2: Columna estratigráfica local N°1, del talud de la carretera frente a la entrada a Playa Negra. Detalle de los bloques masivos de limolita grisácea con intercalaciones de areniscas rojizas	47
Figura 3.3: Columna estratigráfica local N°2, correspondiente al afloramiento en el sendero hacia la represa de agua del hotel Decameron al SE del área de estudio.	49
Figura 3.4: Columna estratigráfica local N°3, correspondiente al afloramiento en el camino hacia Portete al SW del área de estudio. Presencia de limolitas y areniscas interestratificadas con un fallamiento normal visible en el talud.	52

Figura 3.5: Columna estratigráfica local N°4, correspondiente al afloramiento en un talud dentro de la finca de Consermín (al centro del área de estudio). Presencia de limolitas meteorizadas y areniscas rojizas.	55
Figura 3.6: Columna estratigráfica local N°5, correspondiente al afloramiento en un talud en la vía junto al canal de desfogue del embalse de agua del hotel Decameron. Presencia de limolitas meteorizadas con una capa de yeso centimétrica intercalada.	58
Figura 3.7: Diagrama de rosas mostrando las tendencias estructurales presentes de las diferentes estructuras que han sido medidas en la zona de estudio.	71
Figura 3.8: Columna estratigráfica esquemática del área de estudio.	75
Figura 3.9: Perfiles geológicos N°1 y N°2 del área de estudio.	76
Figura 4.1: Esquema del campo magnético terrestre. Tomado de Ruiz 2003.	83
Figura 4.2: Sistema de coordenadas geográficas (π , λ) y geomagnéticas (π^* , λ^*) Tomado de Ruiz 2003.	85
Figura 4.3: Parámetros del campo magnético local.	102

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1: Limolita calcárea de la parte basal de la Fm. Ónzole. Meteorización fuerte en la roca. Cercano al embalse de agua del hotel Decameron en el Sur de la zona de estudio.	44
Fotografía 3.2: Capas estratificadas de arenisca rojiza silicificada en el centro de la Fm. Onzole, con intercalaciones centimétricas de limolitas. Cercano al ingreso principal al hotel Decameron.	45
Fotografía 3.3: Capas de arenisca rojiza centimétrica de la Fm. Onzole intercaladas entre la limolita grisácea dominante. Visible en acantilados de la playa en Portete.	46
Fotografía 3.4: Afloramiento de la columna estratigráfica N°1 visible el detalle del fallamiento normal y las capas de arenisca con tonalidad rojiza entre las limolitas meteorizadas.	46
Fotografía 3.5: Arenisca presente en el afloramiento correspondiente a la columna estratigráfica N°1 y la sección delgada de la misma (visible el cuarzo y feldespatos, los minerales negros corresponden a óxidos de Fe y Ti también diseminados en la matriz de la arenisca, los cristales son equigranulares).	48
Fotografía 3.6: fotografía del afloramiento corresponde a la columna estratigráfica N°2, visible la intercalación de las areniscas rojizas y grises con el bloque de limolitas meteorizadas fuertemente.	50
Fotografía 3.7: Arenisca rojiza del afloramiento de la columna litológica N°2, detalle de la sección delgada de la misma arenisca (visible el cuarzo policristalino y los minerales negros corresponden a óxidos de Fe y Ti).	51
Fotografía 3.8: Afloramiento correspondiente a la columna litológica N°3, presencia de un espejo de falla como rasgo de un movimiento normal en el bloque, areniscas rojizas y limolitas interestratificadas.	53
Fotografía 3.9: Arenisca rojiza del afloramiento de la columna litológica N°3 que posee un grado medio de silisificación, detalle de la sección delgada de la misma arenisca (visibles los minerales negros que corresponden a óxidos de Fe y Ti diseminados en la matriz).	54
Fotografía 3.10: Afloramiento representativo de la columna litológica N°4, presencia de areniscas rojizas estratificadas con limolitas grises con alto grado de meteorización.	56
Fotografía 3.11: Arenisca del afloramiento donde se realizó la columna litológica N°4. En la sección delgada de la misma se aprecia el tamaño considerable del cuarzo en relación a los otros minerales.	57
Fotografía 3.12: Afloramiento de limolitas meteorizadas con una intercalación de una capa de yeso centimétrica, corresponde a la columna litológica N°5.	59

Fotografía 3.13: Limolita meteorizada que abarca la mayor parte de la zona de estudio (Fm. Onzole) y en su sección delgada solo se observa arcillas con pequeños cristales de minerales pesados (óxidos de Fe y Ti).	60
Fotografía 3.14: Limolita que abarca la mayor parte de la zona de estudio (Fm. Onzole), en su sección delgada se aprecian solo arcillas y leves incrustaciones de óxidos, hay pocos microfósiles.	61
Fotografía 3.15: Arenisca grisácea con concentrado de minerales pesados (óxidos de Fe y Ti), posee un mal sorteo y su potencia es poco considerable al analizar la distribución espacial de la misma.	62
Fotografía 3.16: Arenisca rojiza con alto concentrado de minerales pesados, posee un buen sorteo y presenta un grado de silisificación, presencia de óxidos de Fe - Ti en su matriz.	63
Fotografía 3.17: Detalle de los depósitos con arenas negras en las playas del sector y hacia las zonas de bajos topográficos dejadas entre el mar y el pie de las montañas de Mompiche	64
Fotografía 3.18: Falla observada en los acantilados de la línea de costa. Arriba falla NE buzando al SW, abajo falla local de rumbo NW buzando al SW.	69
Fotografía 3.19: Detalle estructural en la Fm. Onzole de la zona de estudio donde es visible las fracturas conjugadas en la limolita.	71
Fotografía 4.1: Magnetómetro GEM GSM-19, vista frontal.....	103
Fotografía 4.2: Magnetómetro GEM GSM-19, vista lateral.....	103
Fotografía 4.3: Magnetómetro GEM GSM-19, sensor de registro.....	104
Fotografía 4.4: Magnetómetro GEM GSM-19, unidad de GPS.	104
Fotografía 4.5: Magnetómetro GEM GSM-19, equipo armado, consola y bobina.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Datos demográficos de la provincia de Esmeraldas	10
Tabla 3.1: Coordenadas del Perfil Geológico N°1	74
Tabla 3.2: Coordenadas del Perfil Geológico N°2	75
Tabla 4.1: Variaciones temporales del campo magnético terrestre. Modificado de Ruiz, 2003.....	87
Tabla 4.2: Datos de las líneas Norte – Sur usadas para la prospección geofísica	99
Tabla 4.3: Datos de las líneas transversales usadas para la prospección geofísica	99

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa de Ubicación General.....	8
Mapa topográfico de la zona de estudio	14
Modelo de elevación digital de la zona de estudio (DEM)	15
Mapa Geológico y Estructural.....	68
Mapa de Puntos de Muestreo Magnetométrico	107
Mapa del Campo Magnético Total (TMF).....	109
Mapa del Campo Magnético Total Reducido al Polo Norte (RTP).....	110
Mapa del Campo Magnético Total Reducido al Polo y con Filtro Paso Alto 25W (RTP 25W)	116

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de datos estructurales tomados en la zona de estudio, utilizados para la interpretación estructural y geológica del área. El detalle de medida está dado en base al azimut de buzamiento único y al ángulo de buzamiento propio de cada estructura.	132
Anexo 2: Detalle descriptivo de las láminas delgadas realizadas para las descripciones geológicas Se tomaron muestras de rocas representativas de la zona de estudio las cuales permitieron definir de mejor forma los cuerpos rocosos presentes en el área. Su ubicación se puede apreciar en el mapa N°4.	134
Anexo 3: Tablas de datos del campo magnético total en base a las líneas de investigación usadas en el presente estudio, datos visibles en el mapa n° 7, las coordenadas de los puntos están en el sistema UTM WGS84.	137
Línea de geofísica 1	138
Línea de geofísica 2	138
Línea de geofísica 3	139
Línea de geofísica 4	139
Línea de geofísica 5	140
Línea de geofísica 6	140
Línea de geofísica 7	141
Línea de geofísica 8	141
Línea de geofísica 9	144
Línea de geofísica 10	144
Línea de geofísica 11	146
Línea de geofísica 12	146
Línea de geofísica 13	149
Línea de geofísica 14	149
Línea de geofísica transversal 1	152
Línea de geofísica transversal 2	152

RESUMEN

El Ecuador se ubica en la parte NO de Sudamérica y es partícipe del límite convergente entre las placas Nazca y Sudamericana. La Costa se considera como un terreno alóctono de origen oceánico acrecionado al margen continental durante el Cretácico Tardío – Terciario Temprano, donde se desarrolla una cuenca de ante-arco rellena de potentes secuencias sedimentarias de origen continental del Neógeno y Cuaternario.

La Gran Nacional Minera Mariscal Sucre está realizando estudios sobre los depósitos costaneros de arenas ferrosas – titaníferas en Mompiche, ubicado al SO de la Provincia de Esmeraldas. Para el desarrollo del proyecto se debió determinar la geología de la zona de estudio ya que junto al análisis de anomalías magnetométricas permitió definir áreas de mayor y de menor interés como potenciales yacimientos.

El estudio geológico fue realizado para determinar las diversas litologías y formaciones geológicas en la zona, las mismas que influyen en la distribución morfológica del terreno. Se ha determinado la presencia de la Formación Ónzole Inferior en la mayoría del área, caracterizada por litologías de limolitas y areniscas interestratificadas que poseen ángulos de buzamiento bajos con tendencia al NO. También se observa la presencia de depósitos de coluviales hacia las zonas de cambio de pendiente que marcan un cambio morfológico del terreno en la zona central del área, además existen depósitos aluviales situados en el cauce del río Mompiche como terrazas aluviales y llanuras de inundación. Finalmente existen depósitos de arenas finas con presencia de minerales pesados (Fe y Ti) como el depósito potencial para un yacimiento, ubicándose hacia la parte Norte del área en los bajos topográficos.

El estudio geofísico consistió en el uso del método magnetométrico, el cual mide la susceptibilidad magnética de los distintos materiales del subsuelo y permite determinar zonas de anomalías. El procesamiento de datos emplea correcciones e interpretaciones geofísicas que permiten su análisis, creando un mallado digital para la elaboración de un mapa del campo magnético total que determina una tendencia de altos magnéticos y que puede mostrar rasgos de la geología profunda del sector. En el procesamiento se aplican análisis complementarios para visualizar la fuente de las anomalías magnetométricas y de esta forma definir su posición y geometría.

En base a las interpretaciones realizadas existen dos dominios magnéticos principales en la zona: el Dominio 1 de altos magnéticos relacionado con los bajos topográficos donde se puede encontrar depósitos de arenas con contenidos de minerales de hierro (magnetita e ilmenita) y el Dominio 2 de bajos magnéticos asociados a litología más antigua que se ubica al SE del área en las elevaciones de Mompiche, con estratos de limolita y areniscas centimétricas pero con bajos contenidos de minerales pesados.

ABSTRACT

Ecuador, located in the North West part of South America, is part of the boundary of Nazca and South America plates. The country's coast is considered an oceanic allochthonous terrane, which was accreted to the continental margin during the Late Cretaceous - Early Tertiary, for this reason it developed a fore-arc basin filled with thick sequences of continental sedimentary Neogene and Quaternary.

Mompiche city, located at the coast in the South West part of the province of Esmeraldas, presents important geological characteristics. So, The Gran Nacional Minera Mariscal Sucre has been developed some studies in this region, specifically analysis of coastal deposits of ferrous - titaniferous sands. For the development of this project, the magnetometric anomaly analysis was used to determine the interest areas, like those with the greatest deposits.

The geological survey was developed to determine the different type of lithologies and geological formations, which are the same that influence the morphological distribution of the area. After our analysis, the presence of Fm. Onzole Inferior in most of the region was measured. Also, the area is characterized by lithologies of siltstones and sandstones interbedded, which have low dip angles tending to NW. Furthermore, in areas of rapid slope change, the presence of colluvial deposits was observed, being that, these areas mark a morphological transition in the terrain. Additionally, alluvial deposits were located in the riverbed of Mompiche, like for example alluvial terraces and floodplains. Finally, potential deposits of fine sand were identify, by means of the presence of heavy minerals like iron and titanium. Those regions were located towards the northern part of the region in a topographic low area.

For our geophysical analysis, we used the magnetometer method, which measures the magnetic susceptibility of different subsurface materials and determines anomalous areas. As a result of this project, where data processing and geophysical analysis were used, a digital mesh was created in order to design a map of the total magnetic fields. Specifically, the designed map contains information about the magnetic high trend, and also shows deep geology features of the Mompiche region. On the other hand, applying complementary analysis processes were possible to visualize magnetometric anomalies, and thus determine its position and geometry.

Based on our interpretations, there are two main magnetic domains in the area: magnetic domain 1: with high values for the magnetic field. It was associated with topographic low areas, where it was possible to find deposits of iron sands (magnetite and ilmenite), and magnetic domain 2: with low values of the magnetic field. It was associated with oldest lithology located at SE of the area of Mompiche elevations, with layers of siltstone and centimetric sandstone but with low contents of heavy minerals.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la minería incluye las fases de prospección, exploración, explotación como etapas de desarrollo de un yacimiento, pudiendo este ser de minerales metálicos, no-metálicos y también rocas. La minería metálica no tiene una incidencia fuerte en la economía nacional en la actualidad, a pesar de que se está avanzando en ese aspecto, mientras que la minería no-metálica es la principal abastecedora del material para construcción civil y por tal motivo tiene un impacto en todo el país. Desde comienzos del siglo XX, varias empresas extranjeras y nacionales realizan minería y explotan principalmente el oro, el mismo que es un recurso muy buscado por los mercados internacionales. A finales de los años 70 e inicios de los años 80, la crisis de las primeras empresas mineras y de la agricultura dio lugar a una expansión de la pequeña minería aurífera, que a la postre se ha ido consolidando como el sector minero más dinámico en el país.

El sector de los minerales no-metálicos no ha sido analizado a gran profundidad por lo que existe poca información relacionada con el mismo, por tal motivo es el sector metálico el que posee mayor información para su desarrollo. En base a lo expuesto, el desarrollo de la minería metálica en el país es un proceso que se inicia con unidades de producción a pequeña escala en los años 70 y 90 y que quieren consolidarse durante la última década con un mayor tamaño de producción. En los últimos años se ha ido consolidando la idea de la minería sustentable que es una manera de aprovechar de mejor forma los recursos minerales y no minerales que disponemos en el planeta. En cuanto a la minería sustentable, esta debe tener objetivos claros en su desarrollo, ésta es una actividad viable en el país siempre que se den cumplimiento las normas que el estado plantea y bajo un estricto control periódico de la operación de las empresas, para que el medio ambiente se vea afectado lo menos posible.

1.1 ANTECEDENTES

La Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M. (GNMMS), es una compañía que opera actualmente en el país y se encuentra ejecutando proyectos para el desarrollo de la minería en las concesiones que le han sido otorgadas por el estado. Dichas concesiones están ubicadas en los sectores de las Provincias de Esmeraldas y Sucumbíos. El origen de la formación de la empresa son los acuerdos bilaterales entre Ecuador y Venezuela, ya que por voluntad de sus mandatarios se han suscrito convenios encaminados a desarrollar la actividad minera en respuesta a la necesidad del Ecuador de aprovechar los recursos minerales metálicos y no metálicos que posee en su territorio.

La GNMMS se dedica a la prospección y exploración de minerales como el oro, fosfatos e hierro, consolidando una política de aprovechamiento sustentable de los recursos minerales, para propiciar el desarrollo del país ya que esto se enmarca dentro de sus objetivos generales como empresa. Dentro del cronograma de actividades de la GNMMS, se realizaron trabajos de consultoría en el área de Mompiche con el fin de poder tener información general de la geología y geofísica de la zona de concesión y poder planificar las actividades futuras para el avance del proyecto minero en el sector. Enfocado en estos aspectos, este proyecto de titulación, es el resultado del estudio de la zona Oeste de la concesión minera Mompiche correspondiente a 400 hectáreas.

1.2 JUSTIFICACIONES

Esta investigación sirvió para incrementar la información geológica y dar un mayor detalle de la información geofísica de la zona de estudio. Al dotar de mayor información al proyecto Mompiche, se ayuda a un mejor análisis y planificación de los trabajos mineros que se ejecutarán posteriormente a este estudio,

incrementando la información geológica del área. La GNMMS, como parte de los estudios para sus áreas de interés está adquiriendo información geológica, geofísica y geoquímica de sus concesiones.

Hay que mencionar que en el país se han descrito potenciales depósitos de arenas negras en las playas de la franja costera y varios sectores entre los poblados de Pedernales y Muisne. Tanto la concesión Mompiche como la zona de estudio están en esta franja costera por lo que se trata de lograr la exploración avanzada y explotación futura de las arenas ferrosas – titaníferas en el sector que permitan alcanzar los beneficios económicos tanto para el estado como para la empresa y para los poblados dentro de la zona de influencia del proyecto. Este proyecto de titulación aporta con mayor información geológica en dicha área para mejorar el entendimiento geológico de la misma e identificar las zonas de anomalías magnetométricas presentes que ayuden a definir zonas potenciales de depósitos de arenas ferrosas - titaníferas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el estudio geológico y geofísico del área Oeste de la concesión minera Mompiche, ubicada en la provincia de Esmeraldas, que permitan entender mejor la geología de dicha zona.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las características geológicas y estructurales del área de estudio.
- Estudiar las características geofísicas - magnetométricas del área de estudio.

- Construir el mapa geológico del área de estudio, a escala 1:10000.
- Construir el mapa de puntos de muestreo magnetométrico del área de estudio, a escala 1:10000.
- Construir el mapa de anomalías magnetométricas del área de estudio, a escala 1:10000 que permita definir zonas de potenciales depósitos de arenas ferrosas - titaníferas.
- Construir el modelo digital de elevación del terreno del área de estudio, a escala 1:10000, a partir del mapa topográfico de dicha zona.

1.4 ALCANCE

En el área minera Mompiche, ubicada en la provincia de Esmeraldas, se inició por parte de la GNMMS la prospección de arenas ferrosas - titaníferas con la finalidad de realizar una actividad minera rentable. Al iniciar este trabajo no se disponía de información geológica estructural detallada de la zona de estudio, todo lo existente está relacionado con estudios geológicos regionales que han aportado información a la geología general del país y datos generales obtenidos de una consultoría (Informe de Consultoría para la GNMMS, Ing. Édgar Pillajo, 2011), por lo que el avance del proyecto tuvo relación directa con la obtención de datos geológicos y magnetométricos más específicos, los cuales se detallan en este trabajo.

El desarrollo de este proyecto utilizó el estudio geológico – estructural en el área de interés sumado al análisis geofísico de las anomalías magnetométricas. Esta información se observa en los mapas respectivos en los capítulos 3, 4 y 5 de una forma didáctica. Para la elaboración de este proyecto se contó con información topográfica base de la zona de estudio. Este trabajo se lo realizó con la finalidad de adquirir información geológica de las litologías presentes en la zona que sirva para mejorar su entendimiento geológico.

1.4.1 HIPÓTESIS DE ESTUDIO

La hipótesis planteada para el desarrollo de este proyecto, fue que mediante el estudio geológico y geofísico en la zona Oeste del proyecto minero Mompiche, se podrá obtener mayor información técnica que permita entender de mejor forma la geología de dicha zona y complementar la información existente para que ayude en el avance del proyecto definiendo zonas de potenciales depósitos.

1.5 ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1 UBICACIÓN

La provincia de Esmeraldas, se encuentra en el Noroeste del Ecuador, en la región de la Costa ecuatoriana. Tiene como límites al Norte con la República de Colombia, al Sur con la Provincia de Manabí, al Este con las Provincias de Pichincha, Imbabura, Carchi y Santo Domingo de los Tsáchilas y al Oeste con el Océano Pacífico. La zona de estudio se encuentra ubicada al Sur - Oeste de la Provincia de Esmeraldas, en el cantón Muisne, entre las parroquias Muisne, San Gregorio y Bolívar, con una superficie total de 400 hectáreas. Espacialmente está aproximadamente a 110 kilómetros de la ciudad de Esmeraldas, la capital provincial y a 450 kilómetros de Quito, la capital del país. Dicha información se observa en el croquis de ubicación del mapa N° 1 y en la figura 1.1 correspondiente a las vías de acceso a la zona de estudio.

1.5.2 MORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El océano Pacífico baña aproximadamente 250 km de la costa esmeraldeña. Dicha área está conformada por terrenos litorales que forman planicies en las

playas, elevaciones sobre sedimentos marinos terciarios que forman las montañas costeras. Los accidentes geográficos de mayor importancia en la provincia de Esmeraldas son los siguientes desde el Norte hacia el Sur: la Ensenada de Atacames, la punta de Galera – San Francisco y la Ensenada de Mompiche, aspectos visibles en la figura 1.1.

Esta provincia se sitúa en tierras bajas, en donde las mayores altitudes no sobrepasan los 600 metros sobre el nivel del mar, está atravesada por varias elevaciones que son prolongaciones de la Cordillera Occidental de los Andes o pertenecen a la Cordillera Costanera. Se tiene que al Este de la provincia se encuentran las cordilleras de Cayapas y Toisán y al Oeste las montañas de Muisne, Atacames y Cojimíes. La zona de estudio se ubica en la parte norte de la Costa, cercana a la gran Ensenada de Mompiche, donde se observan relieves de plataforma poco elevada, acantilados junto a la línea costera y también pequeñas elevaciones cercanas a la playa. La parte norte de la Costa en general está constituida por terrenos litorales que forman planicies.

Un relieve de elevaciones bajas se presenta hacia el centro, Este y Sur de la zona de estudio. Se tiene varios drenajes en forma dendrítica, algunos de los cuales son solo cauces estacionales. Dichos drenajes desembocan en el estuario de Portete. Dentro de la topografía de la zona de estudio se puede observar que hacia el Norte y Noroeste presenta sectores semi-planos con alturas que varían de 0 a 20 metros. Zonas de fuerte pendiente, se encuentran cubiertas por densa vegetación y son terrenos intervenidos para agricultura y ganadería en su mayor extensión hacia el Sur.

1.5.3 HIDROLOGÍA

El sistema hidrográfico es importante ya que varios de sus ríos se han convertido en vías de acceso natural para el transporte de productos a distintos lugares, tanto al interior como al exterior de la provincia. En la ensenada de Mompiche sobresalen las desembocaduras de los ríos Mompiche y Correntada como cauces principales, como se puede ver en el mapa N°1, que aportan sedimentos a la plataforma marina, en donde por efecto de las olas se reconcentran y son

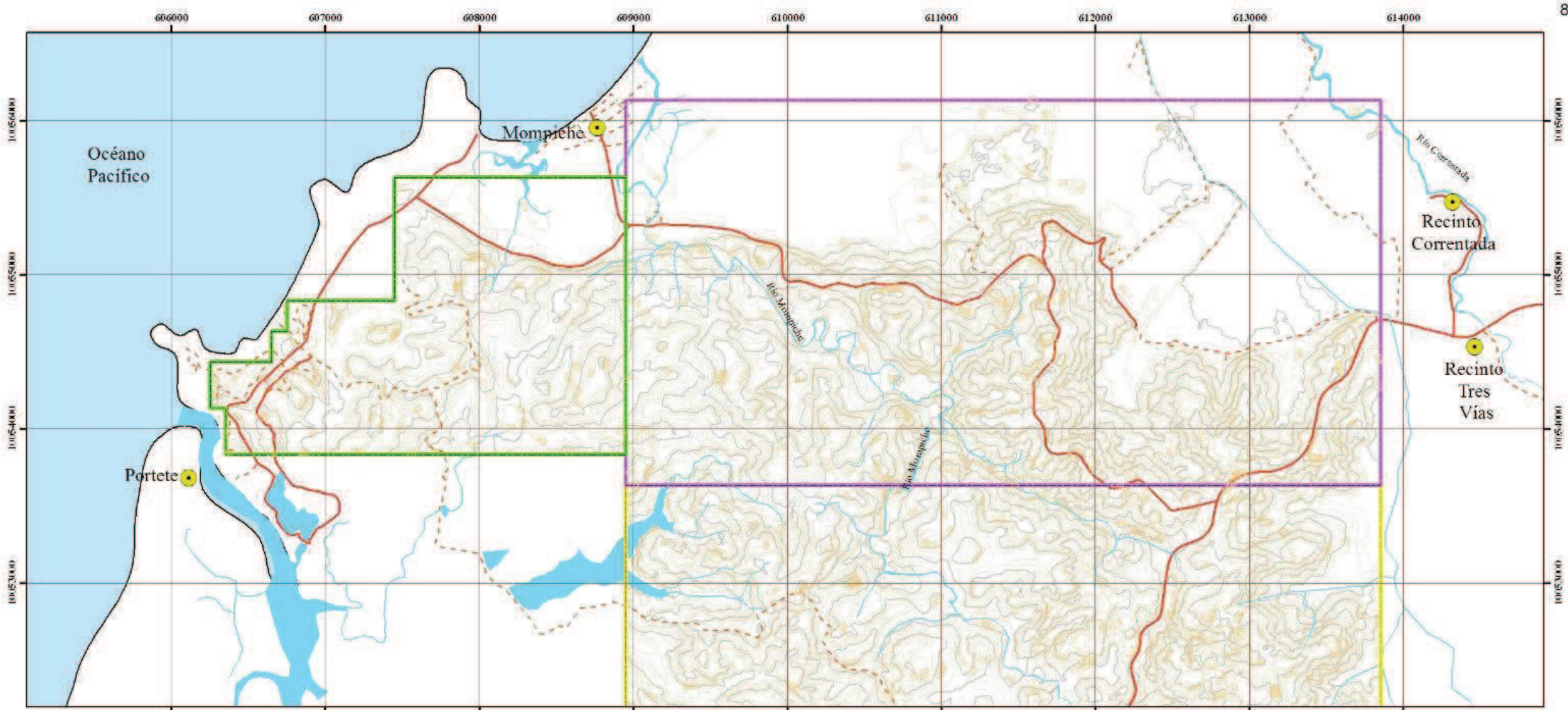
depositados en las playas actuales. Existen bastantes cauces de esteros y desagües que sirven para el desfogue de las aguas en las épocas invernales y que por tal motivo no poseen nombres fijos.

1.5.3.1 Río Mompiche

Nace de las estribaciones de la cordillera Costanera en la provincia de Esmeraldas y va hacia el Océano Pacífico con una dirección Noroeste, atraviesa el NE de la zona de estudio, como se lo puede ver en el mapa N°1. Tiene un flujo relacionado a las estaciones climáticas de la Costa ecuatoriana, siendo éste más caudaloso en la época de lluvias, y disminuyendo su caudal en la época de verano. Presentan terrazas aluviales, que forman planicies con leves inclinaciones.

1.5.3.2 Río Correntada

Nace también de las estribaciones de la cordillera Costanera y de igual forma su dirección de recorrido es hacia el Océano Pacífico en sentido Noroeste. Su volumen de caudal también está relacionado con la época de lluvia en la región. Su recorrido pasa junto al poblado de Tres Vías y los recintos aledaños que se sitúan al Este de la concesión de Mompiche y de la zona de estudio. De igual forma se puede ver su recorrido en el mapa N°1. También presentan terrazas aluviales que forman planicies con leves inclinaciones.



CROQUIS DE UBICACIÓN



ESCALA GRÁFICA



LEYENDA



 Escuela Politécnica Nacional		 Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M.	
CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA Y GEOFISICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE			
MAPA DE UBICACIÓN GENERAL			
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación		Escala de Impresión: 1:25000	
Revisado por: Gedil Johnny Herrera García Director de Proyecto de Titulación		Fecha de elaboración: Enero 2013	
			1

1.5.4 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima del Ecuador está influenciado directamente por factores como la latitud geográfica, altitud, presencia de la cadena montañosa de los Andes, vegetación, la cercanía del Océano Pacífico, corrientes marinas y vientos. Debido a que la zona de estudio se ubica en la región costera del país, recibe la influencia directa del Océano Pacífico y su acción modificadora del clima.

En la zona actúan las corrientes marinas, ya que si está cerca la corriente fría de Humboldt se produce una disminución en las temperaturas y también de las lluvias, pero si está cerca la corriente cálida del Niño, como le ocurre a Mompiche, el clima es más cálido, aumentando el régimen de lluvias en este sector. Por tales motivos, se tienen en la costa ecuatoriana dos estaciones bastante bien definidas:

- En primer lugar está la estación llamada tropical monzón, con un porcentaje de humedad del 40% que va de los meses de junio a noviembre y con una temperatura promedio de 21 °C, es menos calurosa y está influenciada por la corriente fría de Humboldt.
- En segundo lugar se tiene la estación llamada tropical húmedo, con un porcentaje de humedad casi del 100% que va de noviembre a mayo en las cuencas centrales y costa externa, cuya temperatura promedio es de 28 °C, es calurosa debido a la influencia de la corriente cálida del Niño.

En base a esto se puede decir que el clima en la zona de Mompiche oscila de subtropical seco a tropical húmedo. La vegetación de la zona es de clima tropical con varios sectores de bosque, pero existe gran cantidad de terrenos talados para siembra de pastos para ganadería y cultivos tropicales como café, cacao, banano, palma africana, árboles frutales.

En la planicie costera encontramos grandes cultivos de pastos para ganadería, palma africana y sectores con árboles dispersos. En las zonas montañosas se mantiene el bosque, áreas con matorral bajo y cultivos tropicales. Existen zonas planas al Norte de la concesión que contienen manglares en ciertos sitios, pero

que han sido talados para dar paso a las camaroneras y también al cultivo de pastizales para ganadería y cultivo de frutas tropicales.

1.5.5 ASPECTOS SOCIALES

Según el Censo de Población y Vivienda del 2010, realizado por el INEC, en la Provincia de Esmeraldas se tiene una población de 534.092 habitantes, con una distribución de género de la siguiente forma: hombres: 50,8% y mujeres: 49,2%.

Datos	Población Esmeraldas
Población total	534 092
Población hombres	271 312
Población mujeres	262 780

Tabla 1.1: Datos demográficos de la provincia de Esmeraldas
Fuente INEC – censo de población y vivienda 2010

Esta comunidad tiene sus propias manifestaciones culturales, en la música su instrumento favorito es la marimba. En cuanto a los aspectos económicos y de vivienda de los habitantes del sector, se puede decir que la vida en Muisne y sus parroquias, San Gregorio y Bolívar, se ha desarrollado relacionada con los recursos naturales de su tierra, que son los que constituyen la base de su actividad productiva y económica, por lo cual un adecuado uso es indispensable para un desarrollo sustentable de la región.

Según datos del estudio sobre Plan de Vida y Desarrollo de Muisne de FUNDECOL del 2003, la estructura productiva del cantón Muisne está dominada por las siguientes actividades: agricultura, ganadería, pesca, acuicultura (camaroneras) y explotación forestal. Actividades de recolección de moluscos, crustáceos, camarones y pesca artesanal, constituyen la primera y más importante fuente de subsistencia y comercio para la población de las parroquias de este cantón. El turismo también se está convirtiendo en una fuente de ingresos

económicos, pero aún no ha alcanzado un gran desarrollo, debido a que no se dispone de toda la infraestructura adecuada.

El abastecimiento de agua potable de las poblaciones cercanas a la zona de estudio es uno de los grandes problemas que tiene la gente ya que no disponen de dicho servicio, por tal motivo continua siendo su fuente de abastecimiento directa los ríos, vertientes o pozos y debido a esto el agua aún mantiene un grado de salinidad no aconsejable para el consumo humano, ya que no es tratada antes. Dentro de las características de las viviendas del sector, se puede describir que están elevadas un metro del suelo y normalmente son de un solo piso.

Las edificaciones que corresponden a bares, hostales, restaurantes son las que poseen dos o más pisos. Los materiales utilizados para su construcción son la caña guadua, madera, cemento para cubrir las paredes mientras que para los techos se utiliza paja o zinc. Normalmente no poseen un baño interno, por lo que utilizan pozos sépticos o letrinas externas y para ducharse usan los ríos cercanos.

1.5.6 ACCESOS

Para poder acceder a la zona de estudio desde Quito existen dos opciones de vías que pueden ser utilizadas (figura 1.1):

- La primera opción es tomar la carretera Calacalí - La Independencia hasta Atacames y atravesar Sua, Same, Tonchigüe, Muisne siguiendo la llamada "Ruta del Spóndylus". Esta vía conduce al recinto "Tres Vías" que es el poblado más cercano a la entrada a Mompiche. Todo este trayecto desde Quito es carretera pavimentada.
- La siguiente opción vial para llegar desde Quito es tomar la vía Aloag - Santo Domingo y luego seguir el desvío hacia Pedernales para posteriormente tomar la carretera hacia el Norte, hasta llegar nuevamente a "Tres Vías". Esta información se la puede apreciar en la figura 1.1.

En cuanto a vías en la zona de estudio, aún existe un déficit de caminos internos ya que no los hay o no son mantenidos correctamente para que estén en buenas condiciones.

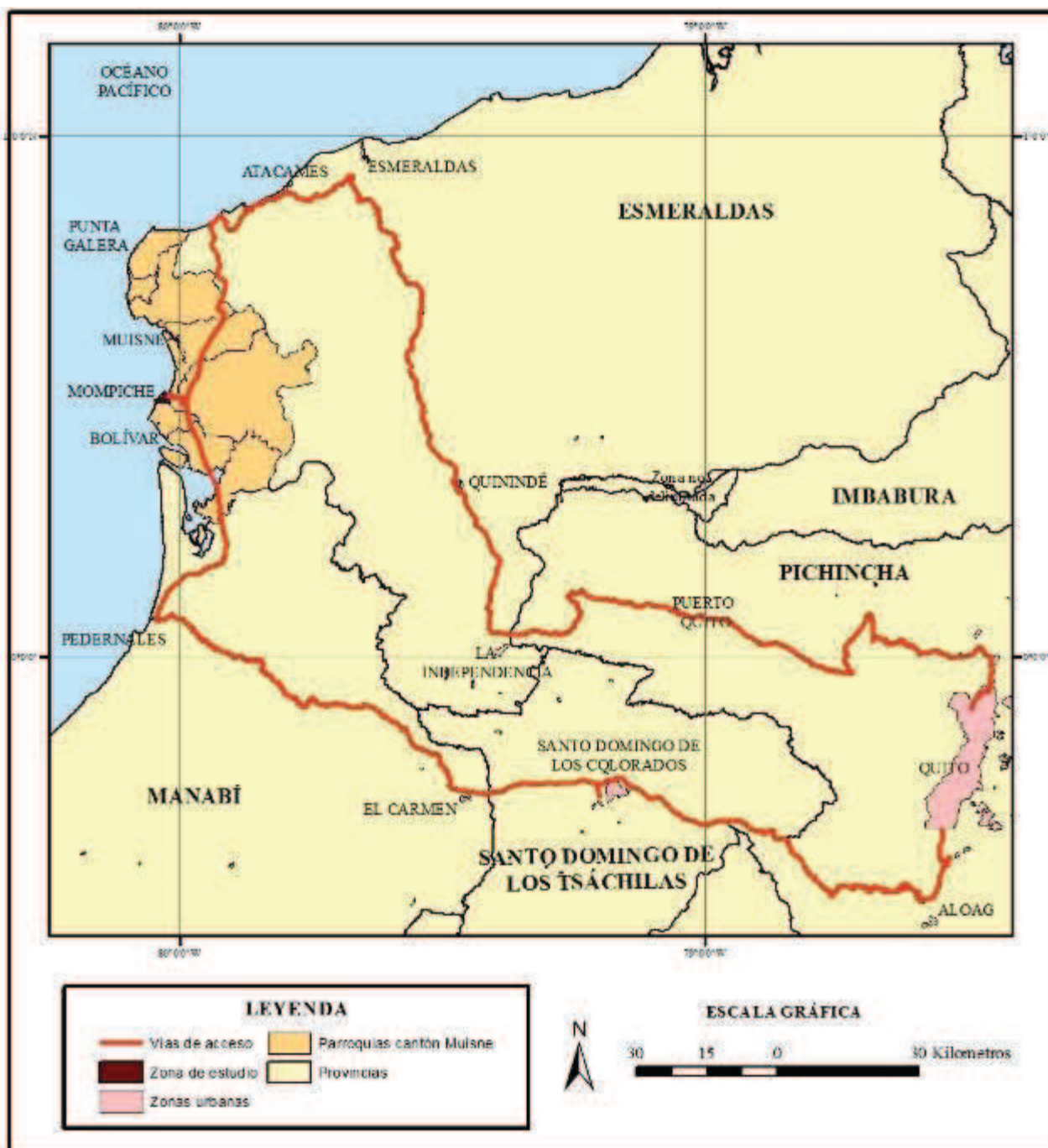


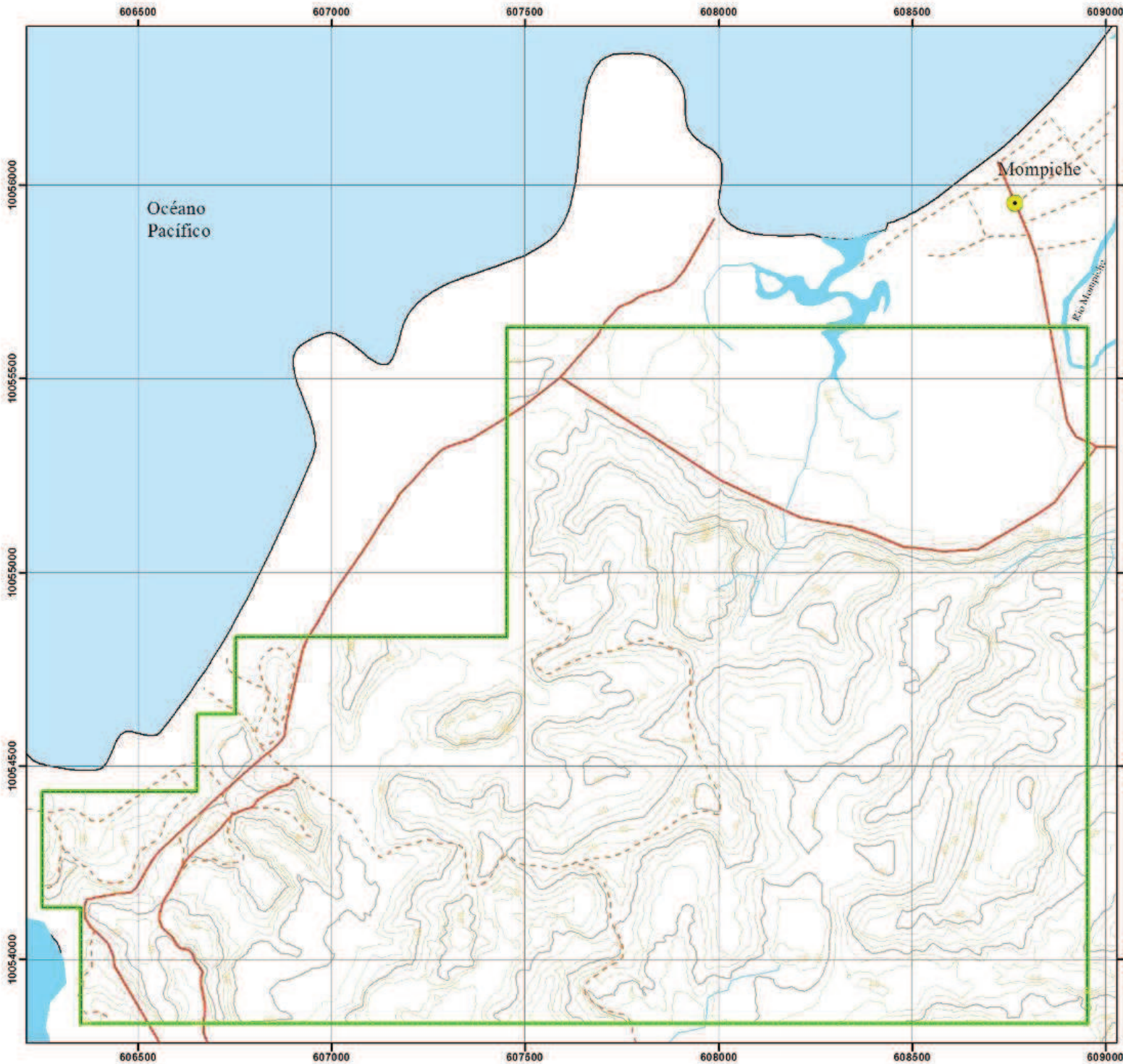
Figura 1.1: Esquema de ubicación de vías de acceso a la zona de estudio en Mompiche

1.5.7 MAPA TOPOGRÁFICO BASE

Se tiene como cartografía base el mapa N°2 a escala 1:10000, así como la información de vías y ríos de la zona de estudio. Esta información está en un formato adecuado para su análisis, edición y lectura en el software que ha servido para la ejecución de los mapas del proyecto de titulación (especialmente ArcGIS). Todos los mapas generados en el proyecto de titulación tienen como datum el sistema WGS84, y la proyección UTM en la zona 17 Sur.

○ 1.5.8 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL

Se desarrolló para tener una mejor idea de la distribución del terreno, especialmente de los aspectos relacionados a la topografía de la zona, su morfología e hidrografía y para poder identificar de mejor forma rasgos estructurales regionales del área como fallas regionales. Este modelo posee una escala 1:10000 con el fin de poder visualizar varios aspectos estructurales y geológicos.



LEYENDA

- Poblados
- Ríos
- Principal
- - - Secundaria

Curvas de nivel

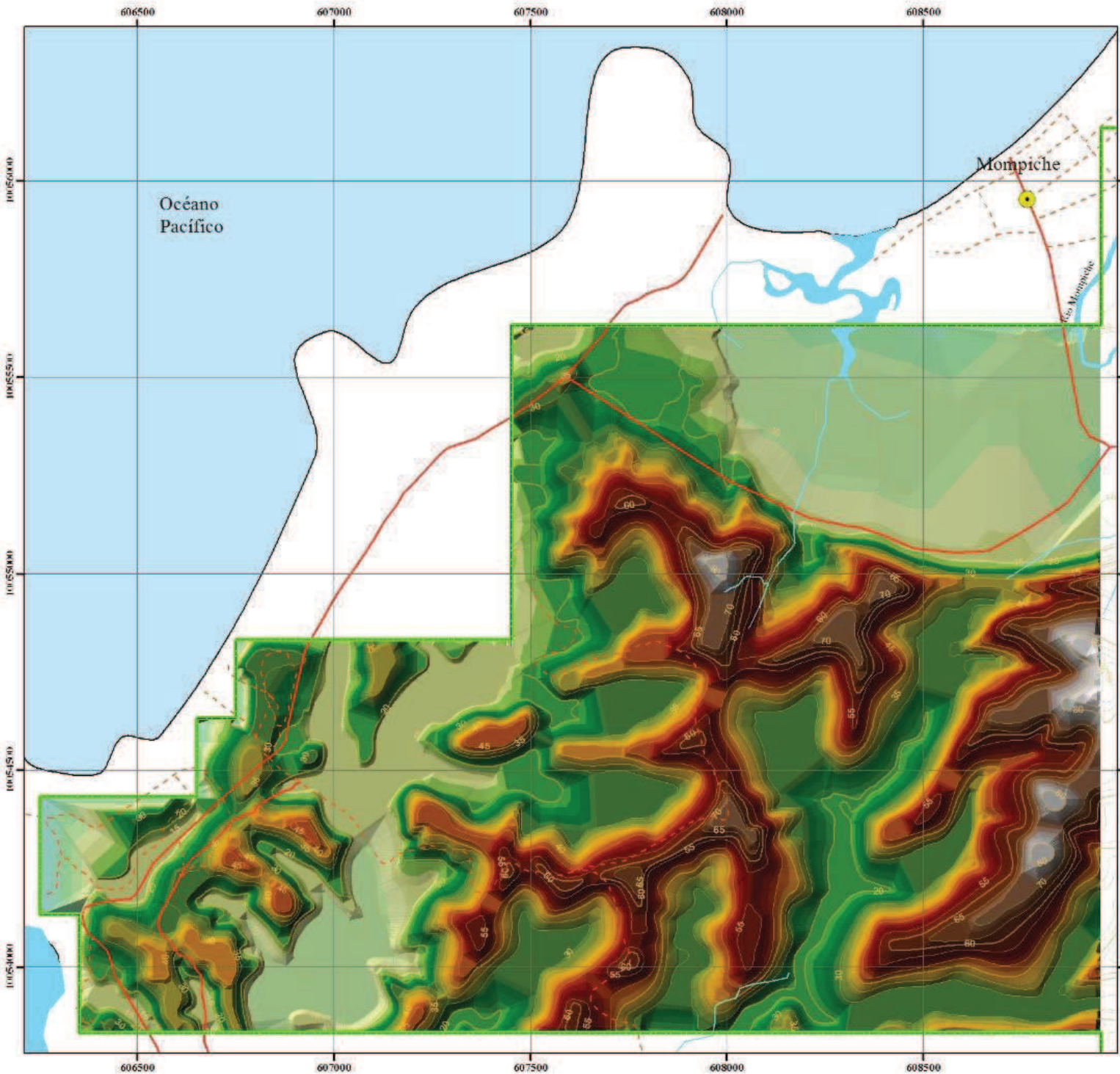
- Principal (cada 20m)
- Secundaria (cada 5m)

Tipo de vía

- Zona de Estudio



	Escuela Politécnica Nacional		Gran Nacional Minera Mariscal Sucre S.A.S.
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE			
MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO			
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación		Escala de impresión: 1:10000	
Revisado por: Geól. Jhonny Herrera García Director de Proyecto de Titulación		Fecha de elaboración: Enero 2013	2



LEYENDA

- Poblados
- Ríos
- Tipo de vía Principal
- Secundaria
- Curvas de nivel Principal (cada 20m)
- Secundaria (cada 5m)
- Zona de Estudio

SIMBOLOGÍA

Elevación (metros)	59.063 - 61.875	28.125 - 30.938
87.188 - 90	56.25 - 59.063	25.313 - 28.125
84.375 - 87.188	53.438 - 56.25	22.5 - 25.313
81.563 - 84.375	50.625 - 53.438	19.688 - 22.5
78.75 - 81.563	47.813 - 50.625	16.875 - 19.688
75.938 - 78.75	45 - 47.813	14.063 - 16.875
73.125 - 75.938	42.188 - 45	11.25 - 14.063
70.313 - 73.125	39.375 - 42.188	8.438 - 11.25
67.5 - 70.313	36.563 - 39.375	5.625 - 8.438
64.688 - 67.5	33.75 - 36.563	2.813 - 5.625
61.875 - 64.688	30.938 - 33.75	0 - 2.813



CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA Y GEOFISICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESION MINERA MOMPICHE	
MODELO DIGITAL DE ELEVACION	
Realizado por: Carlos Diaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación	Escala de impresión: 1:10000
Revisado por: Geol. Jhonny Herrera García Director de Proyecto de Titulación	Fecha de elaboración: Enero 2013

1.6 METODOLOGÍA

A la zona de la concesión minera Mompiche, se la ha dividido en 3 áreas de menor extensión para fines prácticos de estudio y trabajo, como se puede observar en el mapa N°1 de ubicación general, siendo estas:

Zona Norte.

Zona Sur.

Zona Oeste (donde se desarrolló el presente proyecto de tesis).

El presente proyecto fue auspiciado por la GNMMS, que contribuyó con los materiales y recursos económicos para la obtención de todos los datos necesarios, tanto geológicos como geofísicos, de la zona de estudio. Dentro del desarrollo del trabajo geológico que sirve para recopilar información para generar los mapas respectivos, se debe seguir ciertas etapas que permitan optimizar la recolección de dicha información. Para la correcta ejecución del presente proyecto se desarrollaron varias etapas que sirvieron para ir recolectando la información necesaria para generar los mapas respectivos. Entre dichas etapas se pueden mencionar a las siguientes:

- Recopilación bibliográfica y revisión de la misma y de la cartografía de trabajos relacionados con la geología de la costa ecuatoriana, además de información sobre otros trabajos que tengan afinidad con el tema planteado y de fotografías aéreas que permitan generar una idea inicial de la distribución geológica de la zona
- Trabajo de campo, con recorridos por senderos, quebradas y carreteras en las zonas de interés, con observaciones geológicas y de comprobación de la fotointerpretación. Se utilizó el mapa topográfico base, un GPS navegador y libreta de campo y se recolectó datos geológicos, estructurales, geofísicos y también muestras representativas de las litologías existentes en la zona de estudio.

- Análisis de los datos geológicos recolectados en el campo, la interpretación de dichos datos y de las muestras tomadas de cada formación litológica encontrada en la zona de estudio, además del análisis de láminas delgadas de las litologías de mayor interés y la revisión de la geología general y local del área en base a trabajos anteriores (Benítez 1995, Coello 2009, Pillajo 2011).
- Análisis de datos geofísicos (magnetométricos) recolectados en campo, la interpretación de dichos datos, todo en base a equipos con especificaciones técnicas (Magnetómetros y Gradiómetros tipo Overhauser, GEM Systems Advanced Magnetometers).
- Construcción y diseño del mapa geológico y estructural, del mapa de puntos de muestreo geofísico de la zona de estudio, ambos a escala 1:10000. Esto con datos de campo, y con software específico que agilite dicha construcción (ArcGIS, Autocad, Erdas Imagine).
- Construcción del mapa de anomalías magnetométricas de la zona de estudio, el análisis de los datos recolectados en el campo, la aplicación del método geofísico para las interpretaciones, según el equipo utilizado, dicho mapa se generó con software específico (ArcGIS, Autocad, Map Info, Erdas Imagine).
- Construcción de un DEM (Digital Elevation Model - Modelo Digital de Elevación) de la zona de estudio en base a las curvas de nivel y puntos acotados, datos de campo como puntos de control, restituciones fotográficas y el uso de software que permite que se elabore el modelo digital de elevación de manera semiautomática.
- Redacción del informe final, con todas las interpretaciones desarrolladas a lo largo del presente estudio. Realización de mapas, perfiles e interpretaciones geológicas finales. Los mapas interpretados y dibujados

en el campo, fueron posteriormente digitalizados para ser procesados con programas de dibujo, tales como AutoCAD, ArcGIS, Surfer.

1.7 TRABAJOS ANTERIORES

Cerca de la zona de estudio se han realizado algunos trabajos que han aportado información significativa al conocimiento geológico de la región, permitiendo hacer correlaciones geológicas y generar ideas de la evolución de la zona relacionadas con la geología del Ecuador.

Los estudios que se han realizado, han dejado un aporte a la estratigrafía y evolución de las diferentes formaciones geológicas de la costa norte del país. A continuación se citan varios de dichos trabajos que contienen información relacionada con el área estudiada en este proyecto de titulación:

- EVANS C.D.R. Y WHITTAKER J.E. (1982). THE GEOLOGY OF THE WESTERN PART OF THE BORBON BASIN, NORTH-WEST ECUADOR.

En este estudio, se ha realizado un análisis estratigráfico de la parte W de la Cuenca Borbón, y se ha determinado que contiene una secuencia sedimentaria compuesta por capas delgadas de lutitas terciarias de 5 km de espesor, ubicadas sobre un basamento cretácico. Además la cuenca tiene secuencias de carbonatos delgados turbidíticos del Eoceno Medio que son discontinuos. Se menciona también la presencia de capas de areniscas acumuladas en aguas poco profundas durante el Mioceno Superior – Plioceno Inferior, que fueron seguidas por capas de lutitas formadas en aguas más profundas.

Estructuralmente se menciona que los estratos están plegados hacia el NE – SW y que existe la presencia de estructuras paralelas, lo que es visible en el sector del río Verde en Esmeraldas. Basados en los datos obtenidos e interpretaciones realizadas, los autores mencionan que la secuencia sedimentaria W de la cuenca Borbón fue depositada en un ambiente de transición entre la costa y el océano.

- SOLEDISPA B. Y VILLACRES J. (1990). ESTUDIO COMPOSICIONAL DE LAS ARENAS FERROTITANÍFERAS DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE EL ESTERO DATA DE POSORJA Y EL MONASTERIO DE SANTA TERESA, PROVINCIA DE GUAYAS, ECUADOR. INOCAR. ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO.

Este trabajo fue realizado bajo el auspicio del INOCAR con el afán de generar un inventario de recursos naturales del país, y así poder fomentar el desarrollo minero. Se presentan resultados de la composición sedimentológica y mineralógica de las arenas ferro-titaníferas de la playa entre el sector del estero Data de Posorja y el monasterio de Santa Teresa. Se analizaron 28 muestras de arena recolectadas de 7 perfiles topográficos perpendiculares a la playa, tomando 4 muestras por cada perfil.

Entre los resultados que se obtuvieron, los autores determinan la existencia de una asimetría en los tamaños gruesos de las arenas, lo que les lleva a pensar que el muestreo se realizó en un ambiente erosivo. Además, por la composición de las arenas, se determinó que tienen un origen en rocas ígneas básicas, posiblemente de la Fm Piñón y también son producto de la erosión de las rocas terciarias y cuaternarias de los cauces cercanos. Por su composición, los autores determinan que la mayoría de los minerales presentes en las arenas están enriquecidos en Fe y Ti definiendo zonas de potenciales yacimientos que influyen en una futura explotación minera.

- AALTO K.R. Y MILLER W., (1999). SEDIMENTOLOGY OF THE PLIOCENE UPPER ONZOLE FORMATION, AN INNER-TRENCH SLOPE SUCCESSION IN NORTHWESTERN ECUADOR, JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES 12, P. 69 – 85.

En este trabajo, los autores realizan una descripción sedimentológica y estructural de la formación Onzole Superior, perteneciente al Plioceno, ubicada en la cuenca Borbón, cercana al poblado de Punta Gorda en la Provincia de Esmeraldas. Dentro de su descripción, donde se determina la composición de la Fm Onzole, se

menciona que está compuesta por turbiditas, arcillas limosas con presencia de estructuras sedimentarias como estratificación y bioturbaciones, además hay la presencia de ceniza sin consolidar, arcilla pelágica y turbiditas glauconíticas. A los depósitos de ceniza se les divide en 4 grupos principales y por la composición general de los mismos se determina que posee un origen andino.

Los depósitos de esta área de la cuenca Borbón se formaron en un ambiente de acumulación de una fosa marina de ladera hacia el arco volcánico presente en el Plioceno. Se menciona además la presencia de sistemas de fallas normales que dividen 2 etapas de deformación en la zona, siendo el primer grupo de fallas lístricas con rumbo preferencial al Norte y el segundo grupo de fallas con direcciones preferenciales hacia el WNW que afectan a terrazas del Holoceno en el sector.

- COELLO BALDEÓN X. I., (2009). CORRELACIONES Y ANÁLISIS GEOLÓGICOS ENTRE MUESTRAS DE DRAGAS RECOLECTADAS DURANTE LA CAMPAÑA AMADEUS (2005) Y MUESTRAS DE TIERRA TOMADAS ENTRE JAMA Y ESMERALDAS. GUAYAQUIL – ECUADOR, TESIS - ESPOL.

En este trabajo se han realizado observaciones macroscópicas de facies y fracturas, granulometría, petrografía y contenido de microfósiles, determinando que las muestras de las dragas corresponden a un rango entre el Plioceno y el Holoceno, mientras que las muestras de campo dan un rango de edades mayor, desde el Mioceno al Holoceno. Dentro de la caracterización geológica que se genera para la zona de estudio, se ha determinado que Esmeraldas posee un paleoambiente marino de talud continental, y Jama corresponde a un paleoambiente marino de plataforma interna.

El análisis evolutivo de Jama determina que esta parte se ha levantado de 50 a 100 metros desde el Plioceno, mientras que la zona donde se tomaron las muestras de dragas ha sufrido un hundimiento. Dentro del mismo análisis se ha determinado que Esmeraldas ha sufrido un levantamiento más fuerte, siendo este de 1000 metros y la zona de muestreo de las dragas ha sido hundida levemente.

CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 INTRODUCCIÓN

El Ecuador se ubica en la parte NO de Sudamérica, entre las latitudes de 1° N y 4° S, siendo partícipe de un límite convergente entre las placas Nazca y Sudamericana que están relacionadas a un proceso de subducción con una velocidad promedio de 5-7 cm/año. Este proceso de subducción tiene esta tendencia desde hace 27 Ma (Trenkamp et al., 2002). Esta interacción de placas tectónicas, asociadas a un proceso de subducción activo, permite dividir al país estructuralmente en tres zonas: la planicie Costera Occidental (La Costa), la región central Andina (La Sierra) y en el Este la cuenca Amazónica (el Oriente). Ellas representan las zonas de ante-arco, arco volcánico y tras-arco respectivamente. Además se debe recalcar que la cordillera asísmica de Carnegie, generada en el punto caliente de Galápagos y que tiene unas dimensiones aproximadas de 400 Km de ancho y 2 Km de alto, también interactúa en el proceso de subducción frente a las costas ecuatorianas, tal como se puede apreciar en la figura 2.1 (Vallejo, 2007).

La Región Costa, en base a estudios gravimétricos de anomalías de Bouguer y observaciones de campo, se considera como un terreno alóctono de origen oceánico acrecionado al margen continental durante el Cretácico Tardío – Terciario Temprano (Benítez, 1995). Esta corteza oceánica, que continúa hacia el Este, constituiría la base de la corteza de los Andes en el Ecuador. Sobre éste conjunto litológico, se desarrolla la cuenca de ante-arco rellena de potentes secuencias sedimentarias de origen continental del Neógeno y Cuaternario. Parte de estos depósitos se pueden observar en la figura 2.2 que corresponde a la parte norte de la Costa y que ha sido tomada del mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana (Reyes P. y Michaud F., 2012).

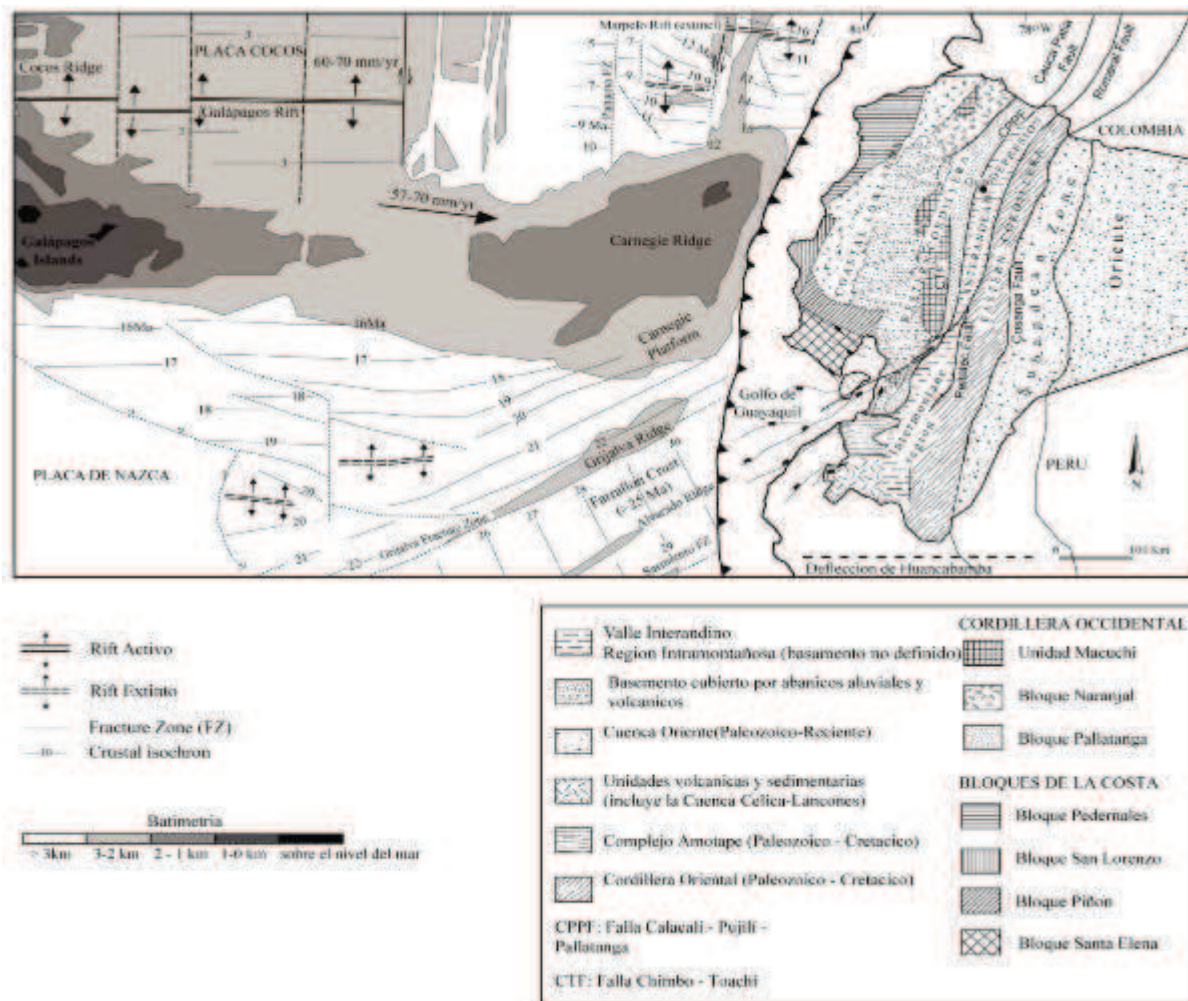


Figura 2.1: Marco Geodinámico de Ecuador continental e insular, de la Placa de Nazca. Tomado de Vallejo, 2007.

Desde el Eoceno esta región permanece como una cuenca de ante-arco, subdividida en pequeñas cuencas separadas por fallas oblicuas a la zona de subducción que comenzaron a funcionar en el Oligoceno. Dentro de este aspecto tenemos a las cuencas de Borbón al Norte, Manabí al centro y Progreso al Sur. La Cordillera Chongón - Colonche corresponde al desarrollo orográfico, de dirección NNW - SSE, desde Guayaquil hasta el sector de Olón - Pedro Pablo Gómez y la Cordillera Costera corresponde al desarrollo orográfico, que se ubica hacia el Norte de la Cordillera Chongón - Colonche, con dirección aproximada N-S, la cual tiene esporádicas interrupciones (Jaillard et al., 1997; Reynaud, 1999).

Si se habla de la estratigrafía de la región, se puede decir que la Fm. Piñón, correspondiente al basamento, es un complejo ígneo de afinidad oceánica. Sobre este basamento se encuentran las rocas volcano sedimentarias de la Fm. Cayo, depositadas en ambiente marino profundo, intercaladas con lutitas marinas de la Fm. Guayaquil que finalizan su depósito en el Maastrichtiano. El Paleógeno aparece en Santa Elena y se considera como un prisma de acreción, depositado en ambiente batial y abisal, constituido por los grupos Azúcar y Ancón. Durante el Eoceno Medio - Superior se produjo un incremento del nivel del mar en la Costa, produciendo el depósito de las calizas arrecifales San Eduardo, Javita y Punta Ostiones. En el Oligoceno se produjo un período de erosión debido a un cambio eustático, sin embargo se depositaron las areniscas y lutitas marinas de la Fm. Pambil, Fm. Playa Rica y Fm. Zapotal (Jaillard et al., 1997).

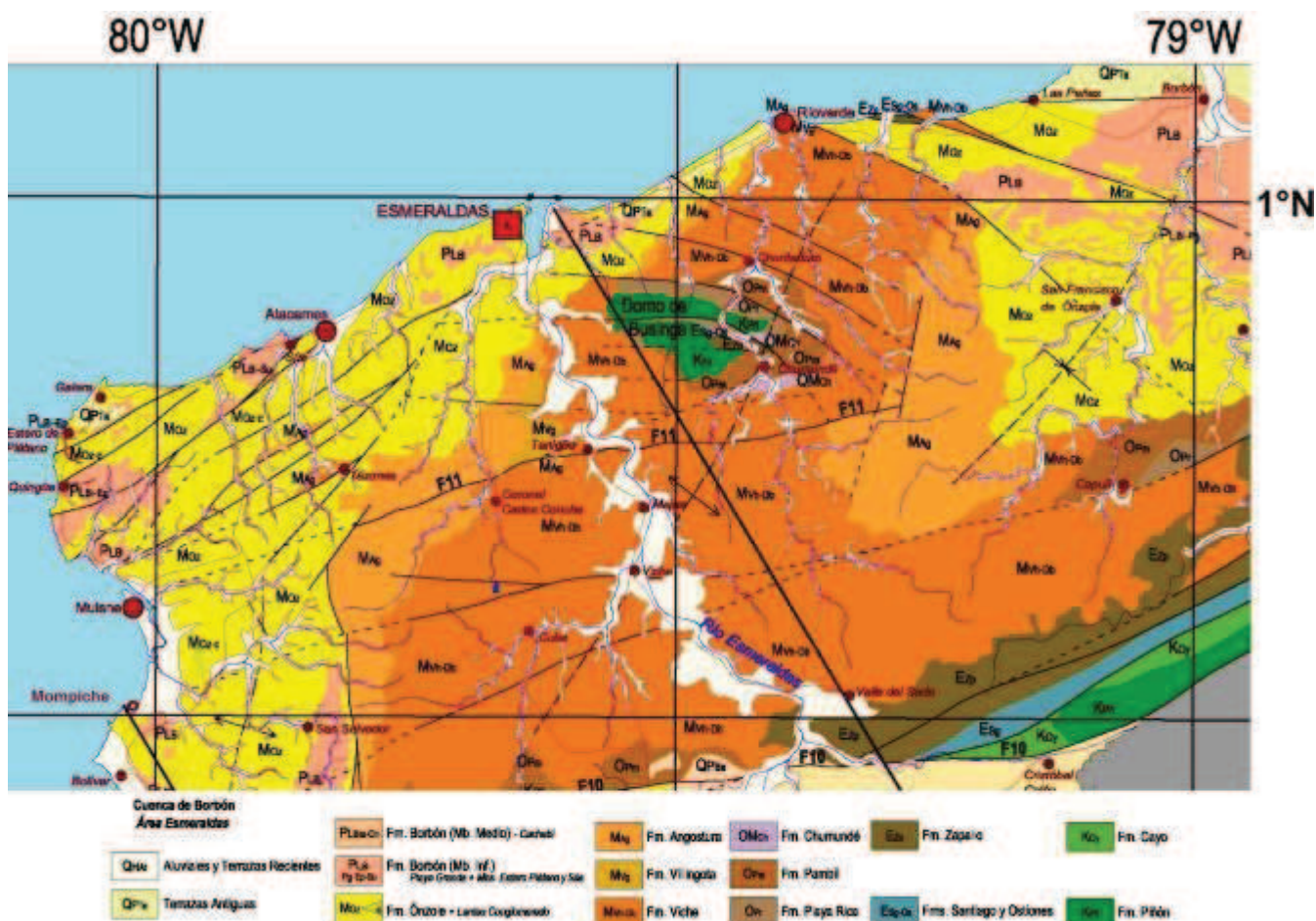


Figura 2.2: Esquema Geológico y estructural de la Provincia de Esmeraldas Tomado del Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana, Reyes P. y Michaud F., 2012 (escala 1:500000)

En el Mioceno Inferior se depositaron las formaciones marinas arcillosas de Dos Bocas, Subibaja, San Antonio, Tosagua y Viche, mientras que durante el Mioceno Medio - Superior en la cuenca Progreso se depositó una secuencia de sedimentos de ambiente de estuario - deltaico en aguas salobres, formados por arenas y limolitas de la Fm. Progreso. Al Norte de la Cordillera Chongón – Colonche se depositaron las lutitas marinas de las Fm. Angostura y Onzole Inferior. Sobre ésta se depositaron los sedimentos del Plioceno formados por areniscas y arcillas marinas de la Fm. Puná, Fm. Onzole Superior y Fm. Borbón. Ya en el Cuaternario ocurre la depositación de los sedimentos de la Fm. Tablazo (Reynaud et al., 1999).

2.2 GEODINÁMICA ACTUAL

El Ecuador se encuentra ubicado en América del Sur hacia el llamado Bloque Norandino. La geodinámica de esta zona está controlada por la interacción de las placas convergentes Nazca y Sudamericana. El bloque Norandino está siendo acortado y es empujado en dirección N-NE hacia la placa Caribe, debido a la convergencia en dirección E-O entre las placas Nazca y Sudamericana, lo cual está representado en la figura 2.3. Esta convergencia se manifiesta en la placa Sudamérica por medio de fallas dextrales con dirección NNE. Dicho sistema de fallas correspondería a la prolongación hacia el Sur del límite entre las placas Nazca y Sudamérica. Los principales sistemas de falla que limitan el bloque Norandino tienen una dirección oblicua a los Andes ecuatorianos, empezando por el Golfo de Guayaquil (falla Puná - Santa Clara) siguiendo a través de la cordillera Occidental (falla Pallatanga) y en el borde oriental de la Cordillera Real (falla Chingual). Estas fallas principales NE-SW muestran morfología y rasgos de movimiento transcurrentes dextrales (Egüez et al., 2003).

El sistema de subducción ecuatoriano está altamente influenciado por la subducción del ridge de Carnegie y por las rajaduras litosféricas dentro de la placa Nazca que éste provoca. El ridge de Carnegie es una cordillera asísmica creada a partir del punto caliente de Galápagos, que se encuentra sobre la placa Nazca, ubicándose bajo el archipiélago del mismo nombre, a 1000 km

aproximadamente de las costas ecuatorianas. Desde su lugar de origen se extiende en una dirección aproximada E-W, y choca con la placa Sudamericana. Este proceso ha influenciado en la actividad sísmica, volcánica del país y en la deformación de los Andes junto con el movimiento del bloque Norandino (Gutscher et al., 1999).

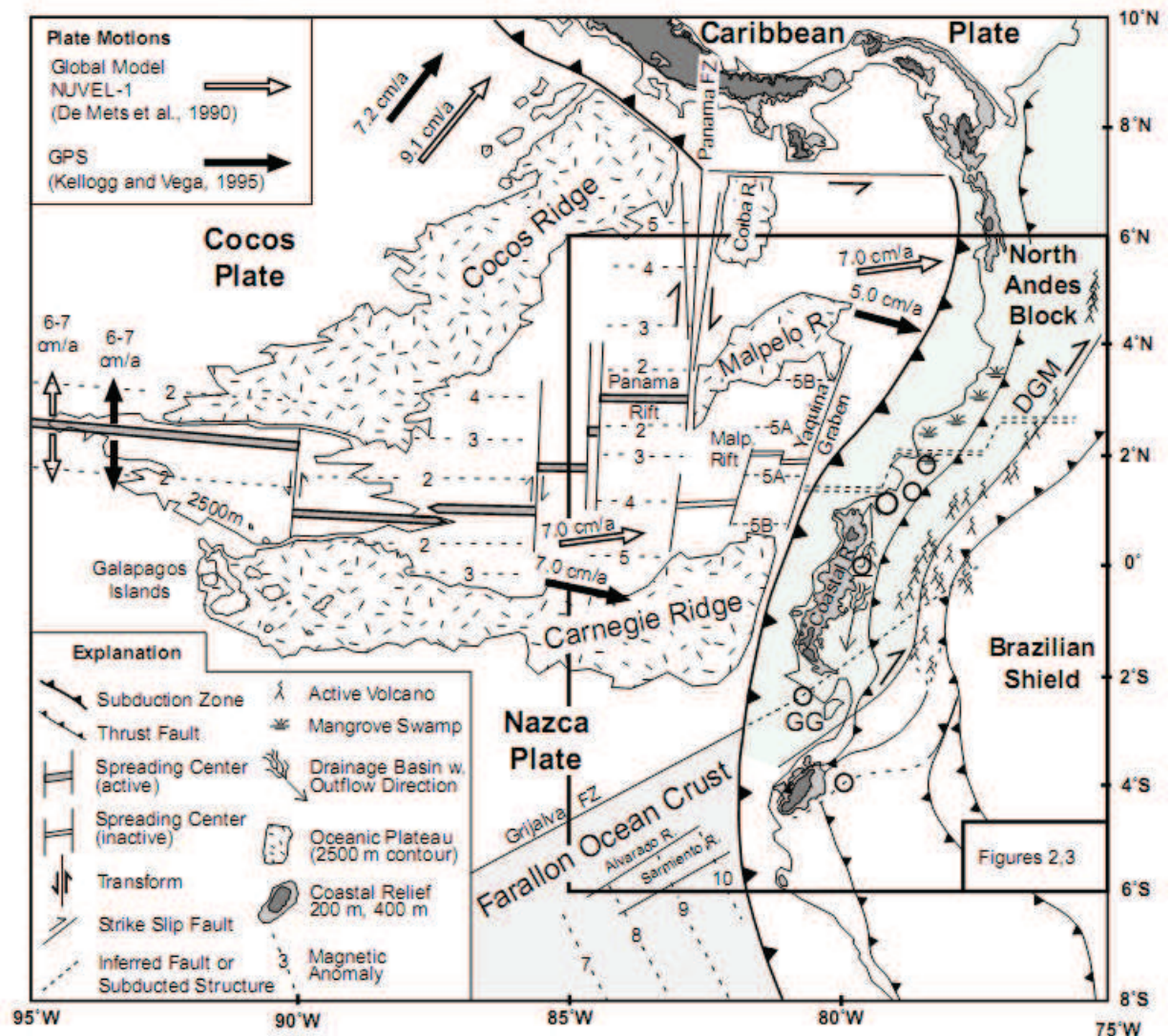


Figura 2.3: Esquema geodinámico del Ecuador y las placas asociadas en el proceso de subducción, además del Ridge de Carnegie.

Tomado de Gutscher et al. 1999

Por las razones presentadas en los párrafos anteriores de este subcapítulo, la estructura del margen continental que posee un ancho aproximado de 200 km es bastante compleja y refleja la intensa actividad tectónica que sufrió el país desde el final del Cretácico. Este margen continental está compuesto de terrenos de

afinidad continental hacia el Este, mientras que al Oeste los terrenos están considerados de una afinidad oceánica, siendo el principal terreno costero la Fm. Piñón, que es sobreyacida por material de los arcos volcánicos de San Lorenzo y Cayo del Cretácico Tardío – Paleoceno (tal como se observa en la figura 2.4) y por las cuencas de ante-arco de Borbón, Manabí y Progreso. El Paleógeno y Neógeno del margen continental están representados por cuencas de ante-arco rellenas de sedimentos marinos durante periodos de alta velocidad de convergencia, en promedio 200 mm/a hace 48 y 37 Ma, y erosión o deposición continental durante periodos de baja convergencia, aproximadamente 44 mm/a hace 37 y 20 Ma (Goosens y Rose, 1973; Daly, 1989; Litherland et al., 1994; Jaillard et al., 1997; Deniaud, 2000).

2.3 GEOMORFOLOGÍA DE LA COSTA

La región costanera se ubica al Oeste de los Andes desde alturas por debajo de los 600 metros sobre el nivel del mar. Comprende la gran planicie entre el Océano Pacífico y la cadena montañosa de los Andes, ha sido identificada como la zona de ante-arco que corresponde a un terreno alóctono, acrecionado al margen continental en el Cretácico Tardío - Terciario Temprano, su máxima extensión lateral es de 200 km. Está compuesta de dos zonas principales, separadas por la falla Chongón - Colonche, la que se interpreta como un rasgo paleogeográfico mayor. Al Norte de ésta falla, en la Cordillera Chongón - Colonche y la cuenca de Manabí, los depósitos se caracterizan por ser del Eoceno Medio a Superior que sobreyacen inconformemente a los depósitos del intervalo del Cretácico Inferior - Paleoceno Inferior. Al Sur de la falla Chongón – Colonche, la Península de Santa Elena se caracteriza por tener una potente secuencia de depósitos del Paleoceno Superior y por el desarrollo de la cuenca Progreso de edad neógena (Jaillard et al., 1995).

En este sitio, la cuenca Progreso está limitada por el ramal de la falla Chongón – Colonche llamada Falla Carrizal y por la falla de La Cruz, probablemente heredadas de la colisión del Eoceno. La evolución de las cuencas neógenas es

contemporánea con la de las cuencas intramontañosas de los Andes, controlada por un régimen de transtensión – transpresión. Topográficamente, las partes del occidente y noroccidente, presentan relieves moderados constituidos por la cordillera Costanera, bien representada al Norte, entre Esmeraldas y Chone y al Sur entre Portoviejo y Jipijapa con una dirección NNE – SSO y unas alturas máximas de 600 m. La geomorfología se encuentra directamente relacionada con la litología de las formaciones costeras, disminuyendo el relieve de Oeste a Este, de 600 a 10 m. Relieves muy bajos y valles aluviales extensos ocupan el espacio de la cordillera entre Portoviejo y Chone. Al NE del río Esmeraldas, relieves bien divididos bajan suavemente desde el pie de la cordillera hasta el océano. La Península de Santa Elena y la Isla Puná se caracterizan por zonas con elevaciones entre 100 y 200 metros sobre el nivel del mar, cerros aislados y planicies bajas cerca del mar. Al pie de los Andes se extiende una gran planicie de 80 km de ancho que está ligeramente dividida al Norte cerca de Santo Domingo de la Tsáchilas donde alcanza 600 metros sobre el nivel del mar y baja suavemente hacia el NO (200 m en Quinindé) y hacia el Sur (20 m en Babahoyo) donde es sustituida por una llanura aluvial, drenada por grandes ríos meándricos y es parcialmente inundable (Jaillard et al., 1995).

2.4 GEOLOGÍA DEL BASAMENTO DE LA COSTA NORTE

La Costa y la Cordillera Occidental del Ecuador están caracterizadas por la presencia de terrenos oceánicos acrecionados al margen andino entre el Santoniano – Campaniano y el Eoceno, los fragmentos de la corteza tienen afinidad de plateau oceánico. La secuencia de plateau más antigua correspondería al Cretácico Temprano (Jaillard et al., 1997). Los basaltos y diabasas de la Fm Piñón expuesta en la parte SO de la Costa, podrían representar los fragmentos de éste plateau del Cretácico Temprano. La secuencia de plateau más joven corresponde a las picritas, ankaramitas y basaltos ricos en Mg, los mismos que son similares a los del Cretácico Tardío que pertenecen al Plateau Oceánico Caribe - Colombiano (POCC), esta secuencia podría

representar un fragmento del POCC que se acrecionó al margen continental (Cosma et al., 1998).

Los fragmentos de este plateau se han identificado en la parte central de la Cordillera Occidental del Ecuador (Unidad Pallatanga) y en la parte norte de la Costa (Unidad Pedernales). Hay que mencionar que la acreción de los terrenos oceánicos no fue total en todo el margen a un solo momento, sino que fue ocurriendo de forma periódica, lo que generó la formación de las unidades litológicas, tanto de la Cordillera Occidental como del basamento de la Costa, con la disposición que se observa en la actualidad (Evans y Whittaker, 1982). Cabe recalcar que en base a los estudios realizados en esta región, se tendría que no existe un límite definido entre los depósitos del Eoceno Temprano y del Eoceno Tardío como se puede observar en la figura 2.4 (Mamberti et al., 2003 ; Coello 2009).

2.4.1 FORMACIÓN PIÑÓN (APTIANO – ALBIANO)

Se la considera como el basamento de la Costa, existen afloramientos representativos de esta formación cerca de la Cordillera Chongón - Colonche y en la parte SO de la Península de Santa Elena, también en la cuenca de Manabí. Está compuesta principalmente de rocas volcánicas básicas, siendo parte de la antigua corteza oceánica acrecionada. Litológicamente se la describe como un complejo ígneo, formado por rocas extrusivas, compuesto de basaltos en almohadillas, de color negro y aspecto ceroso, basaltos afaníticos y diabasas en forma de lavas, así como harzburgitas intercaladas con brechas, aglomerados y en menor proporción argilitas tobáceas, limolitas y areniscas en capas delgadas (Jaillard et al., 1995; Ordóñez et al., 2006; Ordóñez, 2007).

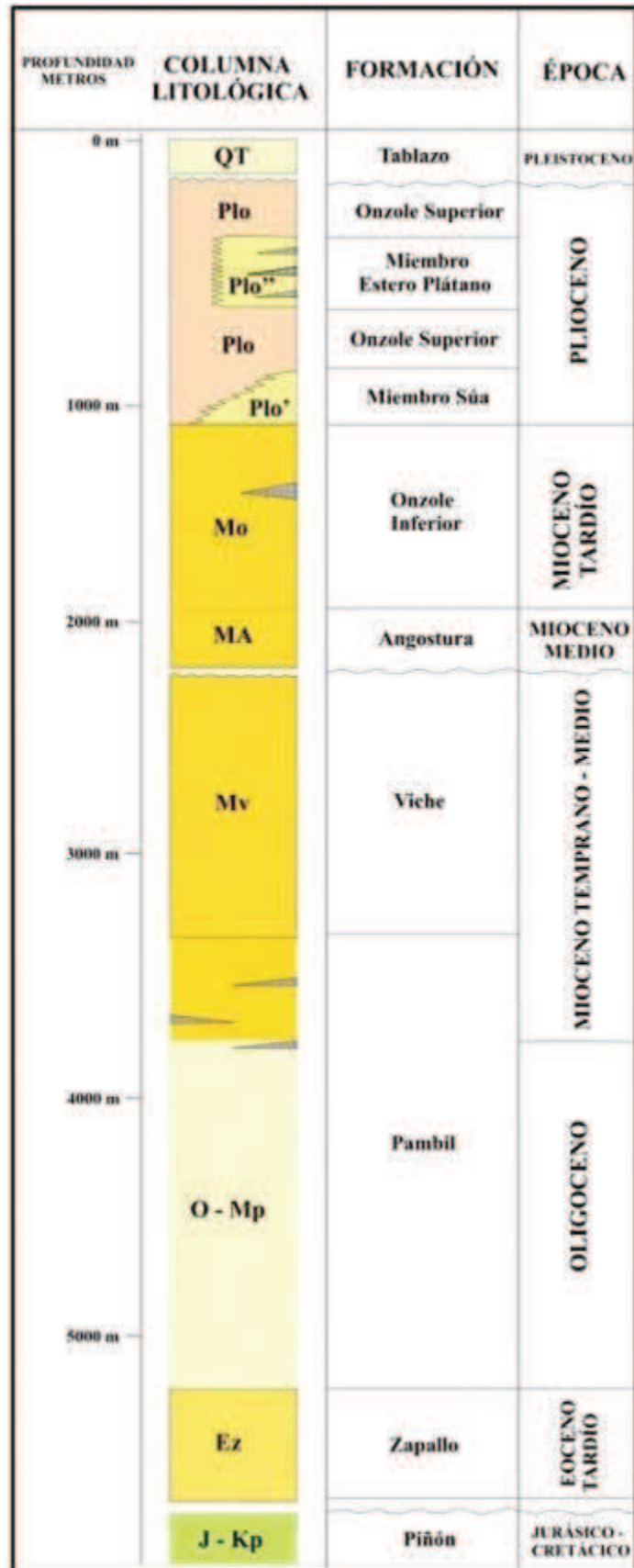


Figura 2.4: Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Borbón
Tomado de Coello, 2009; Modificado de Evans y Whittaker 1982

2.4.2 FORMACIÓN ZAPALLO (EOCENO MEDIO - SUPERIOR)

Ésta formación está compuesta por lodolitas bien estratificadas con capas delgadas de arenisca. Posee un color verde a gris cuando está sin alteraciones. Son comunes los lentes o diques de chert fracturados y atravesados por vetas de cuarzo. Hay capas gruesas aisladas de arenisca. El espesor medido de la formación alcanza 700 m (Savoyat et al., 1970).

2.5 GEOLOGÍA DE LAS UNIDADES NEÓGENAS DE LA COSTA NORTE

La Costa funciona como una cuenca ante-arco desde el Eoceno y está subdividida en pequeñas cuencas que comenzaron a funcionar en el Oligoceno tal como se divide en la figura 2.6. Debido a la ubicación de la zona de estudio y a la variabilidad en la litología y estratigrafía de la cuenca de ante-arco del Ecuador, se describirán las formaciones que están sobre el basamento, ubicado en la Cuenca Sedimentaria Borbón y en la Provincia de Esmeraldas (como se observa también en la columna estratigráfica de la figura 2.5).

2.5.1 FORMACIÓN PAMBIL (OLIGOCENO SUPERIOR – MIOCENO INFERIOR)

Compuesta de arenas finas en forma de lajas y lodolitas sin chert. Las arenas varían en espesores. Las lodolitas son de color habano a verde y a menudo con vetas de yeso. El espesor de la formación alcanza cerca de 2000 m (Savoyat et al., 1970).

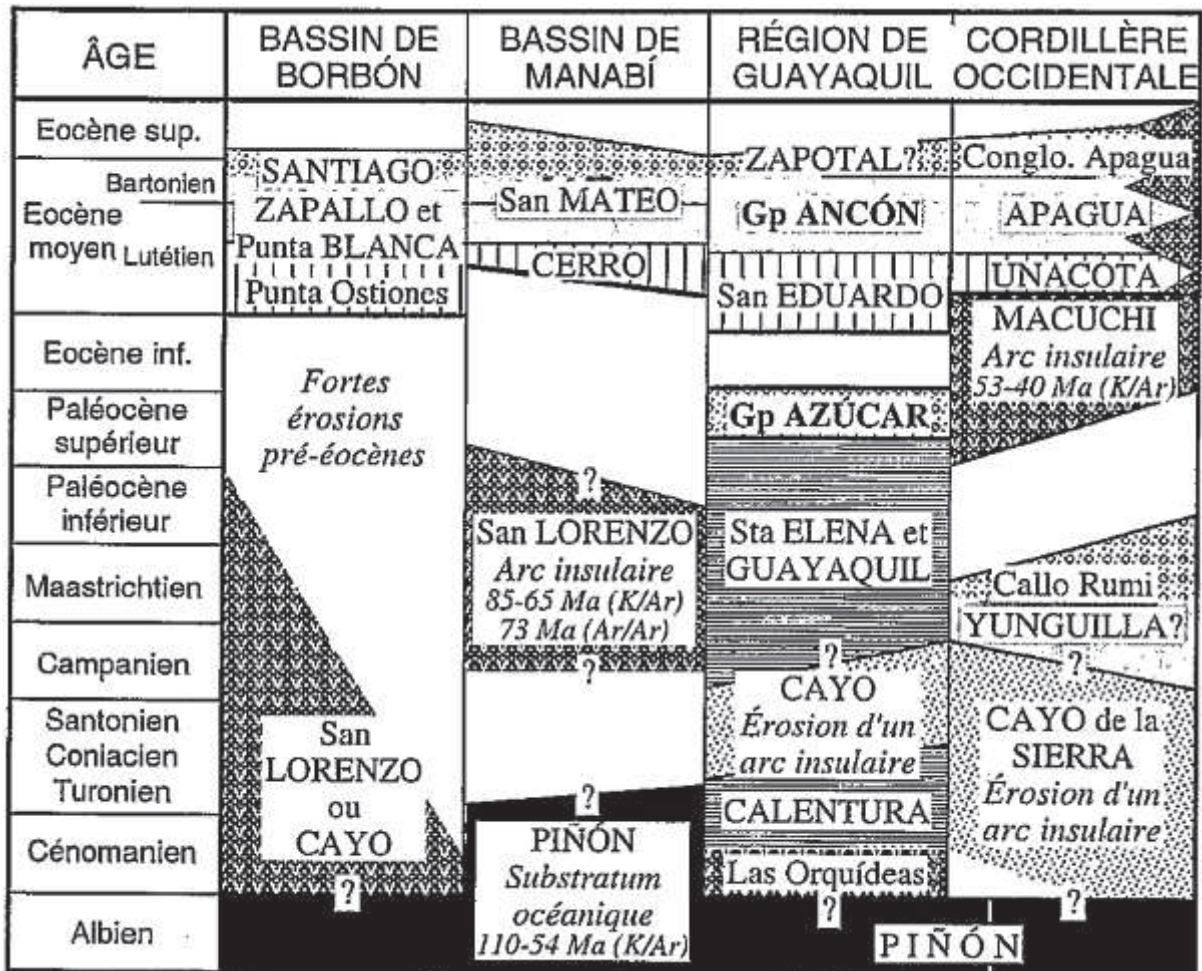


Figura 2.5: Esquema de las formaciones en las cuencas sedimentarias en la Costa. Tomado de Jaillard et al., 1997

2.5.2 FORMACIÓN VICHE (MIOCENO INFERIOR - MEDIO)

Compuesta por arcilla limosa con lentes calcáreas. Se diferencia de la Fm Pambil por tener su litología más uniforme y por la ausencia de areniscas en forma de lajas. Las lodolitas tienen bandas calcáreas; hay que remarcar la estratificación presente. La roca fresca es verde oscura y meteorizada adquiere un color habano. También se encuentran pocas bandas delgadas de tobas grises claras. Abarca un espesor de 1000 m. Ricas asociaciones de foraminíferos planctónicos y bentónicos indican un ambiente deposicional batial profundo (Savoyat et al., 1970).

2.5.3 FORMACIÓN ANGOSTURA (MIOCENO MEDIO)

Es una formación típicamente encontrada en la Cuenca de Borbón, en el sector del río Santiago, compuesta por un conglomerado basal de unos 40 m de espesor, seguido de unos 35 m de sedimentos arenosos y limosos de aspecto masivo, con lamelibranquios, gasterópodos y escafópodos. Las areniscas son de color amarillo a rojizo, a menudo con estratificación cruzada. Se vuelve más fina y más uniforme hacia el Oeste donde contiene intercalaciones lodolíticas. Las areniscas pasan arriba transicionalmente a la Fm Onzole. Corresponde a un paleoambiente marino de plataforma interna (Ordóñez et al., 2007).

2.5.4 FORMACIÓN ONZOLE (MIOCENO TARDÍO – PLIOCENO)

Está compuesta por dos miembros principales, uno Inferior y otro Superior, que se encuentran separados por las areniscas del Miembro Sua y por el Miembro Estero Plátano que sobreyace al miembro Sua. Las areniscas bioturbadas son de color naranja a gris amarillento, son de grano grueso a fino con lentes e intercalaciones de limolitas. El contacto inferior varía desde una discordancia, hasta una discontinuidad plana, y el contacto con la capa suprayacente es gradacional.

2.5.4.1 Miembro Onzole Inferior (Mioceno Tardío)

Consiste de lodolitas y limolitas bien estratificadas con listones de areniscas finas. Es difícil distinguirla de la formación Viche. Tiene un color verde oscuro a gris, abarca un espesor de 800 m aproximadamente. Corresponde a un paleoambiente de plataforma continental (Savoyat et al., 1970).

2.5.4.2 Miembro Sua (Plioceno Temprano)

Está compuesto de areniscas anaranjadas a amarillas, de grano medio a fino, variando de macizas a bien estratificadas. Son comunes los lentes de detritos de moluscos y las intercalaciones de lodolitas. Su máximo espesor llega a 250 m (Whittaker, 1982).

2.5.4.3 Miembro Estero Plátano (Plioceno Temprano)

Está compuesto por una alternancia de areniscas y lodolitas medias a finas, con un espesor aproximado de 300 m, las areniscas a la base tienen un color café a rojizo claro, de grano medio. Existen también concreciones calcáreas redondas de 25 cm de diámetro. En la parte superior hay presencia de lentes de conglomerados y arenas (Whittaker, 1988).

2.5.4.4 Miembro Onzole Superior (Plioceno)

Está compuesto de turbiditas pelíticas de grano fino, con bioturbación restringida al tope de los estratos. Dichos estratos consisten de ceniza volcánica y turbiditas limo - arenosas glauconíticas. Se le asigna un paleoambiente de plataforma externa a talud continental (Aalto y Miller, 1999).

2.5.5 FORMACIÓN BORBÓN (PLIOCENO - PLEISTOCENO TEMPRANO)

Se presenta con un nivel inferior de areniscas de grano fino a grueso, localmente con una apariencia conglomerática e intercaladas con niveles calcáreos de abundantes microfósiles. En la parte superior se presenta con arcillas localmente

bentónicas, intercaladas con areniscas y limolitas. Su presencia es regional en la Costa Norte (Ordóñez et al., 2006).

2.5.6 FORMACIÓN TABLAZO (PLEISTOCENO)

Compuesta por arena gris, cubre un área plana al Norte de Mompiche, en la provincia de Esmeraldas, con una potencia de 4 m. Consiste de arenas fácilmente fracturables, horizontalmente estratificadas, de grano medio a fino y de color caqui, con algunas bifurcaciones de grava hacia el tope, también de coquinas conglomeráticas y calcarenitas bioclásticas gruesas a finas con gradación vertical y arenas calcáreas mal clasificadas. En general, la potencia de la formación varía entre 2 y 5 m, pero se observan sitios donde desaparece lateralmente.

2.5.7 DEPÓSITOS ALUVIALES Y TERRAZAS (CUATERNARIO)

Están compuestos por varios niveles, visibles en especial en las cuencas de los ríos. Las terrazas consisten de arena gris, media a fina con lentes variables de grava. El nivel de terraza inferior es la extensión del nivel de terraza actual, su área aumenta durante la estación seca, cuando el nivel del río disminuye para exponer planicies anchas de grava.

2.6 EVOLUCIÓN TECTÓNICA

El Ecuador al estar al NO del continente sudamericano se encuentra afectado por fenómenos sísmicos y volcánicos, debido a que forma parte del cinturón de fuego del Océano Pacífico, que geodinámicamente tiene relación directa con un límite de placas convergente. La tectónica asociada a las zonas de subducción está

relacionada con la densidad de las placas subducidas, la velocidad de convergencia y los efectos de resistencia a dicha subducción. En base a investigaciones en esta zona, se ha determinado que el movimiento de placas y la subducción funcionan de la forma actual desde hace 26 Ma, cuando se generó la ruptura de la placa Farallón en las placas de Nazca y Cocos. El basamento cristalino de la Costa, en general, está constituido por rocas de la Fm. Piñón, consideradas como fragmentos de corteza oceánica acrecionada en el Terciario Inferior. Sobreyaciendo concordantemente a este basamento basáltico, se encuentran los sedimentos pelágicos de la Formación Cayo (Santoniano - Maastrichtiano), considerados como piso oceánico suprayacente, esta distribución en el basamento costero se lo puede apreciar en la figura 2.6. Los depósitos del Paleoceno al Eoceno fueron emplazados tectónicamente a su actual posición, mediante sucesivas fallas inversas escalonadas, como consecuencia de la subducción de la placa oceánica Farallón y posteriormente de la placa Nazca, como se mencionó anteriormente (Jaillard et al., 1997).

Durante el Cenozoico (Oligoceno Superior), se produce una sedimentación marina litoral. Los sedimentos se acumulan en cuencas subsidentes de ante-arco, limitadas por rasgos estructurales heredados de la evolución geodinámica del Paleógeno. Al terminar esta etapa geológica se marca la finalización de las acreciones de terrenos alóctonos y hace que el aspecto del territorio ecuatoriano sea muy similar a su aspecto actual. Luego del hiato sedimentario del Oligoceno Inferior - Medio, en el que se produjo el levantamiento general de la Costa a partir del Oligoceno Superior - Mioceno Inferior, se forman las cuencas sedimentarias neógenas de ante-arco: Borbón, Manabí, Progreso y Jambelí, limitadas por fallas y por la Cordillera Chongón - Colonche. Estas cuencas sedimentarias comienzan su relleno en el Oligoceno Superior - Mioceno Inferior y continúan hasta el Plioceno, teniendo una evolución sedimentaria neógena semejante entre sí (Jaillard et al., 1997, Reynaud et al., 1999).

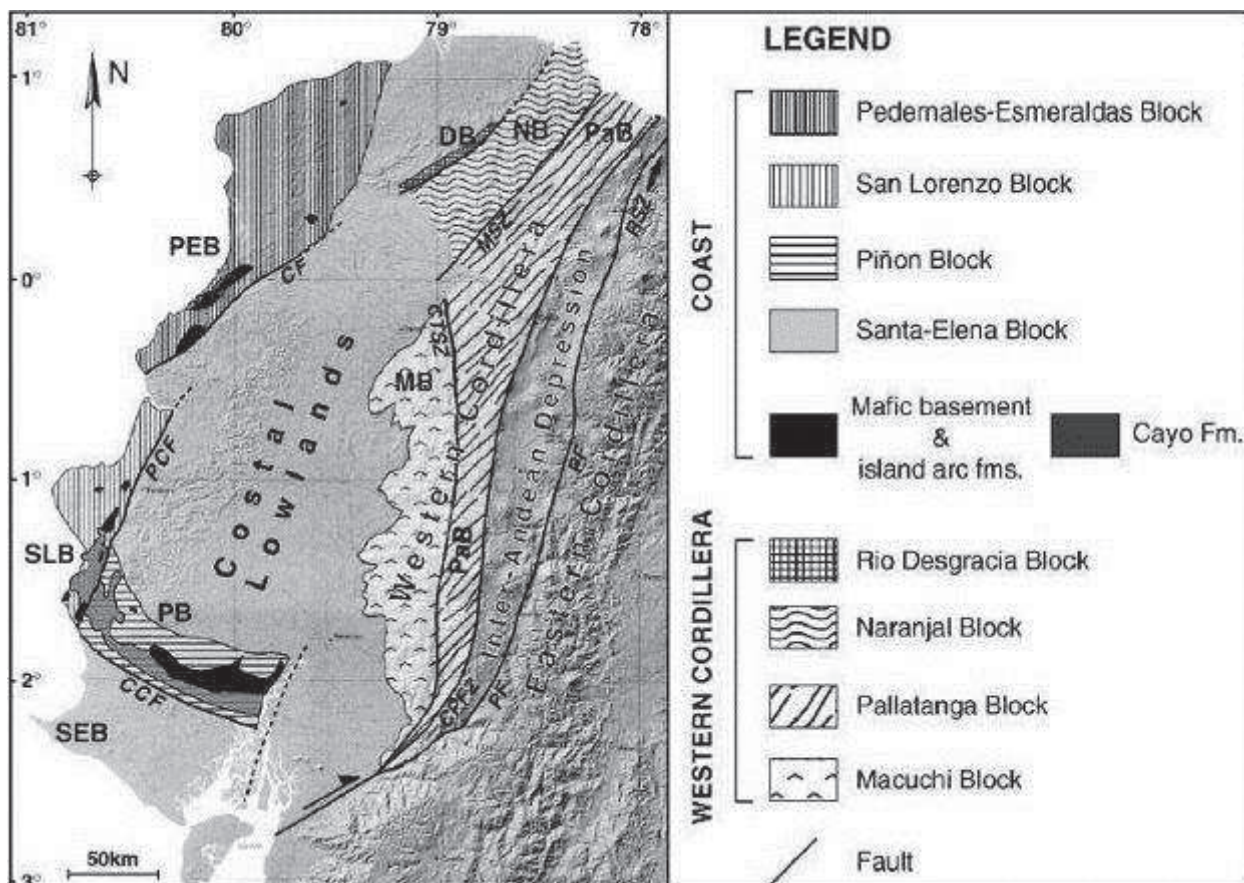


Figura 2.6: Mapa de unidades tectono - estratigráficas en el ante-arco ecuatoriano
Tomado de Luzieux, 2006

Abreviaciones: CCF, Falla de Chongón-Colonche; CF, Falla Canandé; CTSZ, Zona de Cizalla Chimbo - Toachi; CPFZ, Zona de Falla Calacalí - Pujilí; DB, Bloque Desgracia; MB, Bloque Macuchi; MSZ, Zona de Cizalla Mulaute; NB, Bloque Naranjal; PaB, Bloque Pallatanga; PB, Bloque Piñón; PEB, Bloque Pedemales - Esmeraldas; PCF, Falla Puerto Cayo; PF, Falla Pallatanga; RSZ, Zona de Sutura Romeral; SEB, Bloque Santa-Elena; SLB, Bloque San Lorenzo.

El Neógeno en la Costa es poco deformado, con unidades que muestran basculamientos y pliegues de alto radio de curvatura. No se han identificado discordancias angulares, lo que indica que la tectónica del Cenozoico Superior, no ha tenido efectos estructurales importantes en esta parte del país. En general, la sedimentación terciaria estuvo controlada por una subsidencia diferencial continua en las cuencas mencionadas, lo cual permitió la acumulación de sucesiones sedimentarias de gran espesor, aproximadamente 4000 m en la Cuenca Borbón. Durante el Cuaternario se produjo la formación de terrazas bioclásticas marinas escalonadas llamadas Fm Tablazo, que consisten de por lo menos tres terrazas atribuidas al Pleistoceno, bien desarrolladas en las áreas de Manta, Santa Elena e Isla Puná (Luzieux, 2006).

2.6.1 ACRECIÓN DE TERRENOS ALÓCTONOS

Durante el final del Mioceno y hacia el Plioceno Temprano, el margen oeste del Ecuador en su parte central sufrió una considerable deformación compresiva. Esto produjo el levantamiento paulatino de la Cordillera de la Costa hasta la línea actual, y la emersión de las cuencas Progreso y Manabí. Las rocas sedimentarias marinas del Plioceno al Pleistoceno están principalmente preservadas en depocentros localizados costa afuera (Daly, 1989; Deniaud et al., 1999). En general se puede expresar que el ante-arco ecuatoriano está conformado por los bloques Piñón, San Lorenzo, Pedernales - Esmeraldas y Santa Elena, todos estos subyacidos por un basamento máfico que corresponde a la Fm. Piñón, cubierto por lavas con afinidad de arco de islas (Fm. San Lorenzo y Fm. Las Orquídeas) y una espesa cubierta volcanoclástica de la Fm. Cayo (Luzieux, 2006).

Estas rocas se consideran como un Complejo Ígneo Básico y son derivadas del plateau oceánico generado en el Cretácico Temprano, que fue acrecionado contra el margen Sudamericano entre el Paleoceno Tardío y el Eoceno Tardío. La falla de Calacalí - Pujilí - Pallatanga es la zona de sutura que representa el límite entre el basamento continental y el basamento oceánico que corresponde al plateau oceánico del Cretácico Tardío. Los bloques Piñón y San Lorenzo, así como también el bloque Pallatanga en la Cordillera Occidental, son derivados de un bloque oceánico proveniente de un punto caliente, hace 90 a 87 Ma en la latitud ecuatorial. Se interpreta entonces que los Bloques Piñón, San Lorenzo y Pallatanga formaron parte del Plateau Oceánico Caribe Colombiano (POCC) (Vallejo, 2007).

La subsecuente deriva de éste plateau hacia el E-NE lo condujo hacia el margen Sudamericano, culminando con un evento de colisión en el Cretácico Tardío. Los bloques Piñón y San Lorenzo estaban localizados en una posición distal mayor hacia el margen Sudamericano en relación al bloque Pallatanga, a pesar de esto, los bloques todavía registran la colisión a través de una rotación horaria de 40° a 50°. La deformación de las rocas sedimentarias que sellan la sutura del margen Sudamericano y el plateau en el bloque Pallatanga, contrasta con los lugares sin

deformación presentes en los bloques de la Costa. Esto tiene explicación si se considera que los bloques Pallatanga, Piñón y San Lorenzo fueron incorporados dentro del ante-arco sudamericano. El evento de colisión dio un rápido enfriamiento y exhumación del margen paleo - continental de Sudamérica hace 73 a 65 Ma (Spikings et al., 2001 y Luzieux, 2006).

El levantamiento tectónico costero y las fluctuaciones en el nivel del mar durante las glaciaciones producidas en el Cuaternario dieron como resultado la formación de terrazas marinas. La presencia de terrazas marinas en la costa ecuatoriana se identifica en tres zonas principales: la Península de Santa Elena al Sur, Punta Galera en la Provincia de Esmeraldas al Norte, y en el sector de Manta y de la Isla de La Plata en el centro de la región, donde se observan las terrazas más altas.

Manta y la isla de La Plata se encuentran frente a la zona de la subducción de la Cordillera de Carnegie. Esto sugiere que la Cordillera de Carnegie es la responsable del exceso de levantamiento que se observa allí, si lo comparamos con el levantamiento observado en otros lugares de la región como Esmeraldas, Santa Elena. En Punta Galera, las terrazas marinas cubren un área de 3 a 5 km de ancho y 15 a 20 km de largo (Pedoja et al., 2006; Hernández, 2012).

2.6.2 LEVANTAMIENTO DE LA CORDILLERA COSTERA

La Cordillera Costera del Ecuador corresponde a una estructura heterogénea, formada por relieves medios que varían entre los 300 a 600 metros en su altitud, está constituida por litologías muy variadas que cubren rocas desde Cretácico hasta el Cuaternario. El levantamiento generalizado de esta cordillera empezó después de la depositación de la Formación Borbón, que corresponde a la última formación de origen marino que posee una extensión regional. El estudio de esta cordillera se basó en el análisis de terrazas marinas, además en base a estudios geológicos regionales. Se puede diferenciar en la cordillera costera la existencia de seis bloques geomorfológicos, siendo estos: Portoviejo, Chongón - Colonche, Jipijapa, Bahía - Jama, Mache - Río Verde y Manta. Estos bloques están

caracterizados por un comportamiento y evolución independiente cada uno de ellos. Los más antiguos comienzan su desarrollo desde la parte central del Ecuador con el bloque Portoviejo, posteriormente se propagan hacia el Sur con los bloques Chongón - Colonche y Jipijapa, y finalmente terminan su evolución con el levantamiento en la zona norte de la cordillera con los bloques Bahía - Jama, Mache - Río Verde y Manta. Dentro de la evolución de estos bloques se han determinado dos grandes sistemas de fallas, el sistema de Jipijapa y el sistema de Jama. El Bloque Pedernales – Esmeraldas está limitado del resto de la cordillera costanera por la Falla Canandé, equivalente al sistema de fallas de Jama costa adentro, aspecto visible en la figura 2.6 (Luzieux, 2006; Reyes, 2008; Vallejo, 2007; Hernández 2012).

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar la interpretación de la información recolectada en el campo, y poder generar el modelo de la geología de la zona de estudio, se debe hacer un análisis de los datos recolectados en los afloramientos del área. Las descripciones geológicas de las diferentes formaciones rocosas se basan en las interpretaciones propias, también en las definiciones existentes en léxicos estratigráficos generales del país, tales como el léxico de Bristow y Hoffstetter de 1977 y de Duque del 2000 y asociando descripciones de trabajos anteriores realizados en zonas cercanas al área de estudio como son los de Reyes (2008), Coello (2009) o Hernández (2012).

Las formaciones rocosas visibles en la zona de estudio, son presentadas en orden cronológico relativo basado en los diferentes léxicos estratigráficos existentes. Los rasgos estructurales que se explican en este capítulo, han sido detallados en base a interpretaciones de los datos recolectados en campo, así como a información observada en varias fotografías aéreas y otras imágenes con ayuda de software que permite la visualización de la morfología del terreno (ArcGIS, Erdas Image) y también con la cartografía existente para el desarrollo de este proyecto. Toda esta información se relaciona con lo descrito en la geología regional en el capítulo 2. La vegetación en el área de estudio es bastante densa y esto causa ciertas complicaciones al momento de hacer las interpretaciones litológicas pero con los recorridos por los caminos, senderos, ríos y cauces de agua estacionales se han generado las descripciones litológicas para este capítulo.

Dentro del trabajo de campo realizado en la zona de estudio, se recolectó información en varios lugares de afloramientos, que han servido para realizar la descripción geológica de la zona. Cada observación fue realizada siguiendo un orden para la adquisición de los datos geológicos que permitan realizar las interpretaciones del caso dentro del área de trabajo, dicho orden se detalla en el subcapítulo 3.1.1.

3.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área cercana al presente proyecto es donde se ha formado la gran Ensenada de Mompiche, con relieves planos dando una plataforma poco elevada, también acantilados junto a la línea costera y pequeñas elevaciones como las montañas costeras. En la Ensenada de Mompiche sobresalen las desembocaduras de los ríos Mompiche y Correntada, que aportan significativas cantidades de sedimentos a la plataforma marina, donde por efecto de las olas se reconcentran y son acumulados en las playas actuales. La morfología que se observa en la zona de estudio marca dos áreas bien diferenciadas: la parte de bajos topográficos ubicados hacia el Norte de la vía de acceso entre el puente sobre el río Mompiche y Portete, el otro sitio corresponde a las elevaciones que se ubican al Sur de dicha vía de acceso. Estos rasgos morfológicos deben ser consecuencia del tectonismo que ha actuado en la zona con levantamientos con fallamiento de forma regional, además de la meteorización física causada por los drenajes y principalmente por el efecto del oleaje del mar y las transgresiones marinas ocurridas en el tiempo geológico reciente en la zona de estudio.

Las geoformas debido a la tectónica deben haber influido en la forma del relieve, sin embargo las geoformas que actualmente se observan en la zona de estudio probablemente se deban también a la acción de la meteorización de las rocas del sector. Factores antrópicos, como el uso del suelo para el cultivo de productos y la cría de ganado también generan un cambio en la morfología actual de la zona. La zona de estudio se ubica en un área en la que las diferencias de alturas varían entre los 180 m y 0 m sobre el nivel del mar. Esta información se la puede

apreciar en la imagen siguiente (figura 3.1) correspondiente a una fotografía aérea de la zona de estudio.

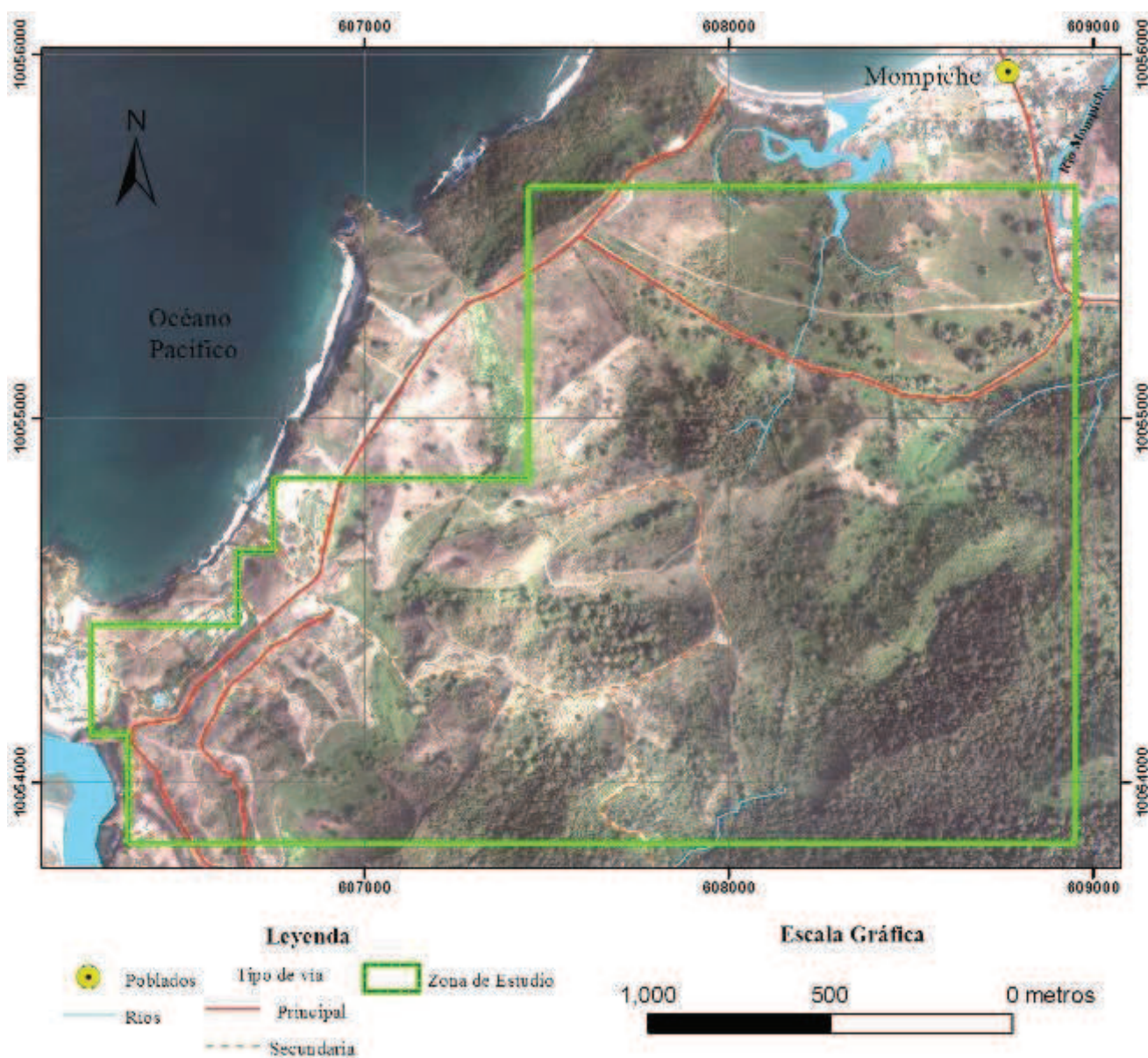


Figura 3.1: Detalle de la fotografía aérea de la zona de estudio, donde se muestra vías y drenajes presentes en el área

En la parte baja, al Norte de la zona de estudio se pueden observar principalmente planicies con depósitos aluviales, probablemente asociados a terrazas antiguas del río Mompiche, que contienen manglar, pero que ha ido perdiendo sus dimensiones ya que ha sido talado para dar paso a las camaroneras y al cultivo de pastizales para ganadería. Además de áreas planas

con depósitos de sedimentos que contienen minerales pesados como hierro y titanio. El margen de la costa en el sector posee una dirección preferencial con rumbo NNE. Los ríos Mompiche y Correntada presentan terrazas aluviales, que forman planicies. Las terrazas del río Mompiche abarcan la parte noreste de la zona de estudio. Debido al cambio de pendiente que se genera entre las montañas de Mompiche y la planicie, hacia la parte central de la zona de estudio, se han formado varios depósitos coluviales ocupando los flancos de las elevaciones de mayor pendiente. Estos deslizamientos de terreno se producen asociados a las lluvias intensas que se dan en el sector.

En la parte Sur, hacia la zona de las elevaciones, se tiene áreas con pastizales para ganadería. Un relieve de elevaciones bajas se presenta al lado Oeste de la zona de estudio, con drenajes dendríticos que desembocan en el estuario de Portete. Junto a la playa los acantilados presentan fuertes pendientes y son socavados por los agujeros y mareas. Estos detalles morfológicos pueden apreciarse en el mapa de topografía base N° 2 y en el Modelo de elevación Digital correspondiente al mapa N° 3, que han sido presentados en el primer capítulo de este trabajo.

3.3 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para determinar la geología de la zona de estudio, se han sacado datos litoestratigráficos de diferentes afloramientos presentes en el sector, de los cuales se describe a continuación los datos petrográficos y estructurales que han servido para definir la presencia de las diferentes formaciones geológicas y mejorar el entendimiento del modelo geológico del área de estudio. Estas interpretaciones están asociadas a las descripciones de 8 láminas delgadas (ver anexo 2) construidas de las litologías más representativas del sector que han permitido su caracterización y además en ciertos casos donde fue posible se han construido columnas litológicas locales que han servido posteriormente para realizar interpretaciones y generar una sola columna regional que represente a toda la zona de estudio.

Descriptivamente se puede decir que la parte basal de la zona de estudio corresponde a la más antigua secuencia sedimentaria de la Fm. Onzole. Esta unidad consiste de una secuencia masiva de limolitas de color olivo oscuro con bioturbación de organismos fósiles milimétricos y un cemento calcáreo. Se la observa estratificada y masiva, presenta capas centimétricas de arena gris que se intercalan entre la limolita. Se ubica desde la parte centro - Este del área de estudio extendiéndose hacia el Sur. El rumbo de la estratificación varia debido a fracturamientos y zonas más meteorizadas pero el buzamiento se mantiene con una tendencia hacia el Oeste (fotografía 3.1).



Fotografía 3.1: Limolita calcárea de la parte basal de la Fm. Ónzole. Meteorización fuerte en la roca. Cercano al embalse de agua del hotel Decameron en el Sur de la zona de estudio.

Espacialmente, al centro de la Fm. Onzole hay una secuencia bien estratificada de areniscas de color marrón - rojizas intercaladas con limolitas centimétricas de color olivo altamente meteorizadas. El espesor medio de cada capa de arenisca es de 5 m y poseen una estratificación promedio con rumbo NE 30° y buzamiento 25° al NO manteniendo la tendencia observada en las limolitas basales

correspondientes a la Fm. Onzole (fotografía 3.2). Esta litología presenta excelentes afloramientos en los cortes de los taludes de las vías secundarias en el centro del área de estudio. El espesor total de esta parte de la Fm. Onzole supera los 50 m.



Fotografía 3.2: Capas estratificadas de arenisca rojiza silicificada en el centro de la Fm. Onzole, con intercalaciones centimétricas de limolitas. Cercano al ingreso principal al hotel Decameron.

La parte superior de la Fm. Onzole aflora en la parte Oeste de la zona de estudio y se extiende hasta la línea de costa. Morfológicamente forma acantilados y pequeñas elevaciones. Esta zona consiste de una secuencia bien estratificada de limolitas de color olivo grisáceo dominantes con capas centimétricas de areniscas grises y rojizas no muy frecuentes (fotografía 3.3). Existen buenos afloramientos en los taludes de la vía entre el puente sobre el río Mompiche y la entrada principal del hotel Decameron y en los Acantilados presentes en la Playa de Mompiche, en Playa Negra y en Portete.

En el talud del carretero hacia el hotel Decameron frente a la entrada hacia Playa Negra existen secuencias estratificadas de areniscas y limolitas de forma secuencial (figura 3.2). Dichas formaciones rocosas se expanden por la mayor parte del área, las areniscas son bloques compactos con un tamaño de grano medio y poseen colores rojizos asociados a la meteorización de minerales pesados como rutilo (óxido de titanio) magnetita (óxido de hierro) e ilmenita (óxido de hierro y titanio). En el afloramiento existe la presencia de un fallamiento normal con un desplazamiento de 1.5 metros, la falla es local con las siguientes medidas estructurales: 55/70 SO (Rumbo/Buzamiento), la estratificación presente en el afloramiento corresponde a 45/6 NO (visible en la fotografía 3.4).



Fotografía 3.3: Capas de arenisca rojiza centimétrica de la Fm. Onzole intercaladas entre la limolita grisácea dominante. Visible en acantilados de la playa en Portete.



Fotografía 3.4: Afloramiento de la columna estratigráfica N°1, visible el detalle del fallamiento normal y las capas de arenisca con tonalidad rojiza entre las limolitas meteorizadas.

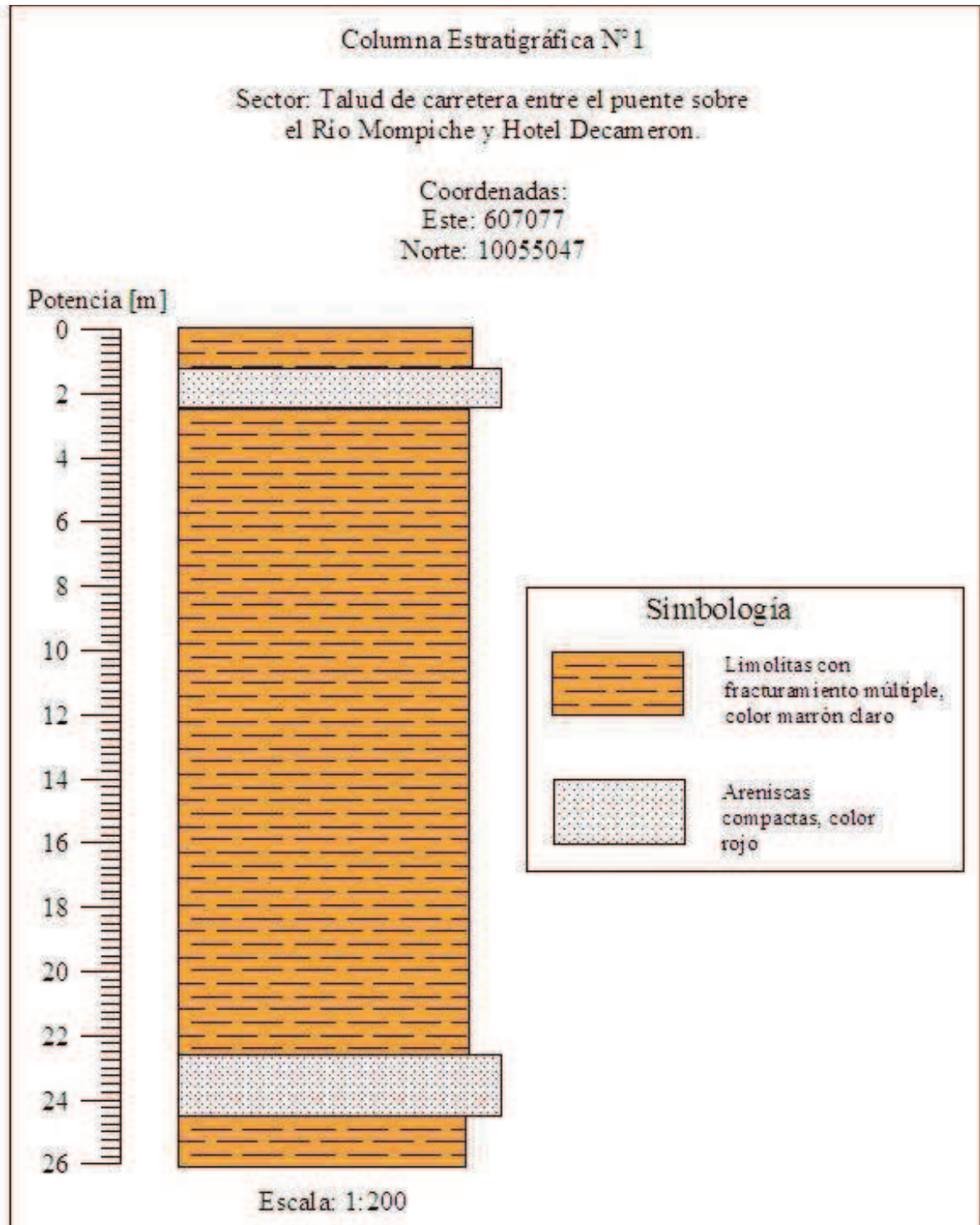
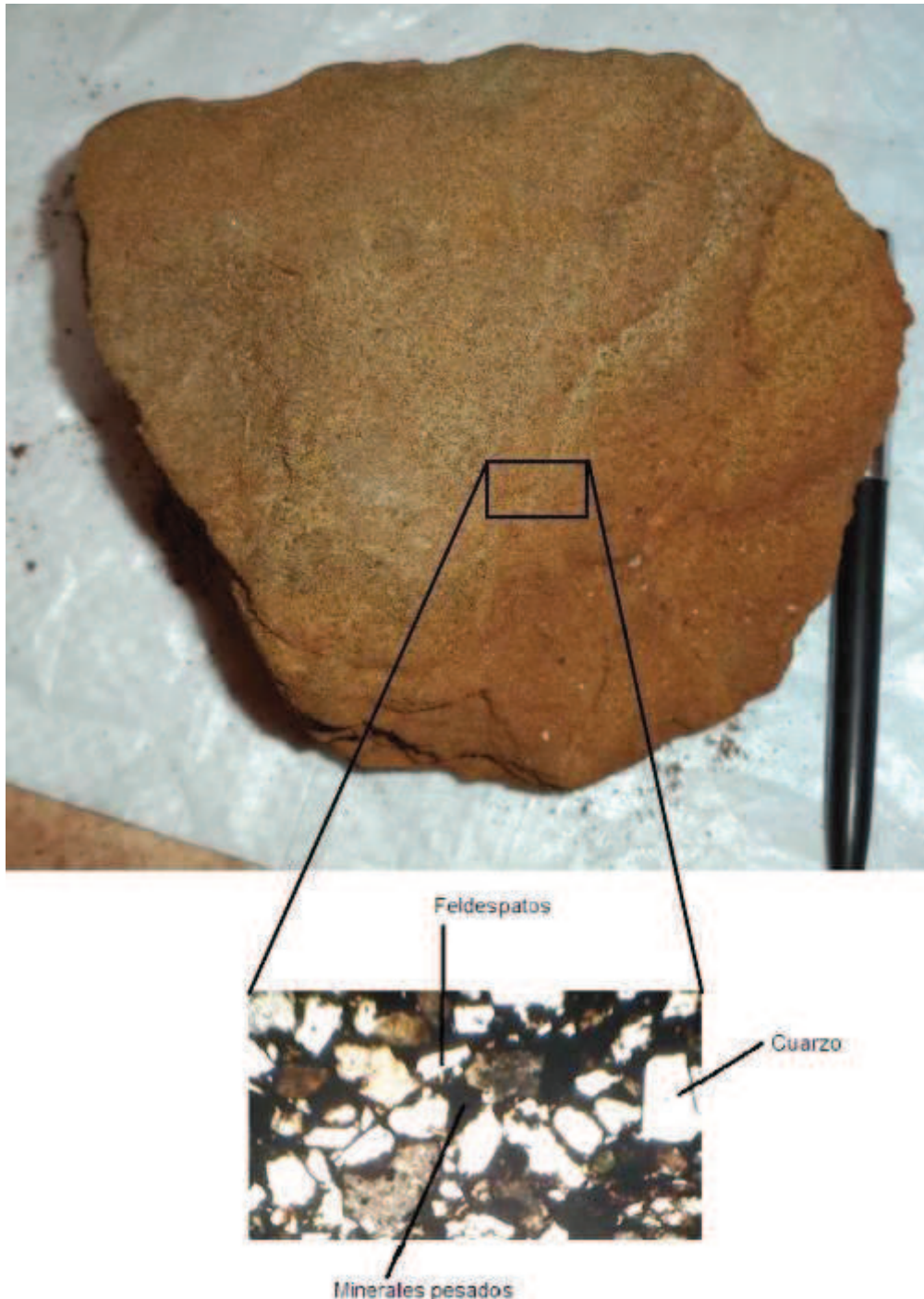


Figura 3.2: Columna estratigráfica local N° 1, del talud de la carretera frente a la entrada a Playa Negra. Detalle de los bloques masivos de limolita grisácea con intercalaciones de areniscas rojizas.

La arenisca en esta zona presenta un alto contenido de feldespatos y cuarzo (65% entre ambos), minerales pesados (opacos y óxidos de Fe) son apreciables en su matriz como se divide en la sección delgada adjunta en la fotografía 3.5 (alcanzan un 10 % de la roca).



Fotografía 3.5: Arenisca presente en el afloramiento correspondiente a la columna estratigráfica N°1 y la sección delgada de la misma (visible el cuarzo y feldespatos, los minerales negros corresponden a óxidos de Fe y Ti también disseminados en la matriz de la arenisca, los cristales son equigranulares).

Dentro del sector de Consermín, hacia el centro de la zona de estudio, en un sendero hacia la represa de agua del hotel Decameron en la parte Sureste del área, existen afloramientos de areniscas y limolitas con una tendencia en la estratificación correspondiente a 10/5 SE (figura 3.3). Las capas de arenisca corresponden rocas con tamaño de grano medio, presentan colores rojizos (por condiciones similares a las descritas en el afloramiento de la columna N°1) y colores grisáceos. Las limolitas presentes mantienen el fracturamiento en su matriz como se aprecia en la fotografía 3.6. El detalle estructural muestra cambios por efecto del tectonismo ocurrido al formarse la cuenca sedimentaria.

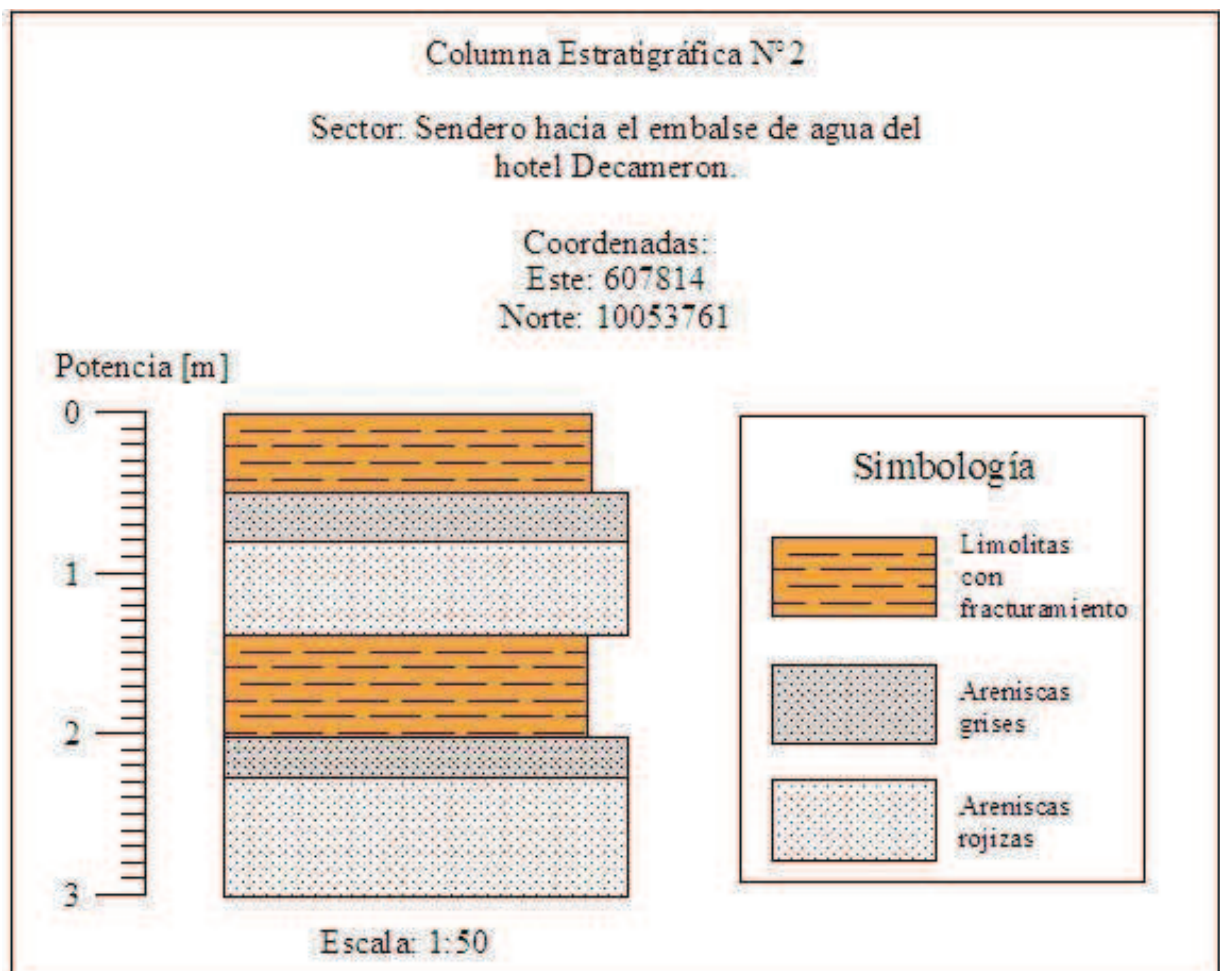


Figura 3.3: Columna estratigráfica local N°2, correspondiente al afloramiento en el sendero hacia la represa de agua del hotel Decameron al SE del área de estudio.



Fotografía 3.6: fotografía del afloramiento corresponde a la columna estratigráfica N°2, visible la intercalación de las areniscas rojizas y grises con el bloque de limolitas meteorizadas fuertemente.

Viendo la arenisca de este sector, se puede apreciar la presencia de minerales pesados (de Fe y Ti) en cantidades aproximadas al 10%, dichos minerales también se pueden apreciar en lámina delgada (fotografía 3.7). Además se divisa la presencia de cuarzo policristalino, presencia de plagioclasas y existe un buen sorteo de tamaño de grano en la roca.



Fotografía 3.7: Arenisca rojiza del afloramiento de la columna litológica N°2, detalle de la sección delgada de la misma arenisca (visible el cuarzo policristalino y los minerales negros corresponden a óxidos de Fe y Ti).

Hacia el camino que conduce al poblado de Portete en el talud de la vía se observa la distribución de areniscas y limolitas interestratificadas en un afloramiento con características similares a las descritas en los párrafos anteriores. Tienen una tendencia de estratificación de 50/12 NO (figura 3.4).

Además existe la presencia de un fallamiento local con datos estructurales que corresponden a 30/45 SE y un fracturamiento de 30/70 SE, lo que se aprecia en la fotografía 3.8.

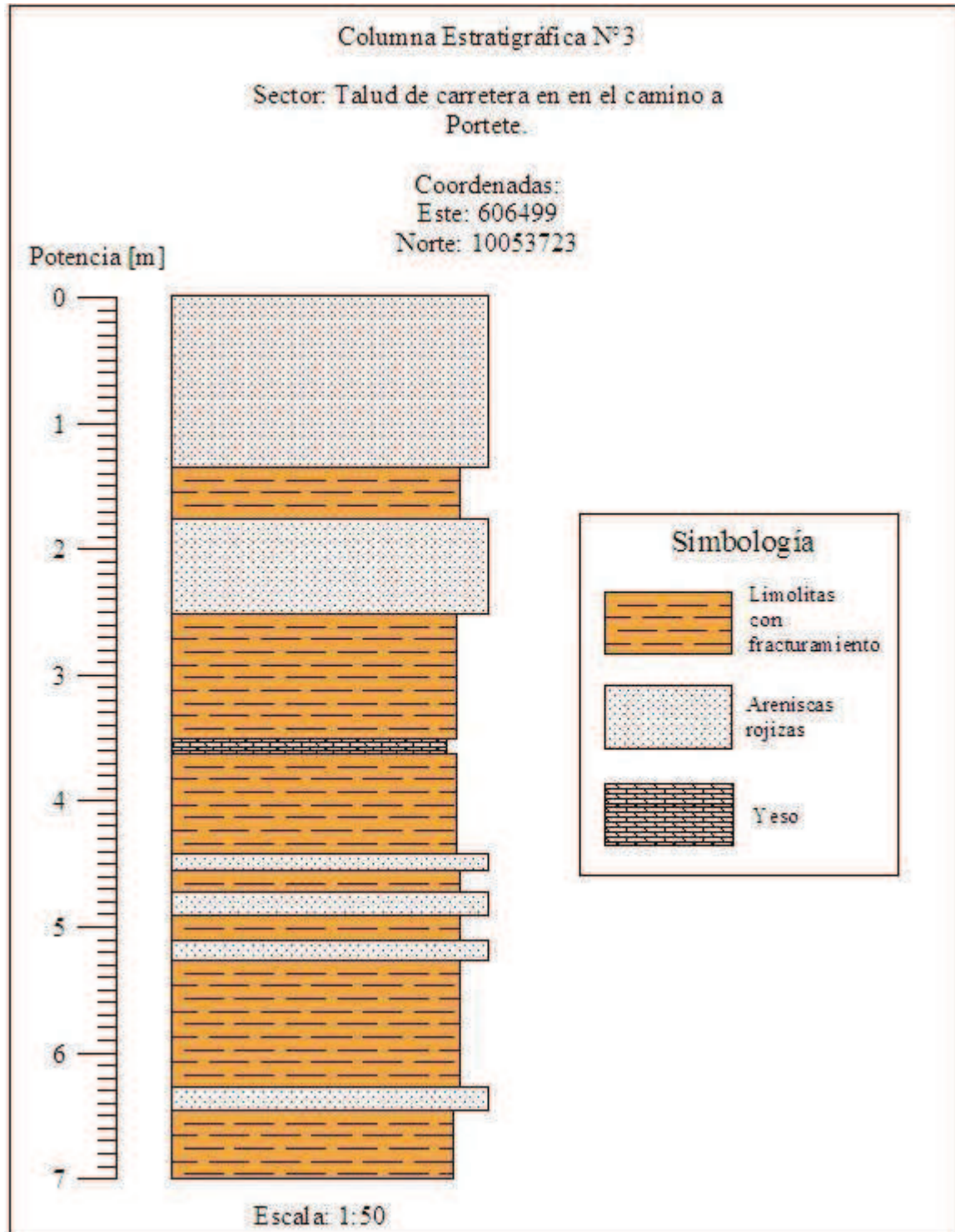
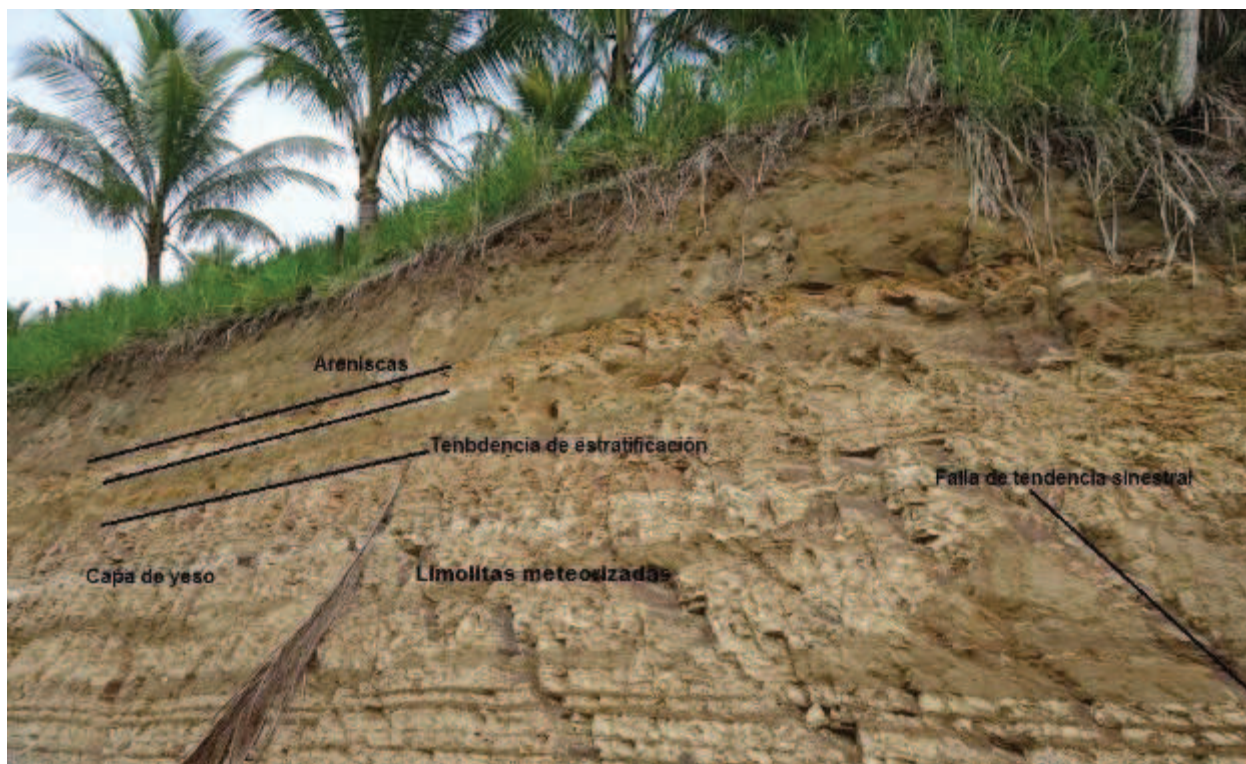


Figura 3.4: Columna estratigráfica local N°3, correspondiente al afloramiento en el camino hacia Portete al SW del área de estudio. Presencia de limolitas y areniscas interestratificadas con un fallamiento normal visible en el talud.



Fotografía 3.8: Afloramiento correspondiente a la columna litológica N°3, presencia de un espejo de falla como rasgo de un movimiento normal en el bloque, areniscas rojizas y limolitas interestratificadas.

Al hacer una descripción más detallada de las areniscas presentes en esta zona se tiene que esta roca presenta una silisificación en su composición, la presencia de minerales oscuros es igualmente significativa, 30% en lámina delgada (visible en la fotografía 3.9), posee un buen sorteo y el tamaño de grano es similar al de la arenisca del afloramiento de la columna litológica N°2 (esta capa de arenisca debe tener una distribución espacial considerable, por lo que corresponde a la misma arenisca ubicada en otro sitio de la zona de estudio).



Fotografía 3.9: Arenisca rojiza del afloramiento de la columna litológica N°3 que posee un grado medio de silisificación, detalle de la sección delgada de la misma arenisca (visibles los minerales negros que corresponden a óxidos de Fe y Ti diseminados en la matriz).

Dentro del sector de Consermín (finca que abarca la zona central del área de estudio) se puede apreciar otros afloramientos. En estos afloramientos se puede observar la presencia de areniscas de grano medio de coloración rojiza y de limolitas marrones claras con el fracturamiento típico del sector debido a su grado de meteorización. La tendencia de estratificación de estas capas corresponde a 40/30 NO (figura 3.5). Existe además la presencia de un fracturamiento del bloque que tiene una tendencia de 40/90 (el fracturamiento es vertical) y que afecta en especial a los bloques de arenisca, como se observa en la fotografía 3.10.

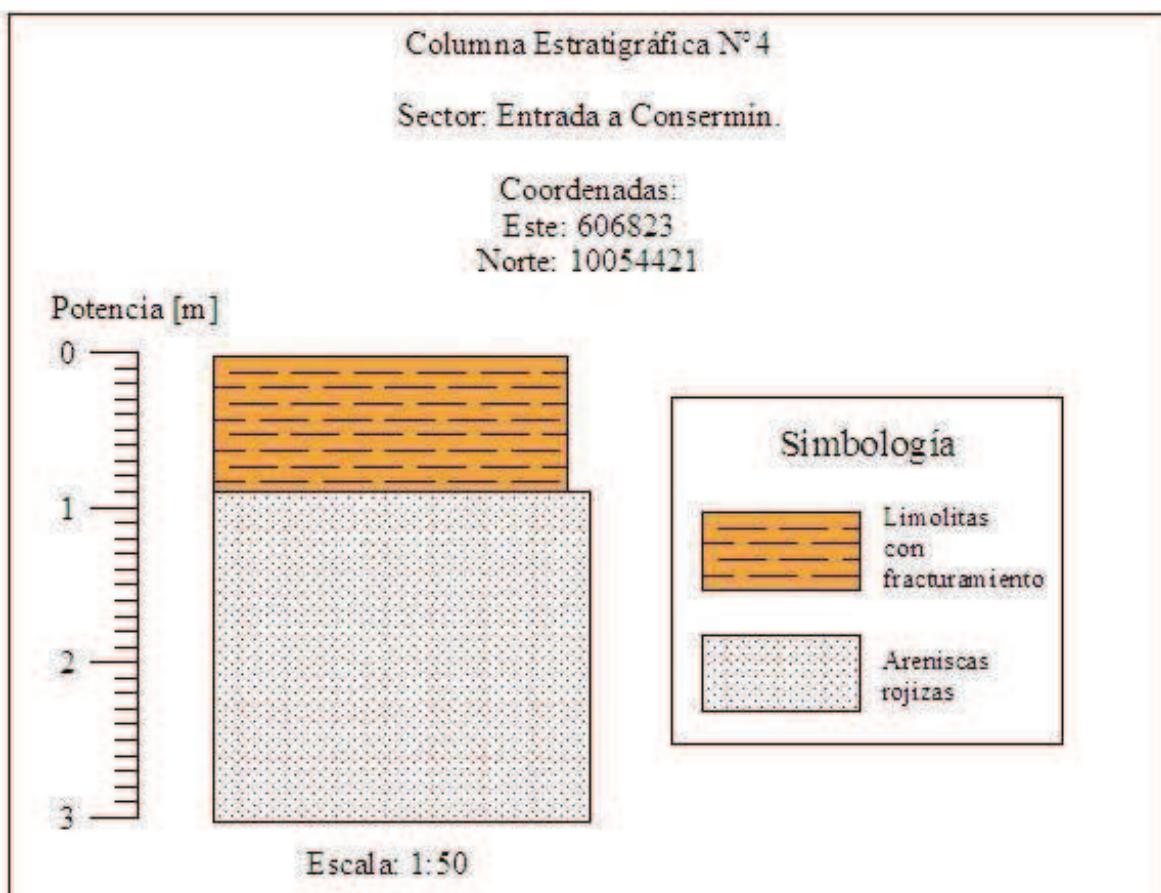


Figura 3.5: Columna estratigráfica local N°4, correspondiente al afloramiento en un talud dentro de la finca de Consermín (al centro del área de estudio). Presencia de limolitas meteorizadas y areniscas rojizas.



Fotografía 3.10: Afloramiento representativo de la columna litológica N°4, presencia de areniscas rojizas estratificadas con limolitas grises con alto grado de meteorización.

Al hacer una descripción de las areniscas presentes en este afloramiento se puede apreciar la presencia de menor cantidad de minerales negros (óxidos de Fe y Ti), cerca del 15%, en relación a las areniscas descritas anteriormente. Esta roca posee un mal sorteo de granos y el cuarzo es de mayor tamaño respecto a los otros minerales (visible en la fotografía 3.11). En su matriz existe igualmente un alto grado de sílice diseminado como cemento lo cual le da una dureza alta a la arenisca, lo que hace difícil de romper esta roca y de que sea meteorizada con facilidad por lo que mantiene su distribución morfológica en la zona.



Fotografía 3.11: Arenisca del afloramiento donde se realizó la columna litológica N°4. En la sección delgada de la misma se aprecia el tamaño considerable del cuarzo en relación a los otros minerales, la presencia de óxidos de Fe y Ti (minerales pesados) disminuye pero se aprecian cristales mejor formados y no tan diseminados en la matriz como en las areniscas de las anteriores columnas litológicas. La presencia de sílice en la matriz, como cemento, le da una dureza alta a la roca y dificulta su meteorización.

Otro lugar donde se puede generar una descripción de estratos específicos corresponde al afloramiento donde se puede describir la columna litológica N°5 que se ubica en el sendero hacia la zona de desfogue de la represa de agua del hotel Decameron al SE del área de estudio. En este sitio se marca la presencia de una capa de yeso finogranular intercalado entre los depósitos de limolitas que poseen el fracturamiento típico de la zona debido al alto grado de meteorización que han sufrido (figuras 3.6 y fotografía 3.12).

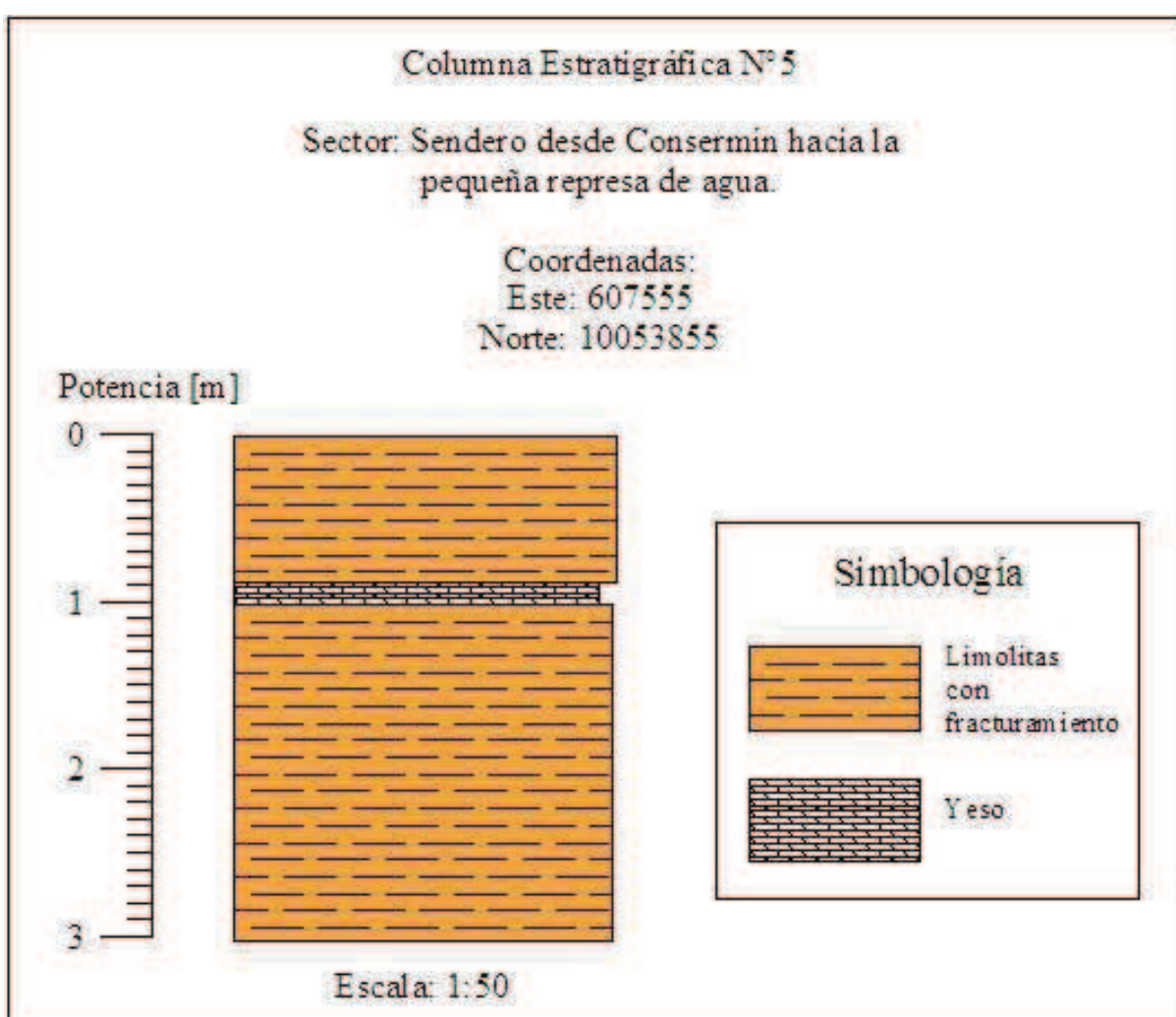
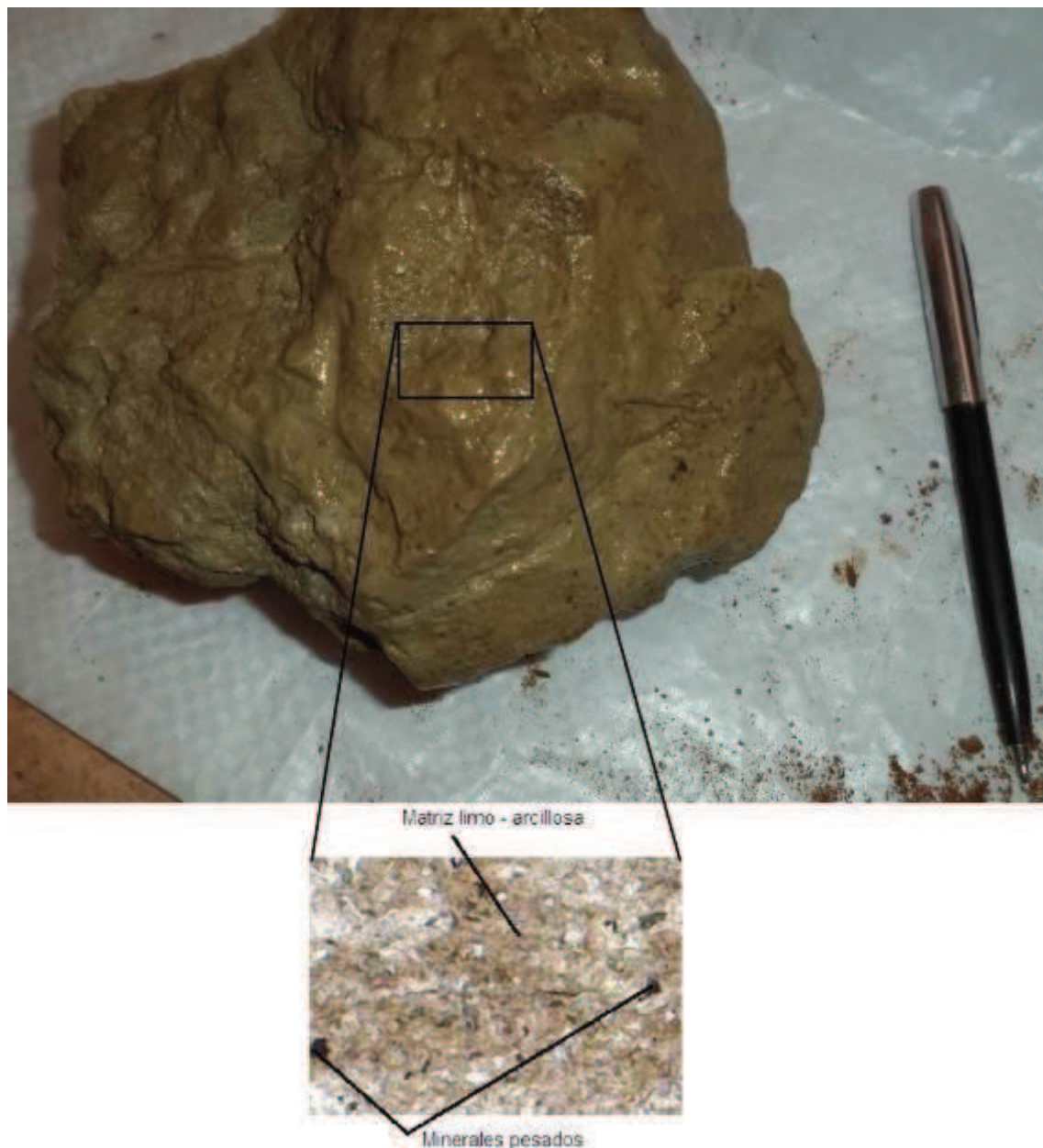


Figura 3.6: Columna estratigráfica local N°5, correspondiente al afloramiento en un talud en la vía junto al canal de desfogue del embalse de agua del hotel Decameron. Presencia de limolitas meteorizadas con una capa de yeso centimétrica intercalada.



Fotografía 3.12: Afloramiento de limolitas meteorizadas con una intercalación de una capa de yeso centimétrica, corresponde a la columna litológica N°5.

Las limolitas que conforman principalmente a la Fm. Onzole, que se distribuye en la mayor área de la zona de estudio, presentan una composición arcillosa con leves incrustaciones de microfósiles y de minerales pesados (5%). La matriz es abundante por lo que no se divisan muchos cristales grandes de minerales ni en la sección delgada respectiva (fotografía 3.13). Esta limolita se la puede divisar en varios sitios tales como los taludes de la carretera entre el río Mompiche y el camino hacia Playa Negra.



Fotografía 3.13: Limolita meteorizada que abarca la mayor parte de la zona de estudio (Fm. Onzole) y en su sección delgada solo se observa arcillas con pequeños cristales de minerales pesados (óxidos de Fe y Ti).

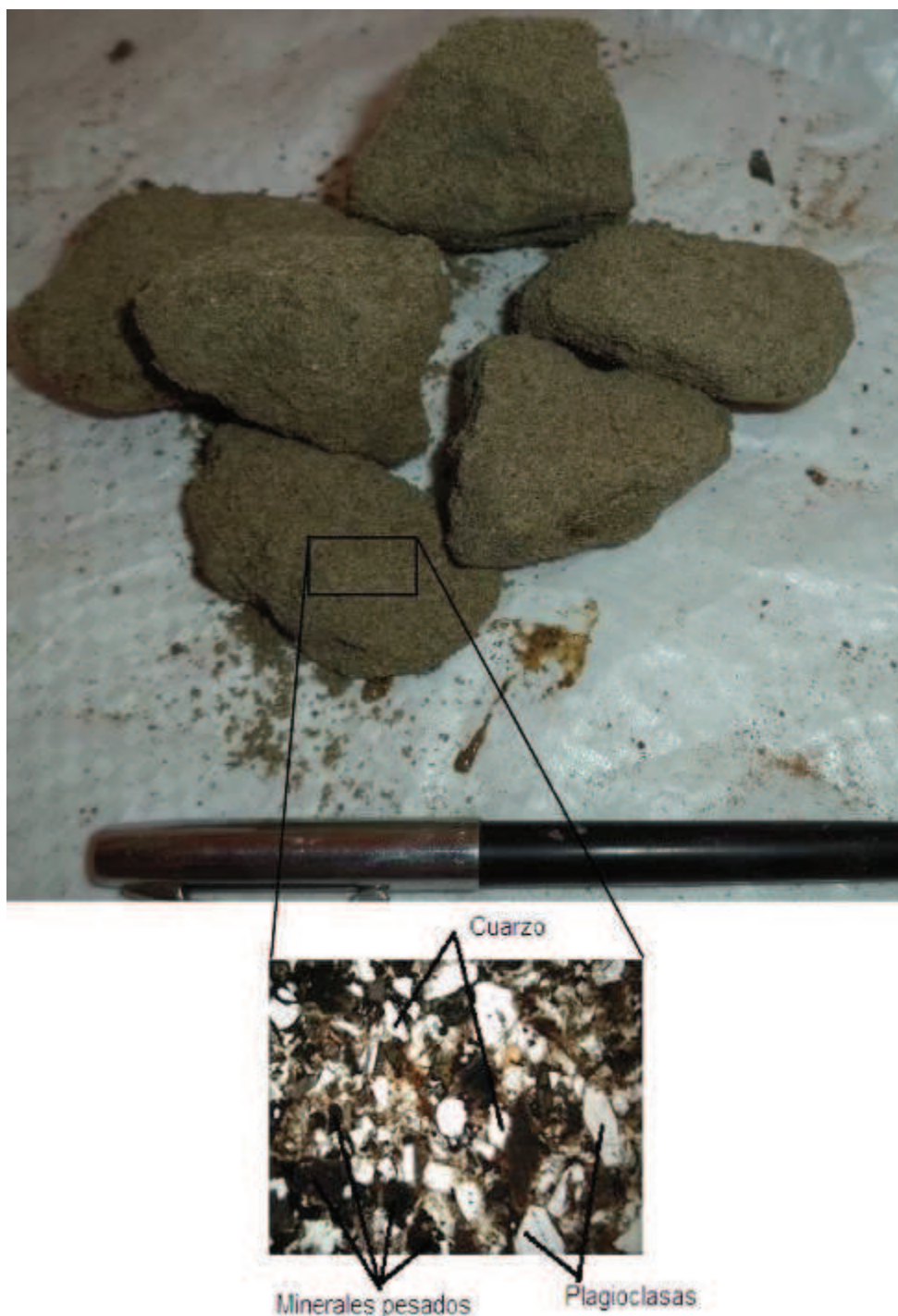
Dentro de los afloramientos donde se divisa la litología del basamento de la zona de estudio se puede apreciar la presencia de limolitas de color olivo grisáceo, poseen un alto grado de silificación. La ubicación de esta litología está hacia el centro - Este de la zona de estudio, en el centro de la finca de Consermín. Son limolitas con con trazas de carbonato en su matriz (fotografía 3.14). En sección delgada no se aprecian cristales de minerales grandes, la mayor extensión está

marcada por arcillas y limos con leves trazas de minerales pesados incrustados en la misma matriz (5%). La presencia de carbonatos tampoco es muy visible microscópicamente y su presencia se ha determinado por reacción de muestra de mano ante HCl al 10%.



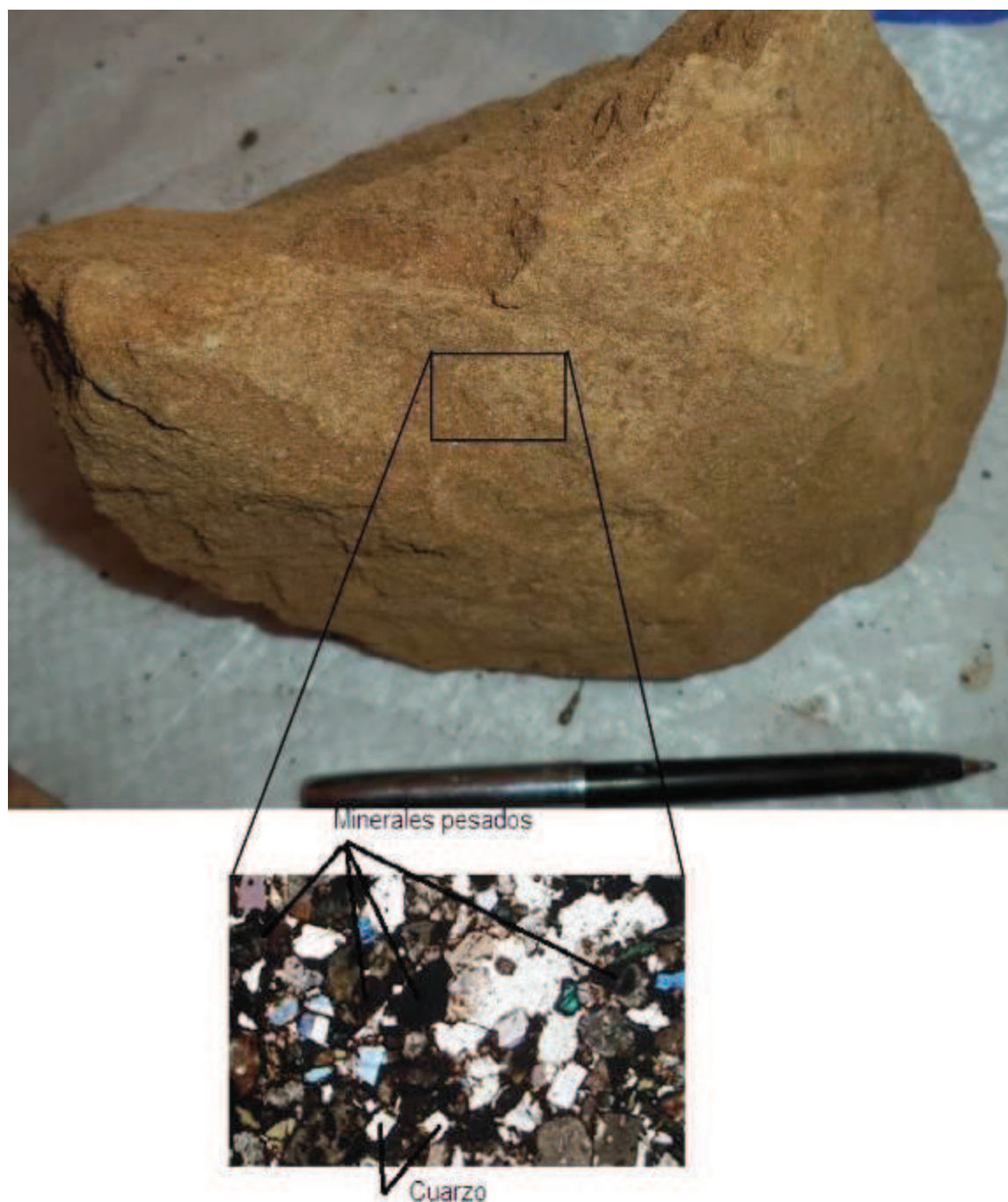
Fotografía 3.14: Limolita que abarca la mayor parte de la zona de estudio (Fm. Onzole), en su sección delgada se aprecian solo arcillas y leves incrustaciones de óxidos, hay pocos microfósiles.

Hacia la zona media de la Fm Onzole se tienen intercalaciones de areniscas grises a rojizas con concentrados altos de minerales pesados, cerca de 30%. Poseen un mal sorteo y las plagioclasas son las que tienen un mayor tamaño de grano (fotografía 3.15). Estas rocas no logran alcanzar una potencia considerable y solo se presentan como estratos centimétricos entre las limolitas.



Fotografía 3.15: Arenisca grisácea con concentrado de minerales pesados (óxidos de Fe y Ti), posee un mal sorteo y su potencia es poco considerable al analizar la distribución espacial de la misma.

En el sector de Consermín (al centro de la zona de estudio) se tiene otra muestra de areniscas rojizas con minerales pesados en cantidad considerable (cerca del 30%), tiene un tamaño de grano equigranular, la presencia de cuarzo es mayoritaria y además en su matriz hay contenidos altos de sílice (la roca es dura), de arcillas y de óxidos de Fe - Ti (fotografía 3.16).



Fotografía 3.16: Arenisca rojiza con alto concentrado de minerales pesados, posee un buen sorteo y presenta un grado de silisificación, presencia de óxidos de Fe - Ti en su matriz.

También existen depósitos cuaternarios representados por depósitos coluviales hacia el centro - Norte del área de estudio (hacia el pie de las montañas de Mompiche), depósitos aluviales caracterizados por llanuras de inundación asociadas a los cauces de los ríos y a terrazas aluviales abandonadas y también los depósitos cuaternarios marinos correspondientes a las acumulaciones de arenas en las zonas de inundación de los bajos topográficos, depósitos que poseen rasgos morfológicos de cordones litorales antiguos alineados en rumbo NE con el mismo rumbo que posee el margen costero actual (influenciados por la distribución de los viejos cordones litorales dejados por las transgresiones marinas desde el final del Terciario y todo el Cuaternario). Las arenas negras ferrosas - titaníferas se forman por concentración de las olas y el movimiento en la variación de las mareas. Dentro de esta idea, los sitios más favorables para su prospección de un posible yacimiento son los relieves bajos y planos de origen reciente, es decir los relieves denominados de medio litoral donde hay un depósito con laminaciones entre concentrados con mayor y menor cantidad de minerales pesados de Fe y Ti (fotografía 3.17).



Fotografía 3.17: Detalle de los depósitos con arenas negras en las playas del sector y hacia las zonas de bajos topográficos dejadas entre el mar y el pie de las montañas de Mompiche. Existen laminaciones en los depósitos que se asocian a zonas de mayor y menor concentración de minerales negros de Fe – Ti.

En base de todos los datos recolectados en campo, los afloramientos descritos, la fotogeología y sus interpretaciones, se elaboró la descripción de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio y se generó el mapa geológico y estructural (Mapa N°4).

Dentro del área de estudio, se determina la existencia de las siguientes unidades geológicas, a las que se les ha asignado los símbolos crono – estratigráficos respectivos basándose en los símbolos usados en el Mapa Geológico del Ecuador de 1993, según el léxico estratigráfico de Bristow y Hoffstetter de 1977, el léxico estratigráfico de Duque del 2000 y en interpretaciones propias que permitan su identificación en el respectivo mapa.

3.3.1 FORMACIÓN ONZOLE INFERIOR (Mioceno Tardío) (Mio)

El Grupo Daule está constituido por las Formaciones Borbón, Onzole y Angostura. La Fm Onzole tiene una potencia regional de 500 a 1900 m y está considerada de edad Mioceno Superior a Plioceno Inferior, constituida por arcillas tobáceas con capas de areniscas delgadas (Bristow y Hoffstetter, 1977). En el área investigada aflora la Formación Onzole Inferior con potencias de 300 m, conformada por capas de areniscas de grano medio y con coloraciones rojizas y grisáceas, lodolitas y limolitas interestratificadas con listones de areniscas finas y lentes de conglomerados hacia el tope de la formación.

La Formación Onzole Inferior, es la que ocupa la mayor parte del área de estudio (color amarillo intenso en el mapa N°4), con estratificación de muy bajo ángulo hacia el NO, el rumbo de sus estratos se dirige hacia el NE. Las areniscas forman el 30 % de estratos y son de color rojizo pálido, de grano medio, en capas de hasta 3 metros de potencia en las partes más basales y de espesores centimétricos en los sectores más superficiales, siendo intercalaciones delgadas

dentro de las limolitas de color olivo cuando están frescas. Aflora a los flancos de la cordillera de Mompiche y hacia el centro del área de estudio.

3.3.2 DEPÓSITOS MARINOS (Cuaternario) (Qm)

Se trata de depósitos ubicados tanto al margen de la playa como dentro del continente, tienen gran extensión ya que son parte de la planicie comprendida entre Mompiche, Correntada hacia el Este y Las Manchas hacia el Norte de la ensenada de Mompiche. Se ubican hacia la parte Norte del área de estudio (color amarillo pálido en el mapa N°4). Tienen potencias cercanas a 15 m en ciertos sitios con sobrecargas de material arcilloso y arenoso de alrededor de 5 m en la zona de estudio. Se componen de arenas, limos y arcillas equigranulares con presencia de minerales pesados (minerales de Fe y Ti como rutilo, ilmenita, magnetita) que constituyen las zonas más prospectivas para depósitos de arenas ferrosas formando cordones litorales antiguos y distribuyéndose espacialmente en forma de lentes. Las arenas negras ferruginosas, de origen marino, se forman por la acción de las olas y el movimiento de las mareas que generan el depósito en las playas del sector.

3.3.3 DEPÓSITOS COLUVIALES (Cuaternario) (Qc)

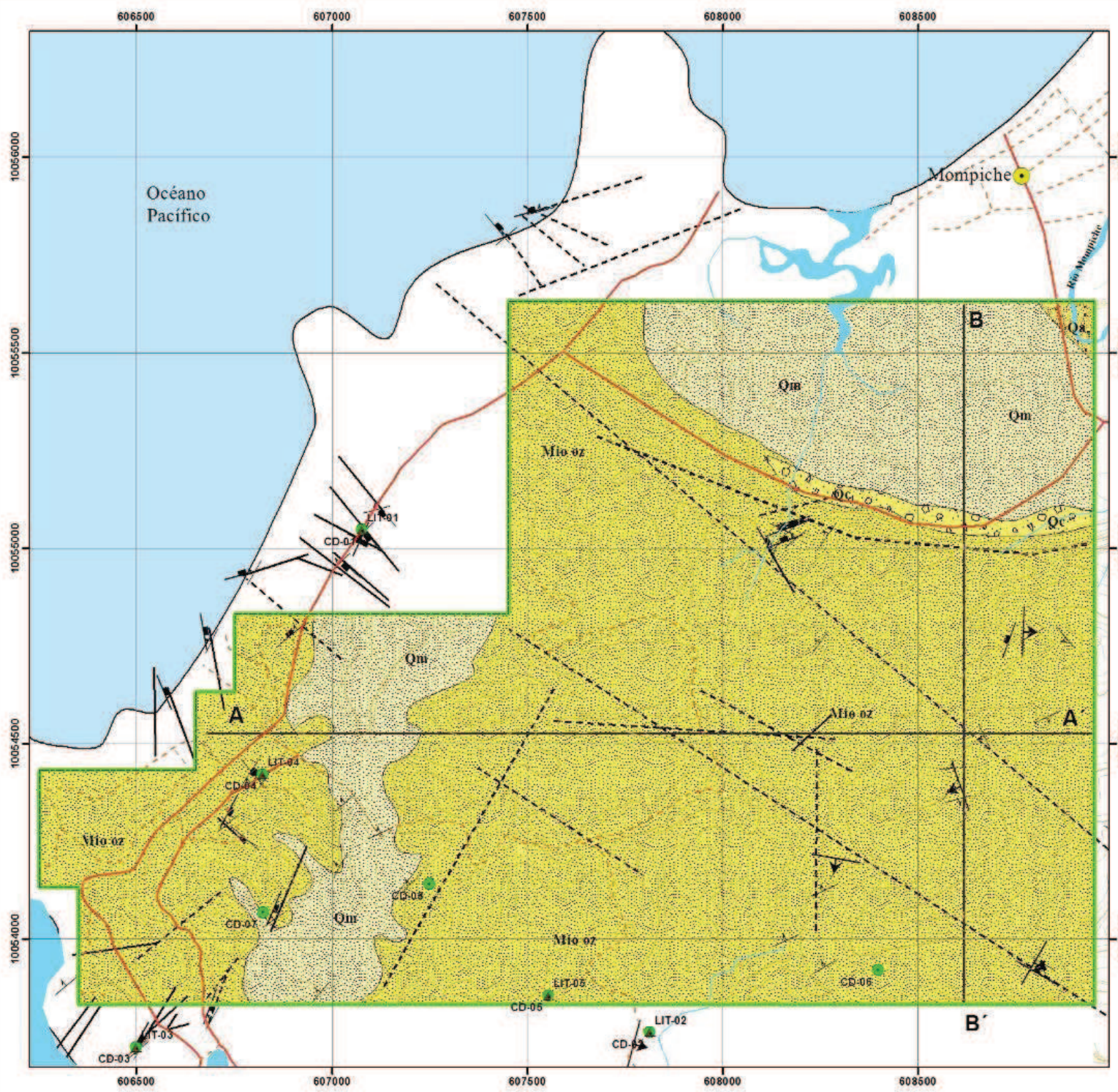
En los flancos de las colinas se forman pequeños conos de deyección a manera de derrumbes, ocupan las partes de mayor pendiente. En el área investigada los más importantes se ubican al centro, al pie de las montañas de Mompiche, en donde cambia abruptamente la pendiente de montañas a la planicie (color amarillo - marrón en el mapa N°4). Están conformados por rocas sedimentarias

tipo limolitas, arcillas y areniscas, en bloques angulosos a subredondeados muchas veces de 0,5 m de diámetro, en una matriz arcillosa con trazas de carbonatos. Se aprecian en parte del camino que recorre el pie de la zona montañosa del área de estudio.

3.3.4 DEPÓSITOS ALUVIALES (Cuaternario) (Qa)

Son depósitos vinculados al drenaje principal que es el río Mompiche al Noreste del área de estudio. Este río forma depósitos de terrazas aluviales en moderada extensión (color amarillo claro en el mapa N°4). Tienen 2 a 3 m de potencia y están compuestos de bloques de 25 a 50 cm de diámetro bien redondeados en matriz areno limosa, la matriz posee trazas de minerales pesados de Fe y Ti. Otros drenajes más pequeños se encuentran dispersos en toda el área investigada, que por ser de carácter estacional no presentan depósitos de tamaños importantes (no son visibles por la escala del mapa).

La información geológica detallada anteriormente puede ser observada en el mapa que se presenta a continuación.



LEYENDA

	Poblados		Curvas de nivel
	Ríos		Principal (cada 20m)
	Tipo de vía		Secundaria (cada 5m)
	Principal		Zona de Estudio
	Secundaria		

SIMBOLOGÍA

	Columnas Litológicas		Perfiles Geológicos
	Muestras láminas delgadas		A - A'
	Estratificaciones		B - B'
	Fallas		Depósitos Aluviales
	Inferida		Depósitos Coluviales
	Observada		Depósitos Marinos
	Falla Normal		Formación Onzole
	Falla Inversa		

N

ESCALA GRÁFICA

	Escuela Politécnica Nacional		Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M.
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE			
MAPA GEOLÓGICO Y ESTRUCTURAL			
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación		Escala de impresión: 1:10000	
Revisado por: Geol. Jhonny Herrera García Director de Proyecto de Titulación		Fecha de elaboración: Enero 2013	
			4

3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los rasgos tectónicos y estructurales de la zona de estudio, corresponden a observaciones realizadas en fotografías aéreas y a datos recolectados durante las jornadas de campo. Dichas estructuras geológicas están trazadas en el mapa geológico de la zona de estudio, mapa N° 4. La geología estructural juega un papel importante en la interpretación y en la realización de cortes geológicos. Las fallas observadas han sido cartografiadas y su extensión es estimada y ubicada por rasgos de lineamientos morfológicos.

En la zona de estudio en la vía de Mompiche a Decameron se observa un sistema de diez fallas normales de rumbo NO 60° con buzamiento 60° SO, estas fallas marcan un alto topográfico paralelo a la dirección del fallamiento regional. En los acantilados y en los afloramientos de la línea de costa se observa otro sistema de fallas laterales de rumbo NE 45° con 80° NO, por la erosión del mar hasta el momento no se ha observado el movimiento de dichas fallas pero se estima sean de componente dextral (fotografía 3.18).



Fotografía 3.18: Falla observada en los acantilados de la línea de costa. Arriba falla NE buzando al SW, abajo falla local de rumbo NW buzando al SW..

Las fallas varían respecto a la ubicación dentro de la zona de estudio, normalmente están asociadas a los depósitos de la Fm. Onzole, por ejemplo en su parte más basal se observan fallas de rumbo NS buzando al Este 80° y otro sistema de fallas de rumbo ENE buzando al SE 75° .

Se han considerado 95 medidas estructurales (fallas, fracturas, estratificaciones) (se detallan en el anexo N°1 de este trabajo). La plantilla de datos usada para las interpretaciones es la red Schmidt, con distribución en áreas iguales. Al hacer un análisis estructural de la zona de estudio, en base a las medidas tomadas en los diversos afloramientos visitados se puede definir las siguientes tendencias:

- Predominancia de estratificaciones con rumbo NE (siguiendo la tendencia del margen costanero actual y de los posibles cordones litorales antiguos que están ligados a los depósitos de arenas negras en la zona de bajos topográficos) y con un buzamiento de bajo ángulo hacia el NW (buzando hacia el océano). Existen otras direcciones de estratificación que posiblemente están asociadas con plegamientos y zonas falladas pero que no generan un cambio grande en el comportamiento del modelo geológico actualmente (figura 3.7).
- Existe un fracturamiento abundante en toda la concesión, debido a que el área está conformada por una secuencia sedimentaria que puede ser fácilmente alterada tectónicamente. Es visible normalmente la presencia de fracturas conjugadas en los estratos de limolita que es la litología donde más se observan los rasgos estructurales. Las tendencias de las fracturas varían unas de otras pero siempre ligadas a fallas regionales como rasgos tectónicos dominantes (fotografía 3.19).

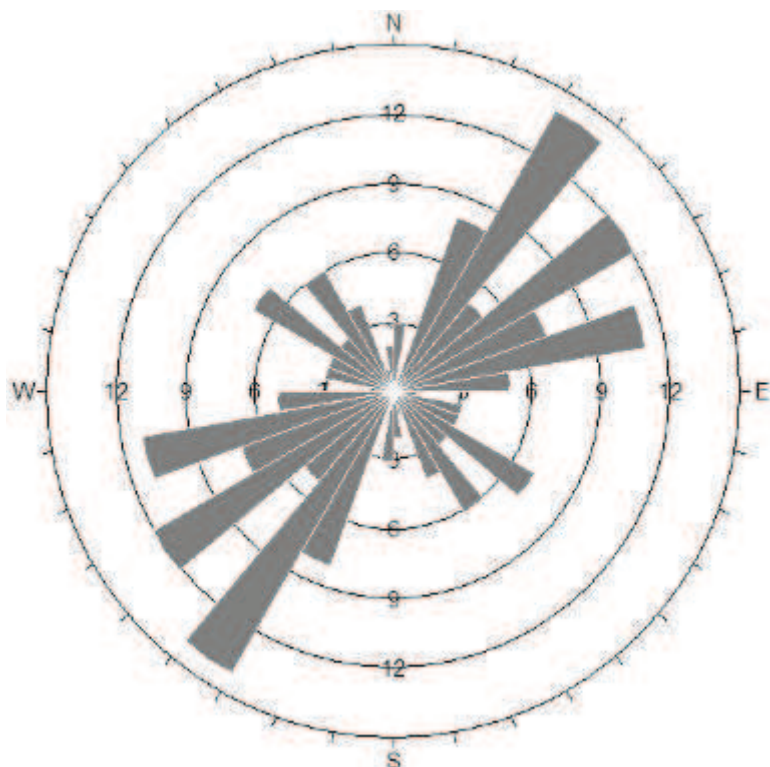


Figura 3.7: Diagrama de rosas mostrando las tendencias estructurales presentes de las diferentes estructuras que han sido medidas en la zona de estudio. Se marca la tendencia dominante NE en la mayoría de estructuras, lo que lleva correspondencia con la interpretación del rumbo de los cordones litorales donde se han depositado las arenas con minerales de Fe y Ti.



Fotografía 3.19: Detalle estructural en la Fm. Onzole de la zona de estudio donde es visible las fracturas conjugadas en la limolita.

En base a lo expuesto se puede clasificar de la siguiente forma a las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio:

3.4.1 FALLAS INFERIDAS

Los rasgos tectónicos y estructurales representativos de la zona de estudio corresponden a dos juegos principales de fallas geológicas que se pueden divisar en las fotografías aéreas, dichos sistemas principales son los siguientes:

1. Fallas con rumbo NNE - SSW que atraviesa la parte central del área de estudio.
2. Fallas con rumbo W – E, que se ubica al Norte del área de estudio, que separan los terrenos de planicie marina con los terrenos de la cordillera de Mompiche, tienen un comportamiento normal.

3.4.2 FALLAS LOCALES

Las fallas locales corresponden a los planos medidos en los taludes y acantilados en el sector Oeste del área de estudio, que ya han sido descritos en los párrafos anteriores. Dicho fallamiento presenta un desplazamiento local. A pesar de ello no se descarta la idea de que esté asociado a los rasgos de fallamiento mas regional que se han divisado en las fotografías aéreas y que se ha descrito en el subcapítulo anterior.

3.4.3 TENDENCIA DE ESTRATIFICACIÓN

La tendencia de las estratificaciones, que se divisa en la Formación Onzole que es el cuerpo rocoso que abarca la mayor superficie dentro del área de estudio, poseen un grado bajo de estratificación buzando hacia el NO, el rumbo de los estratos se orienta en forma general al NE (coincidiendo con la interpretación de los cordones litorales como depósitos de arenas con minerales negros de origen marino). Como descripción general se puede mencionar que el área investigada se presenta en un ambiente geológico perteneciente a una cuenca de ante-arco, con depósitos de sedimentos marinos y continentales de edades del Oligoceno, Mioceno y Plioceno, incluso se pueden ubicar varios depósitos recientes del Cuaternario.

Los rasgos estructurales regionales más importantes relacionados a la zona investigada corresponden a la cuenca sedimentaria de Esmeraldas – Caráquez - Borbón, que posee un eje sinclinal de dirección Noreste a Suroeste. Esta cuenca ha sido investigada para determinar zonas favorables de presencia de hidrocarburos. El eje de la estructura sinclinal mencionada correspondería, según otros estudios realizados en la región, a una serie de pliegues abiertos que estarían segmentados por fallas de rumbo NE, al ser del tipo sinclinal se puede concluir que las rocas más superficiales van a ser las más jóvenes (Reyes, 2008).

3.5 COLUMNA LITOLÓGICA REPRESENTATIVA

A continuación se presenta la columna litológica de la zona de estudio en la figura 3.8. Considerando los datos obtenidos en el campo, más la recopilación de información se elaboró esta columna estratigráfica representativa, la cual abarca una potencia aproximada de 350 m.

Breve descripción de la columna litológica:

Formación Onzole (Plioceno): compuesto por areniscas, lodolitas limosas y por varios niveles de conglomerados poco litificados, posee un espesor aproximado de 300 m.

Sedimentos marinos recientes (Holoceno): compuesto por sedimentos tipo arenas, arcillas y limos y de minerales pesados (óxidos de Fe y Ti), puede tener espesores superiores a los 20 m en algunas zonas.

Depósitos Aluviales (Reciente): compuestos por arenas, limos y cantos de origen aluvial, abarcan espesores en el rango de 4 a 10 m.

Depósitos Coluviales (Reciente): compuestos por bloques de rocas sedimentarias con matrices arcillosas. Poseen espesores que varían entre 5 y 15 metros.

3.6 PERFILES GEOLÓGICOS REPRESENTATIVOS

Se presenta dos perfiles, tanto en dirección Este – Oeste como uno Norte – Sur (figura 3.9), con su localización visible en el mapa N°4 de la zona de estudio, en donde se indican las diferentes formaciones geológicas y las estructuras geológicas presentes, así como su distribución espacial.

Perfil geológico N°1: Perfil en sentido Este – Oeste (A - A')

Perfil N°1	Coordenada de Inicio		Coordenada de final		Longitud del Perfil (m)
	E	N	E	N	
	606678	54526	608951	54526	2300

Tabla 3.1: Coordenadas del Perfil Geológico N°1

Perfil geológico N°2: Perfil en sentido Norte – Sur (B – B')

Perfil N°2	Coordenada de Inicio		Coordenada de final		Longitud del Perfil (m)
	E	N	E	N	
	608618	55621	608618	53835	1800

Tabla 3.2: Coordenadas del Perfil Geológico N°2

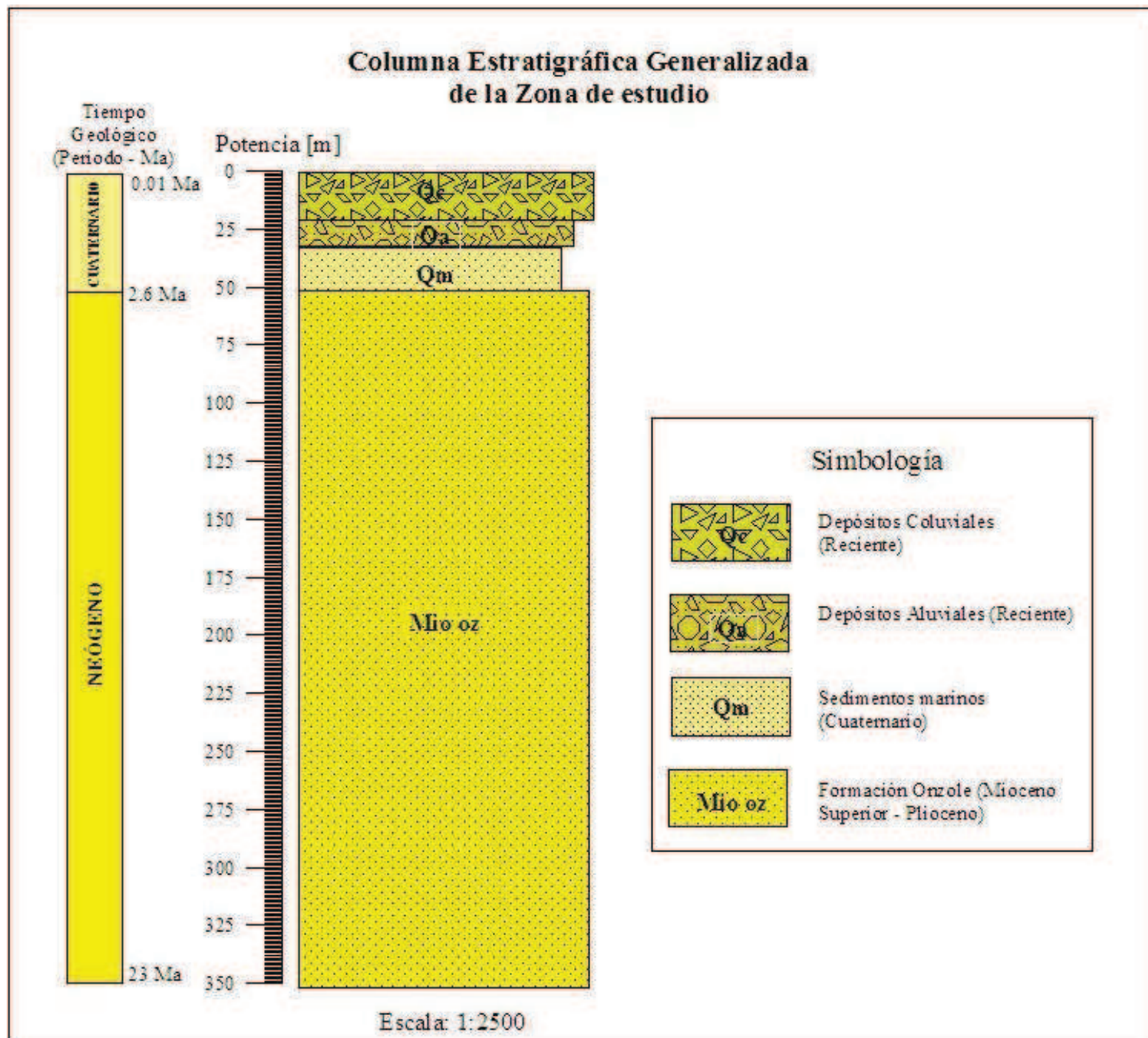


Figura 3.8: Columna estratigráfica esquemática del área de estudio

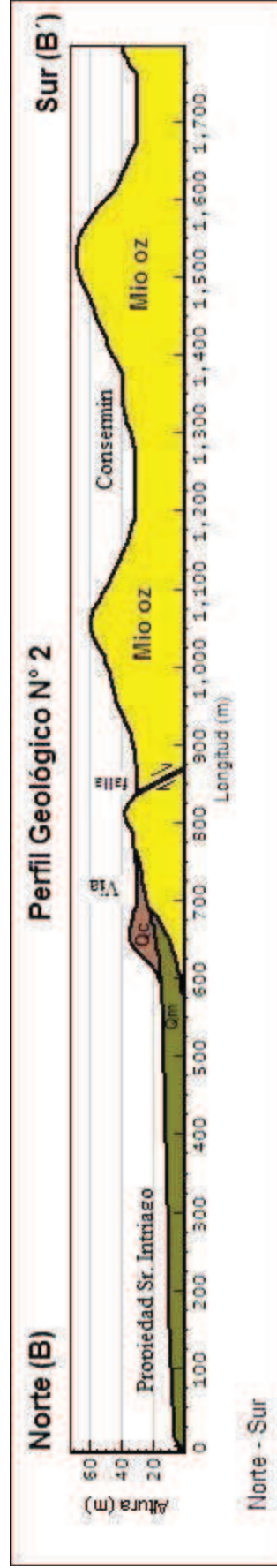
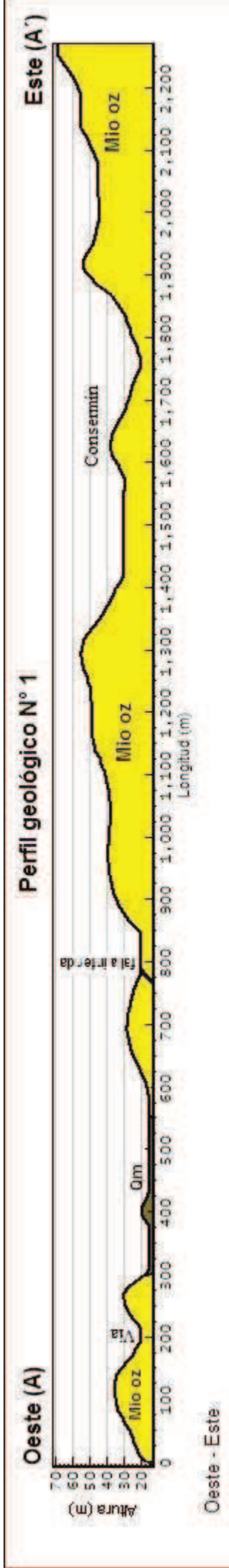


Figura 3.9: Perfiles geológicos N°1 y N°2 del área de estudio
Escala horizontal: 1:10000
Escala vertical: 1:5000

3.7 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En base a lo que se planteó en la geodinámica actual del país en el capítulo 2, el margen continental posee un ancho aproximado de 200 km, tiene una gran complejidad geológica y también refleja la intensa actividad tectónica que sufrió el país desde el final del Cretácico. Este margen hacia la parte costera está compuesto de terrenos oceánicos, siendo el principal terreno costero la Fm. Piñón que se constituye en el basamento de la región. Sobreyaciendo a esta formación geológica se ubica la Fm. Zapallo que constituye la base de la serie tipo flysh que se deposita en transgresión sobre el relieve cretácico. Sobre la Fm. Zapallo se deposita la Fm. Pambil que está compuesta de lodolitas y areniscas de grano fino, esta formación infrayace a la Fm. Viche. Por encima de la Fm. Viche, se inicia el depósito del llamado Grupo Daule con la Fm. Angostura formando una discordancia durante su depósito. Debido a la cobertura sedimentaria depositada en la zona, no se pueden apreciar depósitos de estas formaciones geológicas. El Paleógeno y Neógeno del margen continental están representados por cuencas de ante-arco rellenas de sedimentos marinos (Jaillard et al, 1997).

Considerando que el Ecuador, para el Mioceno Tardío, ya funcionaba como un margen convergente activo, durante éste tiempo se da la depositación de la Formación Onzole en un ambiente de plataforma marina, ambiente dominado por la sedimentación de limos o arcillas. La mayor parte de los materiales limosos y arcillosos fueron transportados en suspensión procedentes del continente y poseen una estratificación paralela. En el Plioceno se depositó la Formación Borbón, que se formó en un ambiente marino, esto se lo puede deducir en base a su litología y al tipo de organismos fósiles presentes, por lo que correspondería a un ambiente marino más somero que el de la Fm Onzole (Ordóñez, 2006).

La zona de estudio tiene como basamento visible las rocas de la Fm Ónzole Inferior que poseen una litología de limolitas de coloración olivo grisáceo con zonas silicificadas y presencia de carbonatos, como se mencionó en el subcapítulo 3.3. Esta formación geológica puede abarcar potencias cercanas a los 300 metros en el área de estudio. Con el margen de placas activo, se tiene que para el período comprendido entre el Plioceno y el Cuaternario, podría haber

iniciado la subducción del Ridge de Carnegie, aproximadamente hace 3 Ma. Esta subducción provocaría un aumento en el régimen compresivo, dando como resultado una mayor cantidad de esfuerzos que actúan sobre la región y sobre el área estudiada. Dicho efecto se manifestaría en que podría haberse iniciado el funcionamiento de una posible falla que cubriría un área regional; esta falla, posiblemente inversa, levantaría las formaciones Onzole y Borbón. Este rasgo morfológico regional sería el marcador estructural que diferencia la zona montañosa ubicada al Sur del área de estudio de los bajos topográficos con los depósitos de arenas hacia el Norte del área. Al darse este levantamiento también el agua comenzaría a socavar los drenajes de esta zona generando los depósitos en el margen del río Mompiche que que divisan en la actualidad.

Para el Cuaternario, a nivel regional existe la deformación producida entre las placas Caribe y Sudamérica, que vendría a provocar la deriva del Bloque Norandino en dirección NNE-SSO, donde se generan esfuerzos dextrales transpresivos, pero donde el régimen de esfuerzos compresivo también continúa, esta condición en el área de estudio se manifestaría en el inicio del funcionamiento de una nueva falla que vendría a levantar nuevamente a la Formación Onzole; debido a este levantamiento el agua de los ríos nuevamente tendría que socavar el terreno con el fin de darse paso y alcanzar su nivel de base, provocando el depósito de los sedimentos compuestos por arenas y limos en las desembocaduras de los ríos (Reynaud, 1999).

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

4.1 INTRODUCCIÓN

La geofísica es la ciencia encargada de estudiar los fenómenos físicos que se producen en el planeta, tales como el electromagnetismo, propagación de ondas mecánicas en la corteza terrestre, la gravedad, entre otras. La prospección geofísica se refiere al uso de métodos físicos y matemáticos para determinar las propiedades físicas de las rocas y los contrastes que se observen en ellas, de dichas propiedades. El propósito de tal determinación es conocer la distribución de los cuerpos de roca y minerales de interés en el interior de la Tierra, en base a las anomalías geofísicas medidas u observadas. La prospección geofísica consiste en inferir la estructura geológica del subsuelo a través de la distribución y estudio de alguna propiedad física del mismo, dependiendo del método que se utilice. Son diversas las propiedades físicas del subsuelo susceptibles de medirse desde la superficie y que permiten determinar su distribución espacial. Podemos mencionar la resistividad eléctrica del subsuelo, velocidad de propagación de ondas de sonido, densidad de masa y susceptibilidad magnética, entre las más importantes (Álvarez, 2012).

De acuerdo a las propiedades físicas de la Tierra que se desee estudiar, se puede definir uno o varios métodos geofísicos aplicables, entre los que se puede mencionar los siguientes: método geoelectrico, método sísmico, método gravimétrico y método magnetométrico (que es él que se ha empleado a lo largo de este proyecto). El método magnetométrico mide la propiedad por la cual se puede caracterizar el subsuelo, a través de la distribución de la susceptibilidad magnética de los distintos materiales del mismo, directamente relacionada con el contenido de minerales con propiedades magnéticas como la magnetita (óxido de

hierro) o ilmenita (óxido de hierro y titanio), asociado con mediciones del campo natural magnetométrico terrestre. Además permite caracterizar el subsuelo desde algunos metros hasta decenas de kilómetros de profundidad. Es un método geofísico relativamente simple en su aplicación. El campo magnético de la Tierra afecta a yacimientos que contienen minerales con hierro. Estos yacimientos producen un campo magnético inducido, es decir su propio campo magnético. Un magnetómetro mide simplemente las anomalías magnéticas en la superficie terrestre, las cuales podrían ser producto de un yacimiento. El principio operacional de este método se basa en que la Tierra genera un campo magnético propio, que puede ser comparado con el campo correspondiente a un dipolo, como un imán de barra, situado en el centro del planeta, cuyo eje está inclinado con respecto al eje de rotación. El dipolo está dirigido hacia el Sur, de tal modo en el hemisferio Norte cerca del polo Norte geográfico se ubica un polo Sur magnético y en el hemisferio Sur cerca del polo Sur geográfico se ubica un polo Norte magnético (Álvarez, 2012).

Por convención se denomina el polo magnético ubicado cerca del polo Norte geográfico polo Norte magnético y el polo magnético situado cerca del polo Sur geográfico polo Sur magnético. El campo geomagnético no es constante sino que sufre variaciones con el tiempo y con respecto a su forma. La imantación inducida depende de la susceptibilidad magnética de una roca o de un mineral y del campo externo existente. La imantación remanente de una roca se refiere al magnetismo residual de la roca en ausencia de un campo magnético externo, la imantación remanente depende de la historia geológica de la roca. Cabe mencionar que el método magnetométrico es el método geofísico de prospección más antiguo, aplicable en la prospección petrolífera y en las exploraciones mineras. En las exploraciones mineras se aplica en la búsqueda directa de minerales magnéticos y en la búsqueda de minerales no magnéticos asociados con los minerales que ejercen un efecto magnético medible en la superficie terrestre. Aplicando el método magnetométrico en la prospección minera, se quiere delinear variaciones del campo geomagnético o anomalías magnéticas relacionadas con un depósito mineral con un cierto contenido en minerales de hierro. Generalmente las mediciones magnéticas se realizan a lo largo de perfiles en puntos de observación en distancias regulares, siguiendo un mallado de muestreo establecido.

Combinando las medidas de perfiles paralelos se obtiene un mapa de observaciones o anomalías magnéticas. La mayoría de los magnetómetros disponibles, que son los equipos con los que se mide el magnetismo de los cuerpos en exploración minera, mide variaciones de la intensidad vertical que posee una interpretación más clara en comparación a la medición de variaciones en las intensidades total y horizontal. Por lo tanto se trata de mediciones relativas, cuya precisión es más alta en comparación a las mediciones absolutas (Cataldi, 2012).

Hay que mencionar que el campo geomagnético sufre variaciones con respecto al tiempo y a su forma, como la variación diurna por ejemplo. Estas variaciones, que no están relacionadas con un depósito mineral con un cierto contenido de minerales de hierro, superponen los valores medidos, por tal motivo se debe corregir los valores medidos. El uso de métodos magnetométricos permite establecer el efecto de ciertos tipos de minerales que alcanzan a perturbar el campo magnético terrestre. Depósitos que estén asociados con presencia de hierro u óxidos de hierro con alta susceptibilidad magnética y otros óxidos, pueden ser detectados gracias a este tipo de mediciones. Existen varias ventajas de la aplicación de la magnetometría en las ciencias de la Tierra, entre las que se puede mencionar a las siguientes:

- Determina anomalías de tipo magnético en regiones con mineralizaciones asociadas a minerales con contenido de Fe.
- Permiten interpretar el tipo de fallas que afectan el basamento magnético, así como su dirección y posible desplazamiento.

4.1.1 PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA

La prospección magnetométrica es una técnica basada en la medida y estudio de las variaciones del campo magnético terrestre, obteniéndose medidas del valor total del campo magnético o del gradiente de dicho campo. Estas variaciones, son

debidas a la presencia de cuerpos susceptibles de ser magnetizados y que contribuyen a modificar el campo magnético terrestre en su entorno. La prospección magnetométrica determina las anomalías en el valor normal del campo magnético de un área establecida, que puede ser provocada por la presencia de minerales magnéticos. La gran mayoría de las rocas que conforman la corteza terrestre contienen en su estructura pequeñas cantidades de óxidos de hierro, y dado que al cristalizar dichas rocas a partir de un magma y en presencia de un campo magnético externo, en nuestro caso el campo magnético terrestre, los momentos magnéticos terminan orientados hacia el polo magnético presente. Esto tiene relación con la definición del punto de Curie que es la temperatura por encima de la cual un cuerpo ferromagnético pierde su magnetismo, comportándose como un material puramente paramagnético. En el hierro ocurre a 770° , en el níquel a 360° . El campo de acción de la prospección magnetométrica está enfocado a estudiar, analizar e interpretar los efectos producidos en las rocas, minerales metálicos y no metálicos en zonas que presenten anomalías geofísicas, es decir zonas que muestren valores diferentes a los valores normales del campo medido. La construcción de un mapa de anomalías magnetométricas puede llevar a determinar la presencia de una formación geológica apta para un proceso de explotación industrial (Álvarez, 2012; Cataldi, 2012).

4.1.2 CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

Estudios relacionados al campo magnético de la Tierra han permitido establecer que su intensidad tiene un carácter vectorial. Se lo puede considerar como el campo de una esfera magnetizada con un eje inclinado respecto al eje de rotación cerca de 11.5° , como se visualiza en la figura 4.1. Dentro del estudio del campo magnético terrestre se considera la intensidad del campo, referida a un sistema de ejes coordenados rectangulares, en donde el eje X es horizontal y está dirigido al Norte geográfico, el eje Y es también horizontal y está dirigido hacia el Este, y el eje Z es vertical y está dirigido hacia el centro.

La proyección de la intensidad del campo magnético sobre el plano horizontal se denomina componente horizontal. El ángulo que forman la componente horizontal con el eje X se denomina declinación, siendo positiva hacia el Este; el ángulo entre el plano horizontal y el vector que forma la intensidad del campo magnético se denomina como inclinación. La magnetometría aplicada tiene como objetivo primario la identificación y descripción de cambios espaciales en el campo magnético de la Tierra (Ruiz, 2003).

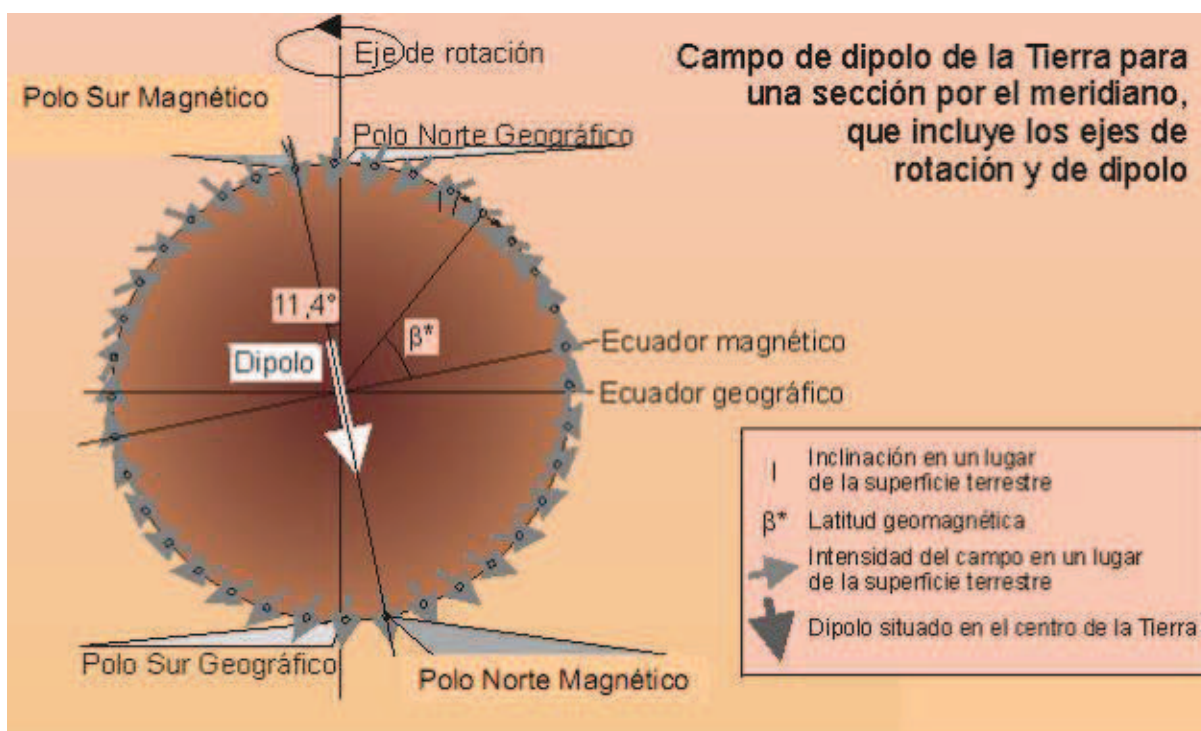


Figura 4.1: Esquema del campo magnético terrestre
Tomado de Ruiz, 2003

Campo Geomagnético Internacional de Referencia IGRF:

Para la reducción de las observaciones geomagnéticas, se necesita establecer modelos matemáticos a escala mundial relacionados con el campo magnético terrestre. Este campo geomagnético internacional de referencia (IGRF) es una representación idealizada de dicho campo y además es liberada de las irregularidades temporales producidas en espacio. La propiedad más importante del desarrollo de este campo de referencia es la de tener en cuenta la simetría

esférica y por consiguiente la simetría del sistema de referencia para ubicar un punto en la superficie terrestre en base a ciertas coordenadas, siendo el punto $P(r, \theta, \lambda)$ donde r , θ y λ corresponden a valores de posición de un punto en el espacio como se observa en la figura 4.2. Se considera que la fuente principal del campo magnético terrestre es interna (Ruíz, 2003).

4.1.3 UNIDADES DE MEDIDA DEL MAGNETISMO

Tesla (T): unidad de campo magnético en el Sistema Internacional. Es muy grande, por lo que se usa el militesla ($1 \text{ mT} = 10^{-3} \text{ T}$) y el nanotesla ($1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$).

Gauss (G): unidad de campo magnético en el sistema Centímetro – Gramo – Segundo. Es grande, por lo que se usa la gamma: $1 \text{ } \gamma = 10^{-5} \text{ G}$.

$$1 \text{ } \gamma = 1 \text{ nT.}$$

4.1.4 COORDENADAS GEOMAGNÉTICAS

Por la inclinación del eje dipolar geomagnético con respecto al eje de rotación de la Tierra, los sistemas de coordenadas geográficas y geomagnéticas no coinciden. Las coordenadas geomagnéticas para un lugar en la superficie del planeta se calculan conociendo las coordenadas geográficas de dicho sitio y de las intersecciones boreal o austral respectivamente. Para dicho cálculo se puede emplear las siguientes expresiones que han sido tomadas de Ruiz, 2003.

$$\text{sen } \phi^* = \text{sen } \phi_B \text{ sen } \phi + \text{cos } \phi_B \text{ cos } \phi \text{ cos } (\lambda - \lambda_B)$$

$$\text{sen } \lambda^* = [\text{cos } \phi \text{ sen } (\lambda - \lambda_B)] / \text{cos } \phi^*$$

$$\text{sen } D = - [\text{cos } \phi_B \text{ sen } (\lambda - \lambda_B)] / \text{cos } \phi^*$$

Dónde:

ϕ^* = latitud geomagnética, es positiva hacia el Norte.

$\phi^* = 0^\circ$ designa el ecuador geomagnético.

$I = 0^\circ$ caracteriza el ecuador magnético.

λ^* = longitud geomagnética, es positiva hacia el Este partiendo de la intersección del meridiano geográfico, que pasa por la intersección boreal, con el ecuador geomagnético.

D = ángulo entre los meridianos geográfico y geomagnético, es positivo hacia el Este, varía de un lugar al otro.

Debido a la inclinación del eje dipolar con respecto al eje de rotación lugares de muy diferentes latitudes geográficas pueden ubicarse en la misma latitud geomagnética.

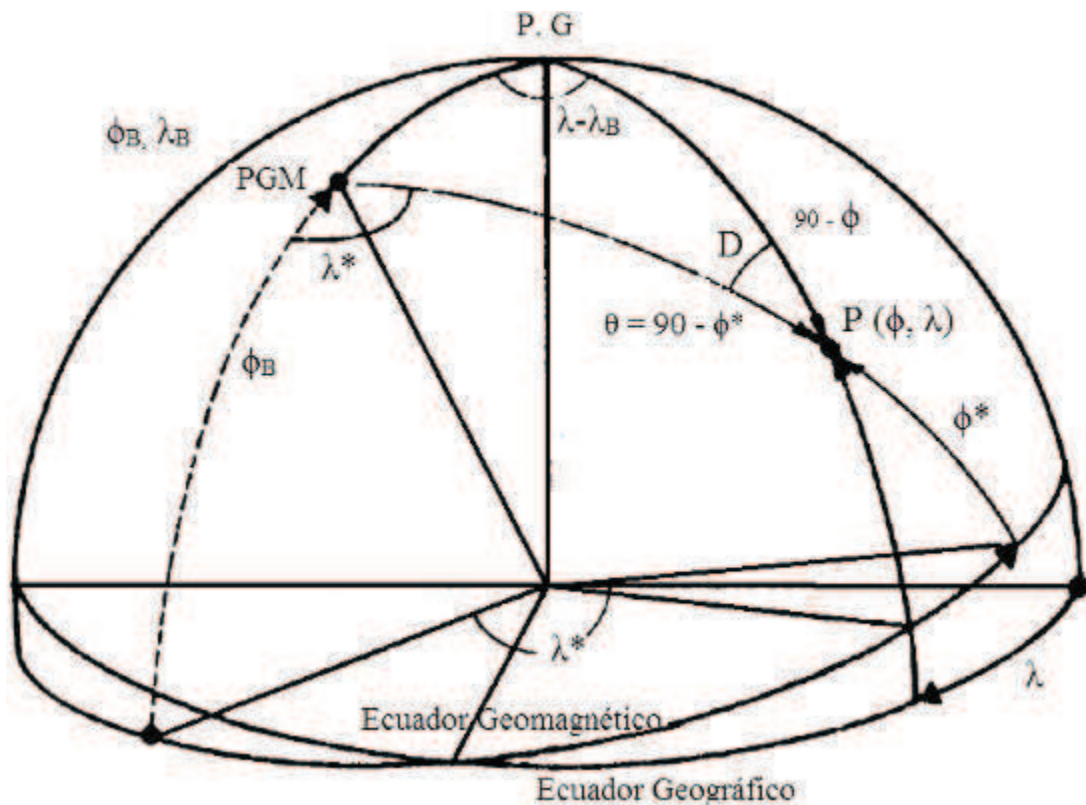


Figura 4.2: Sistema de coordenadas geográficas (π, λ) y geomagnéticas (π^*, λ^*)
Tomado de Ruiz, 2003

4.1.5 VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

El campo magnético terrestre varía con el tiempo, teniendo entre sus variaciones más importantes las siguientes:

- Variación secular de los componentes: con un valor de algunas decenas de nT/a y que en algunos sitios alcanza hasta 150 nT/a y de hasta 10 min/a para la declinación e inclinación. Esta variación está originada en cambios en el acoplamiento electromagnético de núcleo y manto terrestres.
- Variaciones periódicas: con períodos de 12 horas, 1 día, 27 días, 6 meses y 1 año, originadas por el campo externo, pueden llegar a tener valores de hasta 100 nT (variación solar y lunar diarias), producidas en el campo magnético externo.
- Variaciones no periódicas: conocidas como tormentas magnéticas, con intensidades de hasta 1500 nT, producidas en el campo magnético externo.
- Pulsaciones magnéticas: llamadas variaciones de período muy corto y pequeña amplitud (1 a 100 nT), producidas también en el campo magnético externo.

Se puede enumerar más variaciones en el campo magnético terrestre, entre las que se tiene las descritas en la tabla 4.1.

4.1.6 CORRECCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

4.1.6.1 Corrección de la variación diurna

Debida a la rotación terrestre con respecto a la ionósfera. Se corrige registrando el campo magnético a intervalos regulares con un magnetómetro fijo. El valor de esta corrección es muy pequeño, entre 10 a 30 nT. Solo cuando hay presencia de tormentas magnéticas su corrección adquiere valores grandes, pero en dichas

condiciones climáticas es preferible suspender la toma de datos (Ruíz, 2003; Álvarez, 2012).

TIPO DE VARIACIÓN	ORIGEN	VARIACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	FORMA ESPACIAL	AMPLITUD TÍPICA
Bipolar	Interior de la Tierra	Desciende lentamente	Aproximadamente dipolar	25000 - 70000 nT
Secular	Núcleo de la Tierra	1 - 100a	Irregular, migrando hacia el Oeste	+/- 10 - 100 nT/a
Diurna	Exterior, relacionado con manchas solares	24horas, 27 días, 12 meses, 11 años	Depende de ϕ^* y de la actividad de manchas solares	10 - 100 nT
Micro pulsaciones	Exterior	Frecuencia: 0.002 - 0.1 Hz	Depende de ϕ^* y de la actividad de manchas solares y de tormentas magnéticas	Normal: 1 - 10 nT, máximo 500 nT
Frecuencias de audio magnéticas	Exterior	Frecuencia: 1- 1000 Hz	Depende de ϕ^* y de la actividad de manchas solares y de tornados	0.01 nT/s
Efectos de corrientes telúricas	Interior en baja profundidad	Frecuencia: 0.002 - 1000 Hz	Geología	Hasta 0.01 nT/s
Imantación inducida de las rocas	Interior en baja profundidad hasta la geoterma de punto de Curie 2	Secular	Geología, varía, depende en primer lugar del contenido de magnetita en las rocas	Hasta 0.05 emu/cm ³
Imantación remanente de las rocas	Interior en baja profundidad hasta la geoterma del punto de Curie 2	Se descompone durante tiempos geológicos	Geología	Hasta 0.2 emu/cm ³

Tabla 4.1: Variaciones temporales del campo magnético terrestre
Modificado de Ruíz, 2003

4.1.6.2 Corrección de la variación secular

Se aplica a campañas de larga duración, meses o años, ya que se debe compensar las variaciones del campo magnético terrestre de origen interno.

4.1.6.3 Corrección de altitud

Es una corrección pequeña que se aplica cuando el relieve es muy fuerte, y también en exploraciones aéreas. Se le suma las medidas efectuadas sobre el nivel del mar. Se emplea una expresión matemática para realizarla, los valores a corregir corresponden a la posición del punto de medida, siendo 0.015 nT/m en el ecuador magnético y 0.030 nT/m en los polos magnéticos.

4.1.6.4 Corrección de latitud

Se resta hacia el polo magnético más cercano y se suma hacia el ecuador magnético. De igual forma se la calcula en base a una expresión matemática, su valor es 0 en los polos y en el ecuador magnético, corresponde a 0.005 nT/m para latitudes intermedias.

Para efectuar las correcciones a los valores observados del campo magnético, se requiere conocer el comportamiento de dicho campo y luego se procede a descontar las variaciones, según corresponda. Para esto se debe tener en cuenta varios aspectos, tales como los siguientes:

- Se debe tener el registro de la variación del campo magnético, medido con un equipo que se ubique como una estación fija en la zona de estudio y que se mantenga allí durante la campaña de prospección. Se debe efectuar las determinaciones a distancias no mayores a 200 km de la estación base, donde se puede considerar que las variaciones del campo geomagnético son de igual orden.

- Si no se cuenta con dos magnetómetros para poder ubicar uno como estación base, para construir la curva de variación diurna se deberá repetir la lectura en una o varias estaciones tomadas como base, a intervalos no mayores de 2 horas, que sería la variación lineal del campo, debiendo ser menor este lapso si se requiere mayor precisión.
- Las lecturas del cambio magnetométrico deben corregirse ubicándolas a un tiempo de referencia, además a la medición se le adiciona, con signo negativo, la cantidad que la curva de variación diurna se aparta de la línea base en el instante de lectura. De esta forma se reducen todas las mediciones a una misma época magnética.

4.1.7 ANOMALÍAS MAGNÉTICAS

Los cambios temporales producidos en el campo magnético terrestre representan interferencia o ruido en la señal medida. La desviación de la intensidad del campo medido respecto del campo normal se denomina anomalía magnética. Su causa es la variación de composición de las rocas de la corteza terrestre. Cualquiera que sea la forma del campo, éste reflejará las características magnéticas de las rocas de la corteza terrestre. Las variaciones espaciales del campo o anomalías pueden ser mapeadas para identificar y describir las fuentes que las ocasionan. Debemos tener en cuenta el carácter dipolar del magnetismo, ya que las anomalías magnéticas creadas por cuerpos geológicos, que poseen dimensiones limitadas, presentan siempre polos de ambos signos (Ruiz, 2003).

Podemos mencionar como anomalías magnéticas dos tipos de las mismas, la anomalía absoluta que está vinculada al campo Geomagnético Internacional de Referencia IGRF y la anomalía relativa vinculada con la estación base de medida de dicho campo. Las variaciones del campo magnético terrestre, con la altura o con la latitud no son muy importantes cuando se hacen medidas sobre extensiones pequeñas, como es el caso de la prospección. Respecto a la altura a

la que se puede ubicar un cuerpo, la intensidad del campo terrestre sólo varía en 0.03 nT/m en los polos y tan solo la mitad de este valor en el ecuador geográfico. Dentro del comportamiento magnético que poseen distintos materiales situados en un campo externo se tienen los siguientes:

1. Los materiales diamagnéticos: se caracterizan por susceptibilidades magnéticas negativas de poca intensidad, lo que significa, que la magnetización inducida en ellos está orientada en sentido opuesto al campo externo aplicado. Materiales diamagnéticos son entre otros las sales, la anhidrita, cuarzo, feldespato y grafito.
2. Los materiales paramagnéticos son ligeramente magnéticos, caracterizados por susceptibilidades magnéticas pequeñas positivas. La mayoría de los componentes formadores de las rocas, como los silicatos comunes son para- diamagnéticos.
3. Los materiales ferromagnéticos tienen susceptibilidades positivas y altas. Materiales ferromagnéticos son el hierro, cobalto y níquel.

Las anomalías magnéticas terrestres están causadas por dos tipos de magnetización diferentes: inducida y remanente natural. La primera depende de la susceptibilidad magnética de una roca o de un mineral y del campo externo existente, mientras que la magnetización remanente natural es aún predominante en muchas rocas ígneas y aleaciones de hierro. Depende de las propiedades metalúrgicas, termales y mecánicas, además de la historia magnética de la roca. Estas variaciones espaciales o anomalías a ser representadas en los mapas, son aquellas usualmente causadas por distribuciones anómalas de minerales magnéticos o por objetos culturales escondidos o enterrados que sean de interés (Álvarez, 2012).

4.1.8 MAGNETIZACIÓN DE UN CUERPO

Todos los granos que conforman las rocas son afectados por el campo magnético terrestre. Las rocas que contienen minerales ferromagnéticos ante el campo magnético terrestre adquieren una magnetización, llamada magnetización inducida. Esta magnetización se hace cero cuando el campo magnético terrestre desaparece. No obstante, los materiales ferromagnéticos tienen la habilidad de retener parte de la magnetización aún en ausencia de campos magnéticos externos. Esta magnetización permanente se llama magnetización remanente. En estudios geofísicos se acostumbra considerar la magnetización total M como la suma vectorial de la magnetización inducida y remanente. A temperaturas mayores que 580°C , la mayoría de rocas de la corteza terrestre pierden totalmente la magnetización.

Esta temperatura se alcanza entre 10 y 30 km de profundidad en la corteza terrestre. En general las rocas máficas son mucho más magnéticas que las rocas silíceas. Las rocas sedimentarias en general tienen valores muy bajos de magnetización. Las rocas pueden conservar una imantación remanente relacionada con el campo geomagnético existente cuando éstas se han formado. Como el campo geomagnético varía con el tiempo, la magnitud y la dirección del campo de un lugar varían también. El estudio de la historia del campo geomagnético, llamado paleomagnetismo, se basa en la imantación remanente y contribuye al estudio de la geología histórica (Ruiz, 2003).

4.2 METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA

La metodología para el trabajo de la prospección geofísica – magnetométrica, se divide en base a la instrumentación utilizada, a la forma de trabajo con dichos instrumentos y a las interpretaciones que se les dé a los datos recolectados.

Para realizar la adquisición de datos magnéticos es necesario tener un conocimiento previo del valor medio de la intensidad de campo magnético de la

zona, la declinación y la inclinación. Una vez que se conocen estos parámetros se procede a realizar la adquisición de datos con los equipos mencionados en la instrumentación. La toma de datos geofísicos para el desarrollo del presente proyecto se la realizó en una campaña de campo. Esta etapa en la ejecución del proyecto de titulación fue realizada junto al Ing. Edward Alberto Durán, miembro de la empresa TRX Consulting C.A. (Venezuela), que posee un convenio con la empresa EGV Consultores (Ecuador), la que proveía en base a una consultoría, líneas de investigación en el campo a la GNMMS para la realización de dichos trabajos magnetométricos. Las interpretaciones de los datos tomados se realizaron en las oficinas de TRX Consulting C.A., con todos los datos recolectados a lo largo de las líneas de investigación N - S, las líneas transversales a las anteriores, y los datos de la estación fija, datos visibles en las tablas en el anexo N° 2 de ese trabajo. Los resultados fueron remitidos a la GNMMS, lo que permite su utilización para presentarlos en este proyecto (Cataldi, 2012).

4.2.1 INSTRUMENTACIÓN

Para la ejecución de la prospección geofísica, es necesario el uso de 2 magnetómetros para la medición en el campo y en la estaciones base. Se requieren magnetómetros de alta resolución para las medidas en líneas, precisión en el orden de 0.02 nT/Hz y sensibilidad en el orden de 0.1 nT. Los magnetómetros de medición de campo total son del tipo GEM 19 (Overhauser). Para la estación base es suficiente el uso de un magnetómetro protónico del mismo tipo. Dichos magnetómetros están compuestos por una consola que registra los datos y su respectiva bobina receptora que mide el magnetismo del terreno. Se requiere que el magnetómetro para las mediciones en línea posea un sensor con direccionalidad total para investigaciones a baja latitudes magnéticas terrestres (GEM Systems Advanced Magnetometers).

4.2.2 INSTALACIÓN DE BASES DE CAMPO

Esta base se debe ubicar, en lo posible, en lugares cercanos al área de estudio o dentro de la misma, pero lejos de fuentes magnéticas que puedan generar errores en la medición. El magnetómetro base una vez sincronizado con el móvil se programará para adquirir datos según el lapso de tiempo establecido para el estudio.

4.2.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para proceder al trabajo con los magnetómetros, se debe sincronizar a los dos equipos, uno de ellos se instala como estación base y está programado para realizar el registro de la variación diurna durante el tiempo de adquisición de los datos. Los sensores de cada magnetómetro se colocan a una altura mínima de 1.60 m de la superficie y orientada según especificaciones del manual del equipo. Para el equipo móvil, ubicamos los sitios de medida y se realiza el trabajo, siempre guardando una distancia prudencial de cualquier estructura que pueda generar errores en las medidas tales como cercas, alambradas, cableado eléctrico, entre otros; así como también se debe estar alejado de cualquier ruido cultural.

4.2.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Dentro del procedimiento para el procesamiento de los datos se debe considerar varias circunstancias, tales como:

- Control de calidad de los datos
- Referencia espacial de las medidas.

- Nivelación de datos (Remoción de efectos de líneas).
- Cálculo del Campo Magnético Total (TMF)
- Cálculo del espectro de potencia promediado Radialmente (RAPS)
- Separación de componentes (en el caso exista un regional)
- Reducción al Polo de los datos (RTP).
- Filtros tipo Primera Derivada y similares que resalten el contenido geológico de los datos.

4.2.4.1 Campo Total:

Muestra la intensidad del campo magnético total, con correcciones hechas por la variación diurna. Dichas variaciones son detectadas por mediciones simultáneas hechas con un magnetómetro utilizado como base fija dentro de la zona de interés (Álvarez, 2012; Cataldi, 2012).

4.2.4.2 Reducción al Polo:

Muestra la intensidad del campo magnético reducido al polo, puede ser al polo norte, para simular lecturas en un ambiente de campo magnético vertical que permita una mejor interpretación de los datos obtenidos. Consiste en la utilización de un algoritmo que recalcula los valores obtenidos en la adquisición de datos, haciendo la suposición de que la zona de estudio está ubicada en el polo Norte, en donde cualquier variación en la susceptibilidad magnética será expresada como una anomalía superpuesta sobre la fuente que la genera. Es una forma práctica de visualizar la posición corregida de las anomalías y visualizar la geometría de las fuentes magnéticas, cosa que no es posible en un mapa del campo magnético total (Álvarez, 2012; Cataldi, 2012).

4.2.4.3 Reducción al Polo y Filtro Paso Alto:

Al aplicar la reducción al Polo y un filtro Paso Alto, se pueden delimitar las zonas de interés. Los datos, luego de la Reducción al Polo y Filtros, se utilizan para delimitar rasgos litológicos diferentes y así acotar zonas de desarrollo de alteraciones. También se considera una forma de visualizar la posición de las anomalías y de entender la geometría de las fuentes magnéticas, ya que, como se mencionó en el subcapítulo anterior, esto no es posible en un mapa del campo magnético total (Álvarez, 2012; Cataldi, 2012).

4.3 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

Se presenta el mapa N° 5, con la ubicación de las líneas de investigación geofísicas propuestas para el presente estudio, dentro de dichas líneas se ubicaron los sitios de lectura donde se utilizó el magnetómetro protónico para la toma de datos; estos puntos están ubicados en una malla de muestreo 200 x 20 m. Dentro del trabajo propuesto por la GNMMS, se realizó una malla con líneas de investigación en sentido Norte – Sur, con lecturas cada 20 m lo largo de dichas líneas, abarcando toda el área de estudio, además se tomaron varias lecturas en puntos más aleatorios en las 2 líneas transversales para de esta forma poder tener una mayor base de datos para realizar la interpretación geofísica.

Los puntos de lectura fueron ubicados en el campo con la ayuda del mapa topográfico base de la zona de estudio y de un GPS navegador marca Garmin (modelo GPS Map 62st). La longitud total de las líneas de investigación recorridas en la zona de estudio corresponde a 25600 metros aproximadamente.

4.4 DATOS TÉCNICOS DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO

El instrumento, de marca Overhauser, representa una tecnología útil para la exploración mineral de alta sensibilidad, mediciones ambientales y de ingeniería. Las mediciones se pueden efectuar caminando o haciendo uso de vehículos. El magnetómetro protónico se denomina así porque utiliza la inclinación del eje de giro, producida ante cualquier fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación de los núcleos del átomo de hidrógeno, para medir la intensidad total del campo magnético terrestre. Los núcleos del átomo del agua se comportan como pequeños dipolos magnéticos. Estos dipolos son temporalmente alineados y polarizados mediante la aplicación de un campo magnético uniforme, generado por una corriente en una bobina. Cuando se corta la corriente, el núcleo de los protones hace que estos se inclinen hacia su eje de giro alrededor de la dirección del campo magnético de la Tierra (GEM Systems Advanced Magnetometers).

La inclinación protónica genera entonces una pequeña señal en la misma bobina usada para la polarización, señal cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del campo total e independiente de la dirección de la bobina. La constante de proporcionalidad es la conocida constante atómica del protón. La frecuencia de inclinación del eje de rotación, típicamente de 2.000 Hz para un campo terrestre de aproximadamente 50.000 nT, se mide con un moderno contador digital, en valor absoluto de la intensidad de campo total y con una inclinación del eje de giro de hasta 0,1 nT. Esta es la descripción general del magnetómetro utilizado para realizar la prospección geofísica, tanto el equipo móvil como la base fija. Posee además las siguientes características:

4.4.1 MODELO

- Equipo Móvil: GEM GSM-19Wv7 (GPS) Overhauser Magnetómetro Protónico, Pantalla gráfica (64 x 240 píxel, o 8 x 3 caracteres).

- Estación Base: GEM GSM-19 Overhauser Magnetómetro Protónico, Pantalla gráfica (64 x 240 píxel, o 8 x 3 caracteres).
- Sensor de medida: GEM GSM-19 Overhauser. Actúa cuando un líquido especial, que contiene mayor cantidad de electrones que protones, es combinado con átomos de hidrógeno. Estos electrones transmiten su polarización a los átomos de hidrógeno, para luego emitir una señal fuerte y precisa.

4.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Resolución del equipo: 0.01 nT, campo magnético y gradiente.
- Precisión del equipo: 0.2 nT sobre el rango operativo.
- Rango de alcance: 20,000 a 120,000 nT.
- Tiempo de ciclo: Realiza hasta 5 mediciones por segundo.
- Tolerancia: Tiene la capacidad de realizar mediciones confiables en presencia de variaciones extremas del campo. Overhauser produce grandes amplitudes y señales de larga duración que facilita la realización de mediciones en presencia de altos gradientes. Tolera gradientes mayores a 10.000 nT/m.
- Fuente de poder: Posee 2 niveles de carga, se cambia mediante un switch de un nivel a otro. La entrada es normalmente 110 V; opcional 110V/220 V, 50/60 Hz.
- Memoria: Para más de 299.000 mediciones en modo Walk (Caminar), basado en una configuración de 4 Megabytes de memoria (expandible) y una adquisición con tiempo, coordenadas locales, GPS y valores de campo.
- Temperatura de operación: Es un instrumento fuerte, capaz de resistir temperaturas extremas y humedad. Opera satisfactoriamente con temperaturas entre -44 °C y 55 °C.

- Peso: La consola pesa 2.1 kg, mientras que el sensor ensamblado pesa 1 kg.
- Dimensiones: La consola mide 22.3 x 6.9 x 24 cm, mientras que el sensor, que posee una forma cilíndrica, mide 17.5 x 7.5 cm.
- Configuraciones de trabajo: Puede trabajar como equipo base, como un equipo remoto con toma de datos con GPS, o como un equipo remoto con toma de datos manual.

4.3.3 DETALLES DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS

- Sistema de Coordenadas: mapas locales referenciados con el datum UTM en la proyección WGS 1984.
- Sistema de medidas: métrico (Sistema Internacional).
- Dirección de las líneas de investigación: 14 líneas N 0° (líneas Norte - Sur), 2 líneas transversales (líneas Este - Oeste).
- Separación entre líneas de investigación: 200 m.
- Intervalo entre estaciones de toma de datos: 20 m.

4.4.4 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- Método de estudio: Prospección geofísica - Magnetometría
- Técnica de muestreo: determinación del campo magnético de la zona de estudio, utilizando un equipo móvil y una estación base.
- Configuración del equipo: magnetómetro GSM-19Wv7 (GPS) como estación móvil y magnetómetro GSM-19 como estación base.
- Nombre de las líneas de investigación: ver Tabla 4.2 y Tabla 4.3.
- Longitud de las líneas de investigación: ver Tabla 4.2 y Tabla 4.3.

LÍNEA	COORDENADA DE INICIO		COORDENADA DE FINAL		LONGITUD DE LA LÍNEA (m)	SEPARACIÓN ENTRE LÍNEAS (m)
	E	N	E	N		
L1	606370	53833	606370	54130	600	0
L2	606570	53863	606570	54290	600	200
L3	606770	53833	606770	54832	1000	400
L4	606970	53833	606970	54832	1000	600
L5	607170	53833	607170	54832	1000	800
L6	607370	53833	607370	54832	1000	1000
L7	607570	53833	607570	55632	1800	1200
L8	607770	53833	607770	55632	1800	1400
L9	607970	53833	607970	55632	1800	1600
L10	608170	53833	608170	55632	1800	1800
L11	608370	53833	608370	55632	1800	2000
L12	608570	53833	608570	55632	1800	2200
L13	608770	53833	608770	55632	1800	2400
L14	608970	53632	608970	55732	1800	2600

Tabla 4.2: Datos de las líneas Norte – Sur usadas para la prospección geofísica

LÍNEA	COORDENADA DE INICIO		COORDENADA DE FIN		LONGITUD DE LA LÍNEA (m)
	E	N	E	N	
LT1	606358	10054001	608973	10055399	3620
LT2	606752	10054420	608975	10054753	2380

Tabla 4.3: Datos de las líneas transversales usadas para la prospección geofísica

4.4.5 PRINCIPIOS OPERACIONALES

Un magnetómetro de protones utiliza átomos de hidrógeno para generar las señales. Líquidos como el kerosén también son empleados debido a que contienen altas densidades de hidrógeno y su manejo no es peligroso. Una corriente continua polarizante es conducida a través de una bobina enrollada alrededor de una muestra líquida. Esto genera una densidad auxiliar de flujo

magnético en el orden de 10 nT. Los protones se polarizan a una magnetización más fuerte que corresponde al equilibrio termal de la densidad de flujo magnético más fuerte. Cuando el flujo auxiliar es interrumpido, los protones polarizados se reordenan por su inclinación del eje de giro, a la densidad de flujo normal. La frecuencia de dicha inclinación depende directamente de la densidad del flujo magnético, cuya unidad de valor es Tesla, T. Mediciones por inclinación del eje de giro de protones son por necesidad un factor secuencial. Esto significa que se da una polarización inicial, seguida de una medición de frecuencia, después de la cual el ciclo es repetido. Esto difiere de mediciones continuas, en donde los núcleos son polarizados y las mediciones de frecuencia se realizan simultáneamente (GEM Systems Advanced Magnetometers).

4.4.6 VENTAJAS DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO

Los sistemas de protones de GEM tienen como ventajas operaciones las siguientes:

- Bajada de datos de hasta 115 megabytes para transferencia rápida.
- Algoritmos de cuenta de frecuencia avanzados para mejor calidad de datos.
- GPS integrado para posicionamiento de mediciones con resolución de 5 m, 3 m o 1 m.
- Sistema de protones de la más alta sensibilidad disponible (0.1 nT a 1 muestra / segundo) para detección tanto de blancos cercanos a la superficie, como de blancos más profundos.
- Alta tolerancia de gradiente (7000 nT/m) para datos de alta calidad, aún con señales cercanas que no son de carácter geológico.
- Memoria estándar 4 megabytes, suficiente para todo un día de trabajo.
- Tecnología de estación de base, programable para fácil uso en el campo.

- Robustez. En uso alrededor de todo el mundo, representa el estándar en fiabilidad de sistemas de precesión de protones.
- Medición de calidad de señal. Durante operaciones de medición, el operador escucha una señal de advertencia cuando la calidad de datos disminuye.

4.4.7 LIMITACIONES DEL MAGNETÓMETRO PROTÓNICO

El magnetómetro protónico no tiene partes móviles, tiene alta resolución en las mediciones absolutas y relativas, y permite visualizar en forma digital las mediciones (GEM Systems Advanced Magnetometers). Existen varias restricciones operacionales para el equipo, formuladas bajo condiciones especiales de campo, tales como:

- 1) La señal de precesión protónica disminuye bruscamente en presencia de un fuerte gradiente de campo magnético (mayor de 600 gammas por metro).
- 2) La amplitud de la señal del sensor es del orden de micro-voltios y debe ser medida con una precisión de 0,04 Hz. Esta pequeña señal puede resultar difícil de medir en cercanía de corrientes eléctricas alternas. Por estas razones un magnetómetro protónico no puede operar próximo a edificios.

4.4.8 INFORMACIÓN SOBRE EL CAMPO MAGNÉTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los valores necesarios para iniciar el trabajo geofísico deben ser registrados en los magnetómetros portátiles, para que queden en su base de datos mientras duren dichos trabajos. Estos datos, que corresponden a la intensidad del campo

magnético promedio y a la inclinación y declinación magnéticas, se los debe ingresar como se aprecia en la figura 4.3 para evitar errores en los datos registrados durante el trabajo de campo.

- Intensidad del campo magnético total promedio: 29848.9 nT.
- Inclinación magnética: 23° 2'.
- Declinación magnética: -1° 43'.

Las imágenes del magnetómetro utilizado para la toma de datos durante los trabajos geofísicos se pueden observar a continuación (fotografías 4.1 – 4.4) y en la fotografía 4.5 se puede visualizar el equipo armado y listo para el trabajo.

Location:	Mompiche - Ecuador							
Latitude:	0	deg	31	min	23.3	sec.	Decimal: 0.523139	North
Longitude:	80	deg	1	min	15.41	sec.	Decimal: 80.021	West
Elevation:	98.4252	feet	30	m	Date (m/d/yr):	5 / 31 / 2012	Decimal: 2012.42	
Results using model:	C:\Program Files\Geomagix\Wmm-2010.cof							
Validity of results:	OK							
Incident Field:	29848.9	nT	Dip:	23.0329	°	Dec:	-1.71243	°
Variation:	-87.5254	nT/yr	Dip:	-4.69997	min/yr	Dec:	-7.98972	min/yr
field (nT):	X: 27457.1	Y: -820.87	Z: 11678.6	H: 27469.3				
Variation (nT)/yr:	X: -66.6029	Y: -61.7289	Z: -71.701	H: -64.6542				

Figura 4.3: Parámetros del campo magnético local



Fotografía 4.1: Magnetómetro GEM GSM-19, vista frontal.



Fotografía 4.2: Magnetómetro GEM GSM-19, vista lateral.



Fotografía 4.3: Magnetómetro GEM GSM-19, sensor de registro.



Fotografía 4.4: Magnetómetro GEM GSM-19, unidad de GPS.

4.5 DATOS GEOFÍSICOS ADQUIRIDOS

Dentro del plan de trabajo planteado por la GNMMS, para la adquisición de los datos geofísicos de magnetometría, se ejecutó la adquisición de 38 líneas de investigación en sentido N - S y 2 líneas de investigación transversales a las anteriores, a lo largo de un mallado establecido en el sitio de investigación. La zona de estudio de este proyecto de titulación corresponde a la Zona Noroeste de la concesión minera Mompiche, por lo que se utilizan únicamente los datos recolectados en dicha zona correspondientes a 14 líneas Norte – Sur y los tramos respectivos de las 2 líneas transversales. La descripción de las coordenadas de

las líneas de investigación geofísica se presenta en la tabla 4.2 y tabla 4.3. Se puede visualizar dichas líneas en el mapa N° 5.

Los datos registrados se presentan en tablas, que pueden visualizarse en el apartado del anexo N°3, donde se detalla los puntos a lo largo de las líneas de investigación, su ubicación geográfica dentro del datum de proyección WGS 1984, el valor del campo magnético medido en el punto, la longitud de la línea recorrida, y su posición respecto al inicio de las medidas, siendo la línea L1 el origen de las medidas por lo que cada línea siguiente se aleja del origen 200 m hacia el Este.

4.5.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO GEOFÍSICO DE CAMPO

Los trabajos de adquisición de datos se ejecutaron durante una campaña de campo de 3 semanas, desde el día 11/06/2012 hasta 25/06/2012, realizando un total de 100.380 m (100,38 Km) recorridos en un máximo de 38 líneas en sentido N-S y 2 Tie Line (líneas transversales) en sentido E-W dentro del área Noreste de la concesión. Para la ejecución del presente estudio, se tomaron los datos registrados del área Oeste de la concesión, siendo una zona de menor superficie a la zona total. Para la ejecución de los trabajos se debía armar y cargar el equipo, de la forma en que se muestra en la fotografía 4.5. Dentro del trabajo realizado, se utilizó las configuraciones posibles que proveía el equipo de magnetometría, siendo estas 2 principalmente:

- Toma de datos punto por punto, es decir cada 20 m según la malla de muestreo pre establecida, a lo largo de las líneas de investigación N – S.
- Toma de datos con apoyo del GPS incorporado al equipo, lo que permite un registro de valores continuo a lo largo de las líneas de investigación, acelerando dicha toma de datos, a lo largo de las líneas de investigación N – S. En esta configuración se debe realizar la edición de los datos registrados, ya que para la interpretación del magnetismo se requiere mantener el esquema de toma de datos cada 20 m, por lo que los datos

adicionales deben ser borrados al momento de realizar dichas interpretaciones.

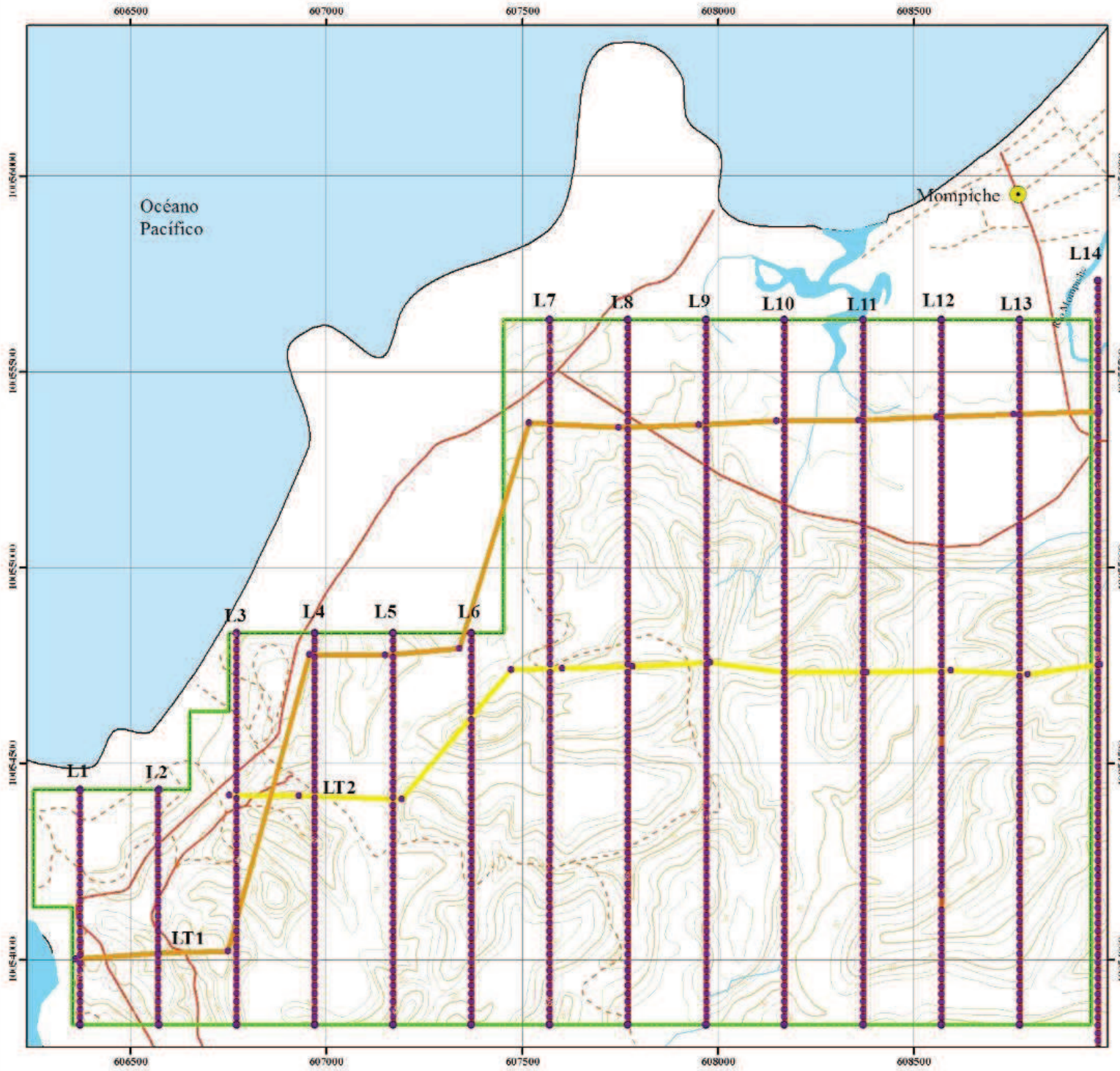
Para la toma de datos a lo largo de las líneas transversales E – W, se utilizó la configuración de toma de datos punto por punto, siguiendo las trayectorias planteadas de dichas líneas. Cabe recalcar que estos datos sirven para realizar correcciones a los datos tomados en las líneas N – S, al igual que los datos tomados por la estación base.



Fotografía 4.5: Magnetómetro GEM GSM-19, equipo armado, consola y bobina.

4.5.2 MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO GEOFÍSICO

Se presenta el mapa de puntos de muestreo geofísico del área Oeste (Mapa N° 5) de la concesión minera Mompiche, donde se puede observar los intervalos a los que se tomó los datos magnéticos a lo largo de las líneas de investigación planteadas y que han sido presentadas en el mapa N°6. El mapa se presenta a una escala 1:10000.



LEYENDA

- Poblados
- Ríos
- Principal
- - - Secundaria
- Curvas de nivel Principal (cada 20m)
- Secundaria (cada 5m)
- Zona de Estudio

SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo Magnetométrico
- Línea transversal 1
- Línea transversal 2
- Líneas Norte - Sur

N

ESCALA GRÁFICA

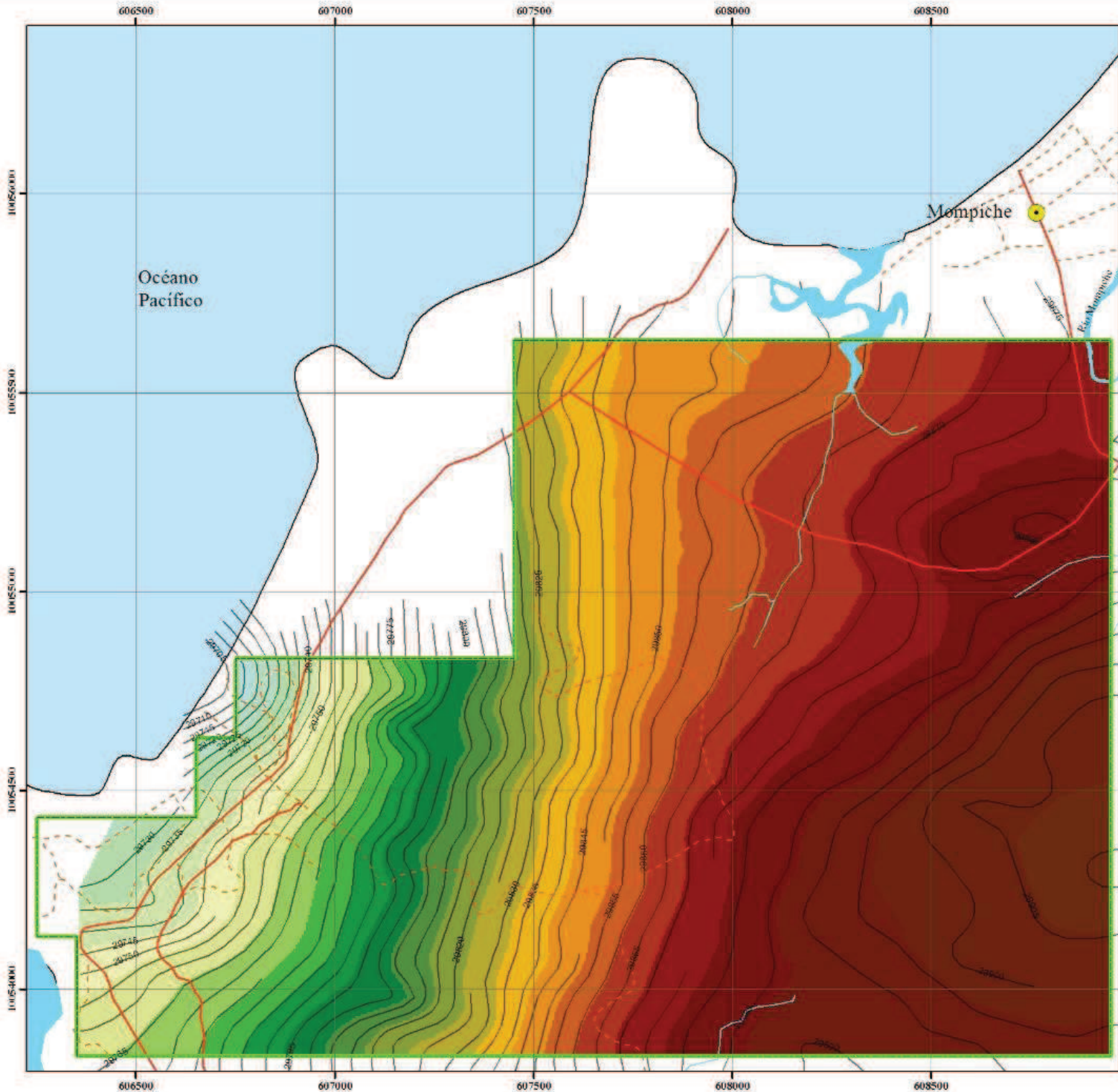
	Escuela Politécnica Nacional		Gran Nacional Minera Mariscal Sucre S.A.S.
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE			
MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO MAGNETOMÉTRICO			
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación		Escala de impresión: 1:10000	
Revisado por: Geol. Johnny Herrera García Director de Proyecto de Titulación		Fecha de elaboración: Enero 2013	

4.5.3 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN

El procesamiento de datos se realiza en base a toda la información geofísica adquirida en la jornada de campo, se debe considerar todos los procedimientos y efectos que el magnetismo puede causar en dicho trabajo. Los datos corregidos por la variación diurna del campo magnético, han sido nivelados y procesados creando un mallado digital (gridding) para la producción de un mapa del campo magnético total (TMF), mapa N° 6. A este mapa se le aplicó un filtro de Reducción al Polo (RTP), que permite visualizar la fuente de la anomalía magnética según su posición y geometría. Desde el momento que es evidente la presencia de una señal regional, asociada a geología profunda, que influencia los mapas, se promedió a un análisis espectral y a la remoción de la componente profunda. Esto fue posible a través de la aplicación de un filtro Paso Alto combinado con el algoritmo de la reducción al polo Norte, mapa N° 7 (Álvarez, 2012).

La imagen del Campo Magnético Total (TMF = Total Magnetic Field), visible en el mapa N°6, pone en evidencia un patrón de altos magnéticos, orientados NS, en forma paralela al margen costero. Esta información puede reflejar la geología profunda presente en el área de estudio pero los parámetros del campo magnético total no reflejan la geometría exacta de las fuentes de anomalías magnéticas del sector (Ruiz, 2003; Cataldi, 2012).

Usando un análisis espectral del mallado del campo magnético total, que sirve para evidenciar las componentes superficiales de la señal magnética medida, se ejecutó un filtro Paso Alto asociado a la parte más profunda del terreno ($w=0.0025W$). El mapa con la Reducción al Polo con filtro Paso Alto ($w=0.0025$) (mapa N° 8) corresponde a profundidades relativamente mayores a 15 metros. Valores magnéticos más altos son encontrados en la parte Oeste, para esta zona, estos valores son asociados a la posible presencia de arenas con sedimentos pesados con componente magnético (Cataldi, 2012).



LEYENDA

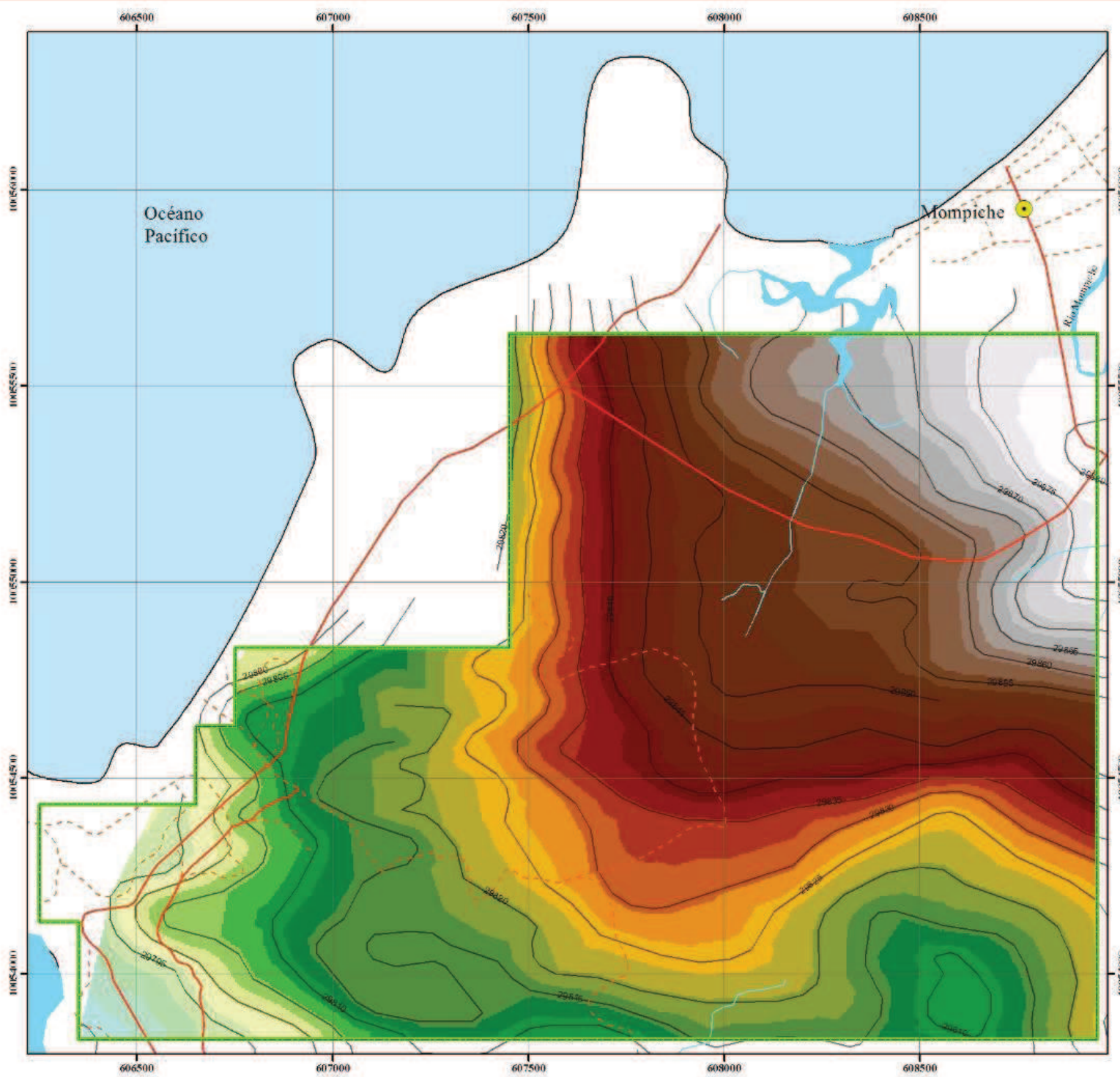
● Poblados
— Ríos
— Principal
- - - Secundaria
 Zona de Estudio

SIMBOLOGÍA

—	Isolinias magnéticas CMT	29,660.60785 - 29,669.11765
■	Valores magnéticos (nT)	29,669.11766 - 29,677.62745
■	29,705 - 29,713.5098	29,677.62746 - 29,686.13725
■	29,713.50981 - 29,724.45098	29,686.13726 - 29,695.66275
■	29,724.45099 - 29,734.17647	29,695.66276 - 29,905.58821
■	29,734.17648 - 29,743.90196	29,905.58822 - 29,916.52941
■	29,743.90197 - 29,753.62745	29,916.52942 - 29,927.47059
■	29,753.62746 - 29,764.56862	29,927.4706 - 29,937.19608
■	29,764.56864 - 29,775.5098	29,937.19609 - 29,946.92157
■	29,775.50981 - 29,785.23529	29,946.92158 - 29,956.64706
■	29,785.2353 - 29,793.7451	29,956.64707 - 29,965.15686
■	29,793.74511 - 29,803.47059	29,965.15687 - 29,973.66667
■	29,803.4706 - 29,813.19608	29,973.66668 - 29,982.17647
■	29,813.19609 - 29,822.92157	29,982.17648 - 29,991.90196
■	29,822.92158 - 29,832.64706	29,991.90197 - 30,001.62745
■	29,832.64707 - 29,842.37255	30,001.62746 - 30,015
■	29,842.37256 - 29,852.09804	
■	29,852.09805 - 29,860.60784	

N
ESCALA GRÁFICA
 500 250 0 500 Metros

 Escuela Politécnica Nacional	 Gran Nacional Minera Mariscal Sucre S.A.
CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE	
MAPA DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL	
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación	Escala de impresión: 1:10000
Revisado por: Geól. Jhonny Herrera García Director de Proyecto de Titulación	Fecha de elaboración: Enero 2013



LEYENDA

● Poblados

— Ríos

— Tipo de vía

— Principal

- - - Secundaria

□ Zona de Estudio

SIMBOLOGÍA

— Isolinias magnéticas RTP

Valores magnéticos (nT)

29,785 - 29,787.98039	29,832.31574 - 29,835.29412
29,787.9804 - 29,790.96078	29,835.29415 - 29,838.27451
29,790.96079 - 29,793.56863	29,838.27452 - 29,841.2549
29,793.56864 - 29,796.54902	29,841.25491 - 29,844.23529
29,796.54903 - 29,799.52041	29,844.2353 - 29,847.58824
29,799.52042 - 29,802.8098	29,847.58825 - 29,850.56863
29,802.80981 - 29,805.4902	29,850.56864 - 29,853.17647
29,805.49021 - 29,808.47059	29,853.17648 - 29,856.15686
29,808.4706 - 29,811.45098	29,856.15687 - 29,859.13725
29,811.45099 - 29,814.05882	29,859.13726 - 29,862.11765
29,814.05883 - 29,817.03922	29,862.11766 - 29,865.09804
29,817.03923 - 29,820.39216	29,865.09805 - 29,868.07843
29,820.39217 - 29,823.37255	29,868.07844 - 29,871.05882
29,823.37256 - 29,826.35294	29,871.05883 - 29,874.03922
29,826.35295 - 29,829.33333	29,874.03923 - 29,877.01961
29,829.33334 - 29,832.31373	29,877.01962 - 29,880

N

ESCALA GRÁFICA

0 250 500 Metros

Escuela Politécnica Nacional

Gran Nacional Minera Mariscal Sucre S.A.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE

MAPA DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL REDUCIDO AL POLO NORTE

Realizado por: Carlos Díaz Castro
 Proponente de Proyecto de Titulación

Escala de impresión: 1:10000

Revisado por: Geól. Jhonny Herrera García
 Director de Proyecto de Titulación

Fecha de elaboración: Enero 2013

7

Los altos valores en la parte Norte podrían señalar la presencia de una trampa estructural con una elevación topográfica relativa en la parte Sur de la discontinuidad que bloquea la distribución de posibles sedimentos magnéticos hacia el Sureste. Valores altos en la parte NE podrían inferir la presencia de posibles sedimentos con respuesta magnética, hasta mayores profundidades que las mencionadas.

4.5.4 OBSERVACIONES OBTENIDAS EN EL TRABAJO DE CAMPO

Dentro de los trabajos de obtención de datos magnéticos, se puede recalcar ciertas observaciones útiles, que pueden servir para optimizar el trabajo y las medidas tomadas. Entre las que tenemos:

- La presencia de lluvias y tormentas eléctricas causa que la toma de datos puede terminar siendo errónea, por lo que dichos datos se convierten en no representativos, porque se ven alterados por dichas condiciones meteorológicas.
- La toma de datos con uso de la configuración del equipo del GPS incorporado al mismo, agiliza el ritmo de trabajo.
- La toma de datos punto por punto, es más precisa al tomar en sitios fijos, pero se demora más, ya que en cada punto se debe esperar entre 2 a 3 segundos hasta que el equipo registre los datos de magnetismo.
- En ambos casos de toma de datos, luego de la medición se debe hacer la edición de dichos datos, para que el software que sirve para realizar la interpretación pueda reconocerlos. Claro está que al usar la configuración con el GPS incorporado esta interpretación es más demorosa porque se

dispone de un mayor número de datos que no se emplean directamente en las interpretaciones.

- Los formatos de las hojas que reconoce el software de interpretación, deben mantener siempre el mismo formato, porque cualquier error o cambio causa que se muestren datos erróneos y que se pueda hacer falsas interpretaciones.

- El mapa del Campo Magnético Total (TMF) pone en evidencia un patrón de altos magnéticos, orientados N - S, en forma paralela a la costa.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA

5.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Luego de realizar el trabajo de campo respectivo y el posterior análisis de la información recolectada y de las muestras tomadas, se puede proceder a realizar el análisis final de la geología de la zona de estudio de este proyecto de titulación. Dentro de este análisis se debe considerar que la geología en superficie no es muy visible, debido a la gran cantidad de vegetación que impera en la zona.

Por otra parte hay que mencionar que no existe una gran variabilidad litológica dentro del área, ya que la mayoría está dominada por sedimentos finos que forman lutitas, limolitas y areniscas. Existe la presencia de conglomerados, pero no alcanzan una gran potencia en ninguna parte del área estudiada.

Se puede mencionar, como rasgo geológico importante, la presencia de sedimentos de origen marino, donde su depositación ha sido influenciada por las trasgresiones marinas que han ocurrido a lo largo del tiempo geológico. Dichos depósitos ocupan una gran extensión en el área de estudio hacia la parte Norte de la misma, marcados por la tendencia de viejos cordones litorales dejados por las mencionadas transgresiones marinas. Estos cordones litorales poseen un rumbo NNE.

Los datos geológicos y estructurales han sido graficados en el mapa Geológico y Estructural (mapa N°4), pero para realizar una breve descripción de lo encontrado en el campo se puede mencionar que las formaciones litológicas presentes en la zona de estudio, y en base a descripciones bibliográficas, son las siguientes:

- La Formación Onzole Inferior es la que ocupa la mayor parte de la concesión, con estratificación de muy bajo ángulo hacia el Oeste. Está compuesta por arcillas tobáceas con capas de areniscas delgadas, limolitas interestratificadas con listones de areniscas finas y conglomerados.
- Los Depósitos marinos abracan una gran extensión hacia la parte Norte de la zona de estudio. Pueden alcanzar grandes potencias, se componen de arenas, limos y arcillas.
- Los Depósitos coluviales presentes hacia los flancos de las colinas, forman pequeños conos de deyección, ocupan las partes de mayor cambio de pendiente. Están conformados por rocas sedimentarias tipo lutitas, arcillas y areniscas, en bloques angulosos a subredondeados en una matriz arcillosa.
- Los Depósitos aluviales presentes en los drenajes principales como es el río Mompiche, forman depósitos de terrazas pequeñas. Tienen pocos metros de potencia y están compuestos de bloques rocosos bien redondeados situados en una matriz areno - limosa.

5.2 CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA

5.2.1 DESCRIPCIÓN GEOFÍSICA

La descripción geofísica se realiza en base a los valores del campo magnético medido en los diferentes puntos definidos para la toma de datos y en base a la

variación del campo magnético terrestre en la zona de estudio. Dichos valores deben ser analizados para generar su respectiva descripción, tomando en cuenta todos los aspectos necesarios para su procesamiento que se han detallado en el capítulo correspondiente.

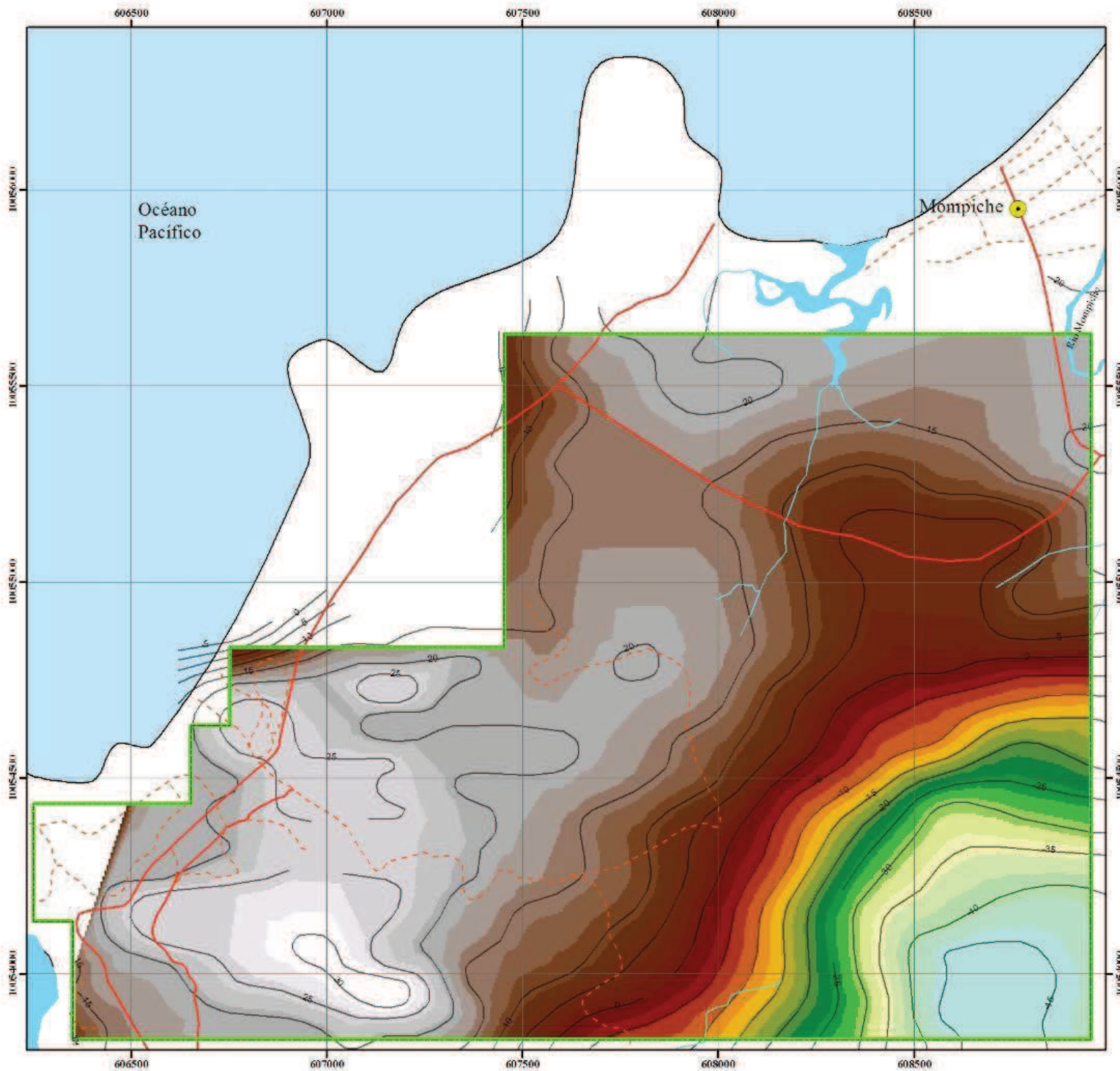
Para realizar una mejor interpretación de los datos magnéticos y con la finalidad de evidenciar las componentes superficiales de la señal magnética, se ejecutó un análisis espectral, por el cual se dio la aplicación de filtros para la remoción de la componente regional del magnetismo, y así poder diferenciar de mejor forma las zonas con las anomalías magnetométricas más fuertes y representativas.

5.2.2 MAPA DE ANOMALÍAS GEOFÍSICAS

Basándose en los aspectos mencionados para la interpretación de los datos magnéticos descritos en el capítulo 4, se elaboró el mapa de anomalías geofísicas – magnetométricas de la zona de estudio representado en el mapa N°8. Dicho mapa se presenta con una escala 1:10000. En el mapa reducido al polo se observan los dominios magnéticos, que están caracterizados por una señal magnética similar dada por la intensidad del campo.

Pueden coincidir o no con las unidades litológicas aflorantes en el sector, dado que la cobertura sedimentaria es, de cierto modo, transparente a las medidas del método magnético. Las unidades litológicas están limitadas por cambios en la medida magnética o por lineamientos magnéticos, generalmente originados por contactos litológicos, fracturas o fallas.

Estos dominios son marcados por las tendencias magnéticas observadas en el mapa respectivo, y van acorde a un análisis geológico realizado simultáneamente a la toma de datos magnéticos.



LEYENDA

- Poblados
- Tipo de vía: Principal
- Secundaria
- Ríos
- Zona de Estudio

SIMBOLOGÍA

Isolinias magnéticas RTP-HP25

-45 - -43.52941178	-7.647058823 - -5.294117647
-43.52941178 - -40.88235294	-5.294117646 - -2.941176471
-40.88235293 - -38.23529412	2.94117647 - 0.588235294
-38.23529411 - -35.88235294	-0.588235204 - -1.764705882
-35.88235293 - -33.52941176	1.764705883 - 4.117647059
-33.52941175 - -31.17647059	4.11764706 - 6.470588235
-31.17647058 - -28.82352941	6.470588238 - 8.823529412
-28.8235294 - -26.47058824	8.823529413 - 11.47058824
-26.47058823 - -24.11764706	11.47058825 - 13.82352941
-24.11764705 - -21.76470588	13.82352942 - 16.17647059
-21.76470587 - -19.41176471	16.1764706 - 18.52941178
-19.4117647 - -17.05882353	18.52941177 - 20.88235294
-17.05882352 - -14.70588235	20.88235295 - 23.52941176
-14.70588234 - -12.35294118	23.52941177 - 25.88235294
-12.35294117 - -10	25.88235295 - 28.23529412
-8.99999999 - -7.647058824	28.23529413 - 30

N

ESCALA GRÁFICA

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DE LA ZONA OESTE DE LA CONCESIÓN MINERA MOMPICHE	
MAPA DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL REDUCIDO AL POLO Y CON FILTRO PASO ALTO 25W	
Realizado por: Carlos Díaz Castro Proponente de Proyecto de Titulación	Escala de impresión: 1 10000
Revisado por: Geól. Jhonny Herrera García Director de Proyecto de Titulación	Fecha de elaboración: Enero 2013

En base a las interpretaciones realizadas a los mapas magnéticos presentados en el capítulo anterior, mapa N° 6, mapa N° 7, al mapa de anomalías magnéticas N° 8 y a las interpretaciones presentadas en el subcapítulo de interpretación geofísica, en la zona de estudio se tendrían los siguientes dominios magnéticos:

Dominio 1: Dominio de altos magnéticos, caracterizados por una alta intensidad del campo, ubicado hacia la parte Norte y Suroeste, relacionado con los depósitos marinos y en donde la topografía presenta zonas de planicies al Norte y zonas con elevaciones leves hacia el SO. Se caracteriza por lineamientos con tendencia Este – Oeste, marcados por una alta variabilidad en los valores magnéticos medidos.

Dominio 2: Zona de bajos magnéticos, caracterizada por una baja intensidad magnética ubicándose hacia la parte Sureste de la zona de estudio. Dichos valores podrían asociarse a litología más antigua y deformada tectónicamente en dicho sector, con relación a los depósitos marinos del dominio 1. Los bajos magnéticos también pueden estar ligados a un cambio topográfico, ya que esta zona posee elevaciones más pronunciadas asociadas a las montañas de Mompiche. Presenta lineamientos con tendencia NO – SE, aunque estos lineamientos no son muy visibles, ya que los valores del campo magnético reducidos al polo y con el filtro respectivo no alcanzan grandes variaciones entre sí, dentro de este dominio.

5.2.3 INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

En base a los resultados obtenidos en campo, sobre el campo magnético terrestre y las medidas que se realizaron con el magnetómetro protónico móvil y la estación

base, y luego de realizar el procesamiento de los datos y la aplicación de las correcciones respectivas a los mismos, se tiene la siguiente interpretación geofísica para la zona Oeste de la concesión minera Mompiche:

Sector de anomalías fuertes: la zona de estudio de este proyecto de titulación posee un gran interés geológico, en especial lo que corresponde al Norte y Suroeste, por lo que se deberá realizar estudios con mayor detalle para definir otros parámetros técnicos relacionados a una futura explotación minera. Esta información se corrobora con los datos magnéticos y el dominio magnético 1 descrito en el subcapítulo anterior.

Sector de anomalías leves: dentro de la zona de estudio de este proyecto de titulación, se ha determinado que una zona de anomalía leve se ubica en la zona SE, pero la superficie que cubre no es de gran extensión. Correspondería, litológicamente, a la Formación Onzole. Esto se ha determinado en base a lo descrito en el subcapítulo anterior donde se resalta la importancia en la determinación de los dominios magnéticos en función de los datos magnetométricos.

Después de haber realizado el análisis respectivo, se puede definir como un sector favorable para prospección avanzada de arenas ferrosas – titaníferas a la zona de estudio de este proyecto de titulación. Dicha zona corresponde a un área de gran interés minero, por lo que se le debe considerar para continuar con varios estudios que permitan definir de mejor forma las condiciones geológicas de los depósitos de arenas ferrosas - titaníferas y así, determinar un plan de exploración y de futura explotación de los recursos existentes.

5.3 RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

Los resultados del estudio geológico, que se pueden apreciar en el mapa N° 4, corresponden a la obtención de información que ha permitido caracterizar dicha zona para continuar con el avance de las investigaciones por parte de la GNMMS. Dentro de los detalles geológicos de relevancia de dicha zona, se puede mencionar que esta zona está cubierta por depósitos sedimentarios que no han sufrido mayor deformación tectónica a lo largo de su historia geológica que es reciente para la zona. La Formación Onzole y los Depósitos Marinos, que son los que cubren la casi totalidad del área estudiada, poseen una distribución espacial concordante entre sí.

Por otra parte, los resultados del estudio geofísico, se presentan para una mejor explicación, en un mapa de anomalías magnéticas que ha sido generado a partir de los datos de campo adquiridos con el magnetómetro portátil y luego de realizar las interpretaciones y correcciones del caso (mapa N° 8). Dentro de estas interpretaciones se ha concluido en que la zona Sureste del área estudiada no contiene un mayor interés geológico y minero, por lo que se debe avanzar hacia una exploración avanzada en el resto del área. Dichas interpretaciones se basan en los datos observados en los mapas magnetométricos y en las interpretaciones geológicas relacionadas a los mismos, ya que siempre que se realice un método de prospección, sea geofísico o geoquímico, las interpretaciones finales deben estar asociadas a un modelo geológico del área que permita ayudar a entender los posibles yacimientos existentes.

5.3.1 PROSPECCIÓN DE ARENAS FERROSAS – TITANÍFERAS

Posteriormente a la revisión de la información y luego de realizar los reconocimientos en el área de estudio, considerando que es una concesión minera asignada para la prospección de arenas negras ferrosas – titaníferas, se

puede determinar el blanco de prospección para dichas arenas, ya que estas arenas poseen un origen secundario y al ubicarse en la plataforma costera, relacionándose con sedimentos marinos que han ido erosionando el margen costero, tiene dos posibilidades para su formación:

- Arenas de origen marino con minerales pesados en plataforma continental reciente, depositados en las zonas de bajos topográficos por efecto del oleaje; generando cordones litorales y lentes de arenas con los concentrados minerales mencionados.
- Arenas inter-digitadas en rocas sedimentarias (secuencias de areniscas con minerales pesados en su composición y limolitas interestratificadas) que han sido hundidas o levantadas y luego se han conservado en los bloques rocosos visibles actualmente.

En base a lo planteado anteriormente, se tiene buenas posibilidades de encontrar horizontes de arenas con contenidos de minerales de hierro (magnetita e ilmenita) en la plataforma de origen marino que se encuentra ocupando la parte norte del área de estudio. La prospección de los horizontes de arenas ferrosas – titaníferas que han sido levantados o hundidos y luego se han logrado conservar, resultaría de mayor dificultad y representaría una inversión de muchos más recursos. Para enfocarse en su exploración y futura explotación, se necesitaría que posean una alta concentración de hierro que haga rentable su procesamiento.

Mucho más difícil es encontrar yacimientos primarios de hierro, debido al ambiente geológico de rocas sedimentarias frescas presente en la zona de estudio (lutitas, limolitas, areniscas, conglomerados). Las mayores posibilidades de encontrar yacimientos de hierro secundarios en el área de estudio de Mompiche y sus alrededores corresponderán a las siguientes postulaciones según su ocurrencia:

- Alta ocurrencia: yacimientos de hierro de origen secundario en sedimentos marinos del Cuaternario, concentrada en forma natural por efecto de las olas, mareas, agujeros, entre otros procesos.
- Mediana ocurrencia: yacimientos de hierro secundario en paquetes litológicos inter-digitados sobre y entre sedimentos marinos terciarios, siempre y cuando no se hayan erosionado y además no estén muy profundos.
- Baja ocurrencia: yacimientos de hierro primario relacionado a un origen sedimentario, tanto de origen continental como marino.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. En el mapa tectono - metalogénico del Ecuador (1993) y en el artículo del Potencial aurífero aluvial en el Ecuador (Pillajo, 2008), constan como zonas con potenciales depósitos de arenas negras ferrosas - titaníferas, las playas de la franja costera y varios sectores comprendidos entre los poblados de Pedernales y Muisne, situación que se confirma al desarrollar este estudio, ya que la zona de Mompiche tiene dichos depósitos potenciales de arenas negras.
2. Las zonas favorables para avanzar con el estudio de arenas ferrosas – titaníferas en la zona de Mompiche, que se han determinado con los datos geológicos y los datos de magnetometría durante este estudio, corresponden a la parte Norte y Suroeste del área estudiada, en razón de que se trata de depósitos marinos del Holoceno y con contenidos de minerales pesados, pero que necesitan ser evaluados mediante investigaciones adicionales (otros métodos geofísicos, geoquímica o perforaciones).
3. La zona que no posee interés de depósitos de arenas ferrosas – titaníferas se relaciona con las partes altas de las montañas de Mompiche, ubicadas hacia el Sureste del área estudiada, compuesta de rocas sedimentarias como son limolitas, areniscas y conglomerados con una alta meteorización.

4. La señal que mide el magnetómetro protónico, en zonas de interés de arenas ferrosas – titaníferas, está relacionada con los minerales accesorios (ilmenita, magnetita) presentes en dichas arenas y en los sedimentos pesados, dicha señal está asociada al titanio cuando este se presenta como ilmenita (óxido de hierro y titanio) porque el titanio no es magnético.

5. Los mapas que se pueden generar, en base a los datos magnéticos medidos diariamente en la zona de interés, así como los mapas de interpretaciones con filtros y reducciones al polo, no reflejan ni la geología regional ni la geología a profundidad existentes en dicha área, y para las interpretaciones geofísicas siempre se debe considerar a la par el aspecto geológico del área analizada.

6.2 RECOMENDACIONES

1. El área de exploración debería ser ampliada hacia la parte Norte realizando una nueva petición minera, debido al alto interés observado en los depósitos presentes en dicha área y también influenciado en que su accesibilidad es más fácil. Dada la morfología de esta zona se debería poder identificar nuevos sitios donde existan paleo – cordones litorales con concentrados de arenas con Fe – Ti.

2. Para la zona de mayor interés, ubicada hacia la parte Norte, se deberá realizar trabajos más detallados, entre los que se pueden mencionar: topografía a detalle, magnetometría terrestre con un mallado más denso al usado durante este estudio y empleando otros métodos de prospección geofísica, perforaciones manuales que alcancen profundidades de algunos

metros y que permitan mejorar la interpretación de la distribución espacial de las arenas ferrosas – titaníferas y mejorar el modelo de su depositación.

3. Para una geofísica aplicada, otro método muy usado, rápido y barato para determinar el espesor de las arenas marinas, sería realizar sondeos de resistividad en forma sistemática (Sondeos eléctricos verticales - SEV) o perforaciones por percusión en donde se alcance la profundidad suficiente para definir la forma y potencia de los potenciales depósitos de arenas ferrosas – titaníferas.

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALTO K.R. & MILLER W. (1999). Sedimentology of the Pliocene Upper Onzole Formation, an inner-trench slope succession in northwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 12, p. 69 – 85.
- ÁLVAREZ A. (2012). Métodos Magnéticos para caracterizar arenas titaníferas: adquisición, procesamiento e interpretación. Universidad Simón Bolívar – Decanato de Estudios Profesionales, Coordinación de Ingeniería Geofísica, Venezuela. 65 p.
- BENITEZ S. (1995). The geodynamic evolution of the coastal Ecuadorian province during the upper Cretaceous-Tertiary. *Géologie Alpine*, t. 71, p. 3-163.
- BRISTOW C.R. & HOFFSTETTER R. (1977). *Lexique Stratigraphique International; Ecuador. Second Edition*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 412 p.
- CATALDI A. (2012). Magnetometría de Arenas Titaníferas & Ejemplos Mineros. TRX - Consulting. Presentación para la GNMMS.
- CODIGEM, BGS, (1993). Mapa Geológico de la República del Ecuador (1:1000000). British Geological Survey.
- CODIGEM, BGS, (1993). Mapa Tectono - Metalogénico de la República del Ecuador (1:1000000). British Geological Survey.

- COELLO BALDEÓN X.I., (2009). Correlaciones y análisis geológicos entre muestras de dragas recolectadas durante la campaña AMADEUS (2005) y muestras de tierra tomadas entre Jama y Esmeraldas. Tesis de Ingeniería. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador. 307p.
- COSMA L., LAPIERRE H., JAILLARD E., LAUBACHER G., BOSCH D., DESMET A., MAMBERTI M., GABRIELE P. (1998). Pétrographie et géochimie des unités magmatiques de la Cordillère occidentale d'Équateur (O°30'S): implications tectoniques. Bull. Soc. géol. France, 1998, t: 169, n°6, p. 739 – 751.
- DALY M. (1989). Correlation between Nazca/Farallon Plate Kinematics and Forearc Basin evolution in Ecuador. Tectonics. Vol. 8:769-788.
- DENIAUD Y. (2000). Enregistrements Sedimentaire et Structural de L'Évolution Geodynamique des Andes Equatoriennes au Cours du Neogene: Etude des bassins d Avant-arc et bilans de Masse. [Ph.D. thesis]: Université Joseph Fourier - Grenoble I, Sciences & Géographie - IRD - Institut de Recherche pour le Développement, Francia. 153p.
- DUQUE P. (2008). Breve Léxico Estratigráfico de Ecuador. Sistema de Información Geológica y Minera (SIM), 98 pp.
- EGÜEZ A., ALVARADO A., YEPES H., MACHETTE M., COSTA C., DART R. (2003). Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World USGS. 68p.
- EGV – NeXT. (2012). Investigación Geofísica para Caracterización de Recursos Minerales - Aplicación de Métodos Magnéticos (Magnetometría a Detalle). Prospección geofísica, en la concesión minera ubicada en la Provincia de Esmeraldas, sector Mompiche. Título Minero N°: 402995. Versión F1.3 – Reporte Final.

- EVANS C.D.R., Y WHITTAKER J.E. (1982). The geology of the western part of the Borbon Basin, North-west Ecuador. *Bibliothèque De Geologie Recherche*. Geological Society, London, Special Publications, 1982, P. 191 – 198.
- FUNDECOL (2003). Plan de Vida y Desarrollo de Muisne.
- GEM Systems Advanced Magnetometers. Magnetómetros y Gradiómetros tipo Overhauser. 52 West Beaver Creek Road West, Suite 14 Richmond Hill, ON Canada L4B. www.gemsys.ca
- GRAN NACIONAL MINERA MARISCAL SUCRE C.E.M. (2012). Misión y Visión Empresarial.
- GOOSENS P., Y ROSE W. (1973). Chemical Composition and Age Determination of Tholeitic Rocks in the Basic Igneous Complex, Ecuador. *GSA Bulletin*. Vol. 84, p.1043-1052.
- GUTSCHER M., MALAVIEILLE J., LALLEMAND S., COLLOT J. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters* t. 168, p. 255–270.
- HERNÁNDEZ M.J., (2012). El Sistema de Fallas de Jama en la Plataforma Continental (Off - shore) del margen Ecuatoriano. Tesis Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. Cap 2, p. 22-37.
- INEC Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2010)
http://www.inec.gob.ec/cpv/?TB_iframe=true&height=450&width=800'%20rel=slbox
- JAILLARD E., ORDOÑEZ M., BENITEZ S., BERRONES G., JIMÉNEZ N., MONTENEGRO G., ZAMBRANO I., (1995). Basin Development in an

- Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador during Late Cretaceous-Late Eocene Time. ORSTOM. Paris, France. 18 p.
- JAILLARD E., BENITEZ S., MASCLE G., (1997). Palaeogene deformations of the forearc zone of south Ecuador in relation to the geodynamic evolution. Bull. Soc. géol. France, t. 168, n° 4, p 403 – 412.
 - LITHERLAND M., ASPDEN J., JEMIELITA R., (1994). The Metamorphic belts of Ecuador. BGR: Overseas Memoir. Vol. 11: 147 p.
 - LUZIEUX L.D.A., (2006). Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. Earth and Planetary Science Letters 249, p. 400–414.
 - MAE - MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2012). http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/jloartefls/Plan%20de%20Manejo%20y%20Gesti%C3%B3n_REMACH%20seguro.pdf
 - MAMBERTI M., LAPIERRE H., BOSCH D., JAILLARD E., ETHIEN R., HERNANDEZ J., POLVÉ M. (2003). Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean–Colombian Plateau in Ecuador. Lithos 66, p. 173–199.
 - ORDÓÑEZ M., JIMÉNEZ N., SUÁREZ J. (2006). Micropaleontología ecuatoriana: datos bioestratigráficos y paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la Península de Santa Elena, y de las cordilleras Chongón Colonche, costera y occidental. 634 p.
 - ORDÓÑEZ M., (2007). Asociaciones de radiolarios de la cordillera Chongón Colonche, Ecuador (Coniaciano – Eoceno). Centro de Investigaciones Geológicas, Petroproducción, Guayaquil - Ecuador.

- PEDOJA K., ORTLIEB L., DUMONT J.F., LAMOTHE M., GHALEB B., AUCLAIR M., LABROUSSE B. (2006). Quaternary coastal uplift along the Talara Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data. *Marine Geology* 228, p. 73–91.
- PILLAJO E. (2008). Evaluación del potencial aurífero aluvial del Ecuador. FUNGEOMINE, p 10.
- PILLAJO E. (2011). Informe de consultoría para la Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M.
- REYES P. (2008). Quantification relative du soulèvement de la cordillera cotiere (equateur) a partir de la geomorphologie sur mnt. Université Nice. These Master 2 SGT: 40 p.
- REYES P. Y MICHAUD F. (2012). Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana (1:500000). Ep Petroecuador – IRD (Eds). Quito, Ecuador.
- REYNAUD C., JAILLARD E., LAPIERRE H., MAMBERTI M., MASCLE G. (1999). Oceanic plateau and island arcs of south western Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics* 307, p. 235–254.
- RUÍZ F. (2003). Geomagnetismo, Apunte de Cátedra: Geofísica Aplicada. Instituto Geofísico Sismológico “Ing. F. Volponi”. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan – Argentina. 21 p.
- SANDOVAL F., ALBÁN J., CARVAJAL M., CHAMORRO C., PAZMIÑO D. (2002). Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Ecuador Cap7. Equipo Consultor de la Fundación Ambiente y Sociedad.

- SAVOYAT F., VERNET R., SIGAL J., MOSQUERA C., GRANJA B., Y GUEVARA R., (1970). Estudio General de la Cuenca de Esmeraldas. Estudio Micropaleontológico de las Formaciones de la Sierra: Servicio Nacional de Geología y Minas – Institut Français du Pétrole: Quito, Ecuador, Institut Français du Pétrole, 87 p.
- SOLEDISPA B., VILLACRES J. (1990). Estudio composicional de las arenas ferrotitaníferas del sector comprendido entre el Estero Data de Posorja y el Monasterio de Santa Teresa, Provincia de Guayas - Ecuador. INOCAR. Acta Oceanográfica del Pacífico.
- SPIKINGS R., WINKLER W., SEWARD D., HANDLER R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Sciences Letters*. Vol. 186, p 57-73.
- TERUGGI E., ETCHICHURY M., REMIRO J. (1964). Las arenas de la Bahía San Blas, su investigación por minerales de hierro, titanio, circonio. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires – Argentina. Informe N° 122, p 12-31.
- TRENKAMP R., KELLOGG J., FREYMUELLER T., MORA H. (2002). Wide plate margin deformation, Southern Central America and Northwestern South America, CASA GPS Observations. *Journal of South America Earth Sciences* 15, p 157 – 171.
- VALLEJO C., (2007), Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous–Paleogene) [Ph.D. thesis]: Zürich, Switzerland, Institute of Geology, ETH Zürich, 208 p.
- WHITTAKER J.E. (1988). Benthic Cenozoic Foraminifera from Ecuador (Coastal area). *Natural History*, Museum British London, 194 p.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de datos estructurales tomados en la zona de estudio, utilizados para la interpretación estructural y geológica del área. El detalle de medida está dado en base al azimut de buzamiento único y al ángulo de buzamiento propio de cada estructura.

Número de medida	Este	Norte	Altura	Tipo de Estructura	Ángulo de buzamiento	Azimut de buzamiento
1	611269	10054530	58	Estratificación	6	190
2	610238	10054720	27	Falla Normal	77	350
3	607077	10055047	25	Falla Normal	70	295
4	608181	10055030	20	Falla Normal	30	340
5	608181	10055030	20	Fractura	80	165
6	608181	10055030	20	Estratificación	5	320
7	608257	10053936	12	Estratificación	5	330
8	609011	10054279	23	Estratificación	25	30
9	609011	10054279	23	Fractura	80	195
10	609011	10054279	23	Falla Normal	55	210
11	608605	10054351	24	Estratificación	12	165
12	608816	10053929	16	Falla Inversa	66	120
13	608816	10053929	16	Falla Inversa	60	30
14	608816	10053929	16	Estratificación	20	210
15	609139	10053939	27	Estratificación	5	350
16	609497	10054098	52	Falla Normal	35	245
17	608160	10054006	0	Fractura	60	95
18	608160	10054006	0	Estratificación	5	335
19	608256	10054132	2	Estratificación	11	335
20	608289	10054186	6	Estratificación	10	305
21	608289	10054186	6	Fractura	75	125
22	608289	10054186	6	Fractura	55	225
23	608289	10054186	6	Falla Inversa	75	190
24	608592	10054382	29	Falla Inversa	25	250
25	608592	10054382	29	Estratificación	10	125
26	608592	10054382	29	Fractura	85	35
27	608592	10054382	29	Fractura	88	345
28	608592	10054445	30	Estratificación	65	355
29	608592	10054445	30	Fractura	20	180
30	608592	10054445	30	Fractura	85	50
31	608660	10054515	39	Estratificación	5	245
32	608660	10054515	39	Fractura	80	90
33	608763	10054557	44	Fractura	88	335
34	608763	10054557	44	Fractura	78	215
35	608834	10054557	37	Estratificación	3	155
36	608873	10054764	55	Estratificación	25	230

37	608788	10054784	43	Falla Inversa	70	92
38	608788	10054784	43	Estratificación	3	330
39	608788	10054784	43	Fractura	80	350
40	608788	10054784	43	Fractura	88	266
41	608738	10054788	33	Falla Normal	50	290
42	608738	10054788	33	Fractura	55	115
43	608738	10054788	33	Fractura	85	210
44	607077	10055047	25	Falla Normal	70	235
45	607077	10055047	25	Estratificación	6	315
46	606314	10053887	-3	Estratificación	45	320
47	606499	10053723	3	Falla Normal	45	120
48	606499	10053723	3	Fractura	70	120
49	606499	10053723	3	Estratificación	12	320
50	606500	10053725	3	Estratificación	45	300
51	608265	10055041	28	Estratificación	4	305
52	608243	10054762	35	Estratificación	18	305
53	608126	10054994	17	Falla Normal	35	60
54	608126	10054994	17	Estratificación	15	290
55	608177	10055059	12	Falla Normal	30	340
56	608177	10055059	12	Estratificación	5	320
57	608177	10055059	12	Fractura	80	165
58	607421	10054233	48	Fractura	25	140
59	606961	10053869	15	Estratificación	16	310
60	607195	10054146	26	Estratificación	15	315
61	607121	10054279	14	Estratificación	16	335
62	607026	10054354	11	Estratificación	25	318
63	607012	10054191	13	Estratificación	22	300
64	606848	10054054	13	Falla Normal	55	113
65	606848	10054054	13	Estratificación	15	325
66	606728	10054302	36	Falla Normal	72	118
67	606728	10054302	36	Estratificación	15	320
68	606728	10054302	36	Fractura	60	28
69	608156	10055058	25	Falla Normal	80	165
70	608156	10055058	25	Estratificación	13	25
71	606686	10053803	13	Falla Normal	60	110
72	606686	10053803	13	Estratificación	23	300
73	606815	10054410	22	Falla Normal	77	50
74	606815	10054410	22	Estratificación	22	303
75	606786	10054407	38	Falla Normal	50	123
76	606786	10054407	38	Estratificación	7	328
77	606751	10054270	40	Falla Normal	60	220
78	606792	10054942	0	Falla Normal	70	345
79	606792	10054942	0	Estratificación	20	300
80	606583	10054612	0	Falla Normal	55	67

81	606682	10054764	0	Falla Normal	84	80
82	606682	10054764	0	Estratificación	20	296
83	606909	10054796	30	Falla Normal	60	320
84	606909	10054796	30	Estratificación	9	325
85	607015	10054968	30	Falla Normal	65	223
86	607015	10054968	30	Estratificación	12	315
87	607058	10055022	30	Falla Normal	62	205
88	607058	10055022	30	Estratificación	12	350
89	607113	10055107	25	Falla Normal	75	230
90	607113	10055107	25	Estratificación	7	345
91	607533	10055871	0	Falla Normal	83	345
92	607533	10055871	0	Fractura	10	320
93	607533	10055871	0	Estratificación	7	345
94	607441	10055804	0	Falla Normal	72	50
95	607441	10055804	0	Estratificación	10	320

Anexo 2: Detalle descriptivo de las láminas delgadas realizadas para las descripciones geológicas. Se tomaron muestras de rocas representativas de la zona de estudio las cuales permitieron definir de mejor forma los cuerpos rocosos presentes en el área. Su ubicación se puede apreciar en el mapa N°4.

MUESTRA:	CD-01					
UBICACIÓN:	NORTE	607077	ESTE	10055047		
COMPOSICIÓN:						
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS			
1	Feldespato	20	Cristales bien definidos, semi alargados, su abundancia marca una leve tendencia de arcosa en la roca.			
2	Hornblenda	5	Cristales alargados, negros.			
3	Cuarzo	45	Cristales subhedrales transparentes, bien definidos.			
4	Líticos	20	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios.			
5	Óxidos de hierro	10	Principalmente en la matriz, de forma diseminada, colores oscuros – rojizos.			
OBSERVACIONES:						
Textura clástica, tamaño de grano equigranular, buen sorteo de granos, cemento arcilloso con óxidos de hierro.						
ROCA:	Arenisca					

MUESTRA:	CD-02		
UBICACIÓN:	NORTE	607814	ESTE 10053761
COMPOSICIÓN:			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Cuarzo	50	Cristales subhedrales, tamaño variado, cuarzo policristalino bastante diseminado en la roca.
2	Plagioclasas	20	Cristales más pequeños que el cuarzo.
3	Hornblenda	5	Cristales alargados, negros.
4	Líticos	20	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios en su mayoría, también ígneos.
5	Opacos	5	Minerales oscuros diseminados en la matriz principalmente.
OBSERVACIONES:			
Textura clástica, granos equigranulares en la roca, posee igualmente un buen sorteo, hay trazas de alteración arcillosa especialmente en los líticos.			
ROCA:	Arenisca		

MUESTRA:	CD-03		
UBICACIÓN:	NORTE	606499	ESTE 10053723
COMPOSICIÓN:			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Plagioclasas	15	Cristales subhedrales sueltos, con fracturamiento.
2	Cuarzo	40	Cristales subhedrales, transparentes, presencia de sílice en la matriz.
3	Líticos	15	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios en su mayoría.
4	Opacos	30	Se presentan como agregados y diseminada por toda la roca.
OBSERVACIONES:			
Textura clástica, tamaño de grano equigranular y con buen sorteo de granos, cemento arcilloso con óxidos de hierro y con trazas de alteración arcillosa.			
ROCA:	Arenisca		

MUESTRA:	CD-04		
UBICACIÓN:	NORTE	606823	ESTE 10054421
COMPOSICIÓN:			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Cuarzo	50	Cristales subhedrales, presencia de sílice en la matriz porque posee una dureza alta esta roca.
2	Líticos	10	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios.
3	Arcilla	15	Principalmente en la matriz de forma

			diseminada.
4	Opacos	15	Pequeños cristales subhedrales, pero la mayoría está de forma diseminada en la roca.
5	Plagioclasas	10	Cristales subhedrales sueltos, con fracturamiento.
OBSERVACIONES:			
Textura clásica, muestra con mal sorteo de granos porque hay variedad de tamaños en los minerales, el cuarzo posee un gran tamaño, la roca posee un cemento de sílice que le da una dureza alta.			
ROCA:		Arenisca silicificada	

MUESTRA:		CD-05	
UBICACIÓN:		NORTE 607555	ESTE 10053855
COMPOSICIÓN:			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Arcillas	90	Presente de forma diseminada en toda la roca, por su tamaño no se divisa mayor detalle.
2	Plagioclasas	3	Cristales subhedrales sueltos, con leve fracturamiento.
3	Líticos	5	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios en su mayoría.
4	Opacos	5	Se presentan de forma diseminada por toda la roca.
OBSERVACIONES:			
Muestra con tamaño de grano que no permite observar muchos detalles litológicos, en la matriz se divisa presencia de óxidos por la coloración rojiza.			
ROCA:		Limolita	

MUESTRA:		CD-06	
UBICACIÓN:		NORTE 608398	ESTE 10053920
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Arcillas	80	Presente de forma diseminada en toda la roca, por su tamaño no se divisa mayor detalle.
2	Calcita	15	Diseminada en la matriz y restos fósiles calcáreos pequeños.
3	Opacos	5	Sulfuros diseminados en la matriz.
OBSERVACIONES:			
Presencia de arcillas en la matriz, hay trazas de restos fósiles y de cemento calcáreo en la roca (reacciona con HCl al 10%), hay presencia de minerales opacos diseminados.			
ROCA:		Limolita calcárea	

MUESTRA:	CD-07		
UBICACIÓN:	NORTE	606824	ESTE 10054068
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Plagioclasas	10	Cristales subhedrales sueltos, con leve fracturamiento.
2	Líticos	15	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios en su mayoría.
3	Cuarzo	40	Cristales subhedrales, cuarzo policristalino.
4	Arcillas	10	Presente de forma diseminada en toda la roca, por su tamaño no se divisa mayor detalle.
5	Opacos	25	Sulfuros y óxidos diseminados por la matriz.
OBSERVACIONES:			
Textura clástica, equigranular, presencia de cemento arcilloso con óxidos de hierro diseminados incorporados en la matriz de la roca.			
ROCA:	Arenisca		

MUESTRA:	CD-08		
UBICACIÓN:	NORTE	607250	ESTE 10054140
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS
1	Plagioclasas	10	Cristales subhedrales sueltos, con fracturamiento.
2	Cuarzo	35	Cristales subhedrales, cuarzo policristalino.
3	Opacos	25	Sulfuros y óxidos diseminados por la matriz.
4	Arcillas	15	Presente de forma diseminada en toda la roca, por su tamaño no se divisa mayor detalle.
5	Líticos	15	Clastos de rocas incorporados en la matriz, líticos sedimentarios en su mayoría.
OBSERVACIONES:			
Textura clástica visible, tamaño de grano variado, mal sorteo de los minerales, las plagioclasas poseen un mayor tamaño, óxidos y minerales opacos diseminados en la matriz.			
ROCA:	Arenisca		

Anexo 3: Tablas de datos del campo magnético total en base a las líneas de investigación usadas en el presente estudio, datos visibles en el mapa n° 7, las coordenadas de los puntos están en el sistema UTM WGS84.

Línea de geofísica 1

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	606370	10053833	29769.43
2	606370	10053853	29779.43
3	606370	10053873	29760.85
4	606370	10053892	29767
5	606370	10053912	29765
6	606370	10053932	29761
7	606370	10053952	29752
8	606370	10053972	29762.74
9	606370	10053991	29760
10	606370	10054011	29757
11	606370	10054031	29749.21
12	606370	10054051	29752
13	606370	10054071	29753.8
14	606370	10054090	29749.47
15	606370	10054110	29750.8
16	606370	10054130	29733.1
17	606370	10054150	29764.967
18	606370	10054170	29758.774
19	606370	10054190	29760.824
20	606370	10054210	29760.157
21	606370	10054230	29758.824
22	606370	10054250	29755.824
23	606370	10054270	29759.404
24	606370	10054290	29758.491
25	606370	10054310	29757.491
26	606370	10054330	29754.894
27	606370	10054350	29755.824
28	606370	10054370	29756.424
29	606370	10054390	29754.981
30	606370	10054410	29755.424
31	606370	10054430	29749.524

Línea de geofísica 2

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	606570	10053833	29768.55
2	606570	10053853	29762.38
3	606570	10053873	29762.65
4	606570	10053893	29769.13
5	606570	10053913	29772.35
6	606570	10053932	29766.41
7	606570	10053952	29759.64
8	606570	10053972	29756.01
9	606570	10053992	29769.83
10	606570	10054012	29763.47
11	606570	10054032	29764.31
12	606570	10054052	29769.1
13	606570	10054071	29763.31
14	606570	10054091	29740.19
15	606570	10054111	29754.64
16	606570	10054131	29742.88
17	606570	10054151	29739.69
18	606570	10054171	29727.92
19	606570	10054191	29737.76
20	606570	10054211	29727.48
21	606570	10054230	29729.59
22	606570	10054250	29729.72
23	606570	10054270	29733.93
24	606570	10054290	29753.93
25	606570	10054310	29755.84
26	606570	10054330	29759.37
27	606570	10054350	29761.53
28	606570	10054370	29762.61
29	606570	10054390	29760.63
30	606570	10054410	29758.37
31	606570	10054430	29757.16

Línea de geofísica 3

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	606770	10053833	29784.29
2	606770	10053853	29783.29
3	606770	10053873	29781.01
4	606770	10053893	29779.42
5	606770	10053913	29775.68
6	606770	10053933	29781.2
7	606770	10053953	29771.98
8	606770	10053973	29773.58
9	606770	10053993	29762.47
10	606770	10054012	29765.22
11	606770	10054032	29763.15
12	606770	10054052	29766.36
13	606770	10054072	29765.44
14	606770	10054092	29762.53
15	606770	10054112	29759.67
16	606770	10054132	29748.64
17	606770	10054152	29757.38
18	606770	10054172	29757.99
19	606770	10054192	29767.61
20	606770	10054212	29734.65
21	606770	10054232	29750.46
22	606770	10054252	29756.92
23	606770	10054272	29752.69
24	606770	10054292	29759.56
25	606770	10054312	29745.01
26	606770	10054332	29748.82
27	606770	10054351	29767.81
28	606770	10054371	29757.72
29	606770	10054391	29746.28
30	606770	10054411	29736.13
31	606770	10054431	29737.88
32	606770	10054451	29732.6
33	606770	10054471	29748.33
34	606770	10054491	29758.16
35	606770	10054511	29743.45

Línea de geofísica 4

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	606970	10053833	29805.23
2	606970	10053853	29802.82
3	606970	10053873	29815.52
4	606970	10053893	29810.1
5	606970	10053913	29813.55
6	606970	10053933	29795.01
7	606970	10053953	29798.63
8	606970	10053973	29802.15
9	606970	10053993	29806.66
10	606970	10054013	29792.93
11	606970	10054033	29791.5
12	606970	10054053	29788.8
13	606970	10054073	29791.1
14	606970	10054093	29787.38
15	606970	10054113	29783.33
16	606970	10054133	29783.98
17	606970	10054153	29781.36
18	606970	10054173	29789.94
19	606970	10054193	29785.99
20	606970	10054213	29784.73
21	606970	10054233	29783.46
22	606970	10054253	29782.62
23	606970	10054273	29783.99
24	606970	10054293	29782.15
25	606970	10054313	29774.01
26	606970	10054333	29783.19
27	606970	10054353	29781.7
28	606970	10054373	29780.19
29	606970	10054392	29791.7
30	606970	10054412	29763.37
31	606970	10054432	29776.44
32	606970	10054452	29768.1
33	606970	10054472	29769.89
34	606970	10054492	29765.47
35	606970	10054512	29761.2

36	606770	10054531	29733.49
37	606770	10054551	29738.36
38	606770	10054571	29736.1
39	606770	10054591	29727.47
40	606770	10054611	29722.88
41	606770	10054631	29710.17
42	606770	10054651	29713.63
43	606770	10054670	29724.34
44	606770	10054690	29695.18
45	606770	10054710	29691.75
46	606770	10054730	29694.95
47	606770	10054750	29696.43
48	606770	10054770	29690.69
49	606770	10054790	29691.75
50	606770	10054810	29695.58
51	606770	10054830	29693.88

36	606970	10054532	29764.8
37	606970	10054552	29764.5
38	606970	10054572	29766.99
39	606970	10054592	29765.3
40	606970	10054612	29767.2
41	606970	10054632	29762.55
42	606970	10054652	29763.45
43	606970	10054672	29765.51
44	606970	10054692	29764.98
45	606970	10054712	29764.21
46	606970	10054732	29756.22
47	606970	10054752	29761.35
48	606970	10054772	29760.18
49	606970	10054792	29750.6
50	606970	10054812	29768.42
51	606970	10054832	29764.51

Línea de geofísica 5

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	607170	10053833	29825.55
2	607170	10053853	29812.3
3	607170	10053873	29843.53
4	607170	10053893	29830.38
5	607170	10053913	29833.53
6	607170	10053933	29793.6
7	607170	10053953	29798.39
8	607170	10053973	29791.14
9	607170	10053993	29795.88
10	607170	10054013	29784.67
11	607170	10054033	29810.94
12	607170	10054053	29821.01
13	607170	10054073	29802.5
14	607170	10054093	29810.2
15	607170	10054113	29807.75
16	607170	10054133	29802.12
17	607170	10054153	29798.47
18	607170	10054173	29799.67

Línea de geofísica 6

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	607370	10053833	29827.98
2	607370	10053853	29827.7
3	607370	10053873	29821.49
4	607370	10053893	29814.79
5	607370	10053913	29815.46
6	607370	10053933	29816.76
7	607370	10053953	29817.5
8	607370	10053973	29820.64
9	607370	10053993	29823.52
10	607370	10054013	29827.36
11	607370	10054033	29827.12
12	607370	10054053	29825.31
13	607370	10054073	29823.64
14	607370	10054093	29822.34
15	607370	10054113	29821.1
16	607370	10054133	29821.59
17	607370	10054153	29820.17
18	607370	10054173	29821.01

19	607170	10054193	29801.7
20	607170	10054213	29796.71
21	607170	10054233	29798.65
22	607170	10054253	29788.18
23	607170	10054273	29786.36
24	607170	10054293	29798.67
25	607170	10054313	29805.46
26	607170	10054333	29800.37
27	607170	10054353	29818.31
28	607170	10054373	29809.64
29	607170	10054392	29785.01
30	607170	10054412	29794.74
31	607170	10054432	29795.01
32	607170	10054452	29788.26
33	607170	10054472	29802.55
34	607170	10054492	29793.54
35	607170	10054512	29805.01
36	607170	10054532	29795.1
37	607170	10054552	29780.74
38	607170	10054572	29784.01
39	607170	10054592	29788.64
40	607170	10054612	29791.01
41	607170	10054632	29798.99
42	607170	10054652	29812.36
43	607170	10054672	29817.39
44	607170	10054692	29809.49
45	607170	10054712	29790.29
46	607170	10054732	29756.7
47	607170	10054752	29758.01
48	607170	10054772	29773.3
49	607170	10054792	29784.91
50	607170	10054812	29794.99
51	607170	10054832	29781.69

Línea de geofísica 7

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	607570	10053833	29861.7

19	607370	10054193	29822.79
20	607370	10054213	29823.28
21	607370	10054233	29820.19
22	607370	10054253	29814.59
23	607370	10054273	29813.61
24	607370	10054293	29813.12
25	607370	10054313	29815.4
26	607370	10054333	29815.78
27	607370	10054353	29814.36
28	607370	10054373	29812.24
29	607370	10054392	29805.1
30	607370	10054412	29803.25
31	607370	10054432	29804.01
32	607370	10054452	29805.98
33	607370	10054472	29811.1
34	607370	10054492	29812.38
35	607370	10054512	29809.33
36	607370	10054532	29809.56
37	607370	10054552	29807.95
38	607370	10054572	29800.76
39	607370	10054592	29797.78
40	607370	10054612	29791.53
41	607370	10054632	29794.61
42	607370	10054652	29800.1
43	607370	10054672	29807.79
44	607370	10054692	29807.75
45	607370	10054712	29808.15
46	607370	10054732	29806.5
47	607370	10054752	29803.62
48	607370	10054772	29800.5
49	607370	10054792	29797.76
50	607370	10054812	29795.69
51	607370	10054832	29794.2

Línea de geofísica 8

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	607770	10053833	29878.2

2	607570	10053853	29861.11
3	607570	10053873	29862.35
4	607570	10053893	29860.7
5	607570	10053913	29858.79
6	607570	10053933	29857.27
7	607570	10053953	29859.55
8	607570	10053973	29858.01
9	607570	10053993	29856.81
10	607570	10054013	29850.69
11	607570	10054033	29852.01
12	607570	10054053	29840.54
13	607570	10054073	29838.84
14	607570	10054093	29843.48
15	607570	10054113	29847.19
16	607570	10054133	29847.93
17	607570	10054153	29847.44
18	607570	10054173	29847.44
19	607570	10054193	29845.57
20	607570	10054213	29842.36
21	607570	10054233	29840.13
22	607570	10054253	29840.09
23	607571	10054273	29839.35
24	607571	10054293	29840.13
25	607571	10054313	29838.22
26	607571	10054333	29838.28
27	607571	10054353	29838.37
28	607571	10054373	29837.92
29	607571	10054393	29837.4
30	607571	10054413	29837.82
31	607571	10054433	29838.52
32	607571	10054453	29839.23
33	607571	10054473	29838.36
34	607571	10054493	29836.42
35	607571	10054513	29835.73
36	607571	10054533	29832.33
37	607571	10054553	29828.42
38	607571	10054573	29823.83
39	607571	10054593	29825.58
40	607571	10054613	29820.15

2	607770	10053853	29880.19
3	607770	10053873	29878.98
4	607770	10053893	29881.05
5	607770	10053913	29880.28
6	607770	10053933	29877.44
7	607770	10053953	29873.75
8	607770	10053973	29872.91
9	607770	10053993	29873.62
10	607770	10054013	29875.91
11	607770	10054033	29874.27
12	607770	10054053	29870.71
13	607770	10054073	29872.22
14	607770	10054093	29872.1
15	607770	10054113	29871.85
16	607770	10054133	29871.96
17	607770	10054153	29869.23
18	607770	10054173	29865.71
19	607770	10054193	29867.46
20	607770	10054213	29862.57
21	607770	10054233	29863.24
22	607770	10054253	29861.1
23	607770	10054273	29861.89
24	607770	10054293	29859.6
25	607770	10054313	29860.07
26	607770	10054333	29862.62
27	607770	10054353	29863.44
28	607770	10054373	29861.47
29	607770	10054393	29863.71
30	607770	10054413	29862.92
31	607770	10054433	29861.36
32	607770	10054453	29861.24
33	607770	10054473	29860.14
34	607770	10054493	29858.11
35	607770	10054513	29856.45
36	607770	10054533	29856.76
37	607770	10054553	29858.16
38	607770	10054573	29857.17
39	607770	10054593	29859.42
40	607770	10054613	29860.16

41	607571	10054633	29825.48
42	607571	10054653	29822.37
43	607571	10054673	29828.44
44	607571	10054693	29824.79
45	607571	10054713	29830.55
46	607571	10054733	29828.78
47	607571	10054753	29823.79
48	607571	10054773	29825.79
49	607571	10054793	29821.44
50	607571	10054813	29820.55
51	607571	10054832	29823.55
52	607571	10054852	29826.07
53	607571	10054872	29827.2
54	607571	10054892	29828.6
55	607571	10054912	29828.69
56	607571	10054932	29828.61
57	607571	10054952	29830.46
58	607571	10054972	29826.88
59	607571	10054992	29827.75
60	607571	10055012	29824.94
61	607571	10055032	29825.55
62	607571	10055052	29828.95
63	607571	10055072	29826.78
64	607571	10055092	29827.26
65	607571	10055112	29825.65
66	607571	10055132	29823.66
67	607571	10055152	29823.16
68	607572	10055172	29827.11
69	607572	10055192	29829.46
70	607572	10055212	29829.98
71	607572	10055232	29830.98
72	607572	10055252	29828.23
73	607572	10055272	29828.93
74	607572	10055292	29824.38
75	607572	10055312	29823.64
76	607572	10055332	29823.76
77	607572	10055352	29823.37
78	607572	10055372	29827.01
79	607572	10055392	29824.34

41	607770	10054633	29862.4
42	607770	10054653	29860.68
43	607770	10054673	29864.51
44	607770	10054693	29862.18
45	607770	10054713	29860.6
46	607770	10054733	29857.54
47	607770	10054753	29857.73
48	607770	10054773	29858.95
49	607770	10054793	29854.24
50	607770	10054813	29855.09
51	607770	10054832	29852.86
52	607770	10054852	29853.14
53	607770	10054872	29858.49
54	607770	10054892	29855.79
55	607770	10054912	29851.98
56	607770	10054932	29852.96
57	607770	10054952	29854.6
58	607770	10054972	29851.16
59	607770	10054992	29853.47
60	607770	10055012	29854.47
61	607770	10055032	29852.91
62	607770	10055052	29852.79
63	607770	10055072	29854.6
64	607770	10055092	29854.77
65	607770	10055112	29855.98
66	607770	10055132	29852.61
67	607770	10055152	29854.15
68	607770	10055172	29852.29
69	607770	10055192	29850.6
70	607770	10055212	29851.95
71	607770	10055232	29851.63
72	607770	10055252	29854.31
73	607770	10055272	29854.8
74	607770	10055292	29854.89
75	607770	10055312	29852.77
76	607770	10055332	29851.38
77	607770	10055352	29850.33
78	607770	10055372	29853.57
79	607770	10055392	29855.26

80	607572	10055412	29827.12
81	607572	10055432	29826.93
82	607572	10055452	29823.97
83	607572	10055472	29832.54
84	607572	10055492	29833.33
85	607572	10055512	29830.1
86	607572	10055532	29827.47
87	607572	10055552	29825.79
88	607572	10055572	29826.65
89	607572	10055592	29822.27
90	607572	10055612	29822.36
91	607572	10055632	29823.27

80	607770	10055412	29855.89
81	607770	10055432	29857.11
82	607770	10055452	29858.1
83	607770	10055472	29856.92
84	607770	10055492	29854.74
85	607770	10055512	29854.82
86	607770	10055532	29853.17
87	607770	10055552	29853.81
88	607770	10055572	29855.25
89	607770	10055592	29856.72
90	607770	10055612	29855.7
91	607770	10055632	29854.13

Línea de geofísica 9

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	607971	10053833	29879.35
2	607971	10053853	29879.06
3	607971	10053873	29878.74
4	607971	10053893	29880.27
5	607971	10053913	29880.73
6	607971	10053933	29878.43
7	607971	10053953	29875.85
8	607971	10053973	29874.48
9	607971	10053993	29876.96
10	607971	10054013	29874.49
11	607971	10054033	29874.82
12	607971	10054053	29871.85
13	607971	10054073	29874.15
14	607971	10054093	29876.76
15	607971	10054113	29870.4
16	607971	10054133	29870.07
17	607971	10054153	29878.13
18	607971	10054173	29875.65
19	607971	10054193	29875.35
20	607971	10054213	29874.91
21	607971	10054233	29874.01
22	607971	10054253	29875.58

Línea de geofísica 10

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608170	10053833	29896.47
2	608170	10053853	29894.28
3	608170	10053873	29896.59
4	608170	10053893	29896.56
5	608170	10053913	29895.03
6	608170	10053933	29895.05
7	608170	10053953	29892.34
8	608170	10053973	29892.74
9	608170	10053993	29891.56
10	608170	10054013	29891.6
11	608170	10054033	29890.88
12	608170	10054053	29890.49
13	608170	10054073	29889.18
14	608170	10054093	29892.02
15	608170	10054113	29890.99
16	608170	10054133	29892.79
17	608170	10054153	29893.13
18	608170	10054173	29895.22
19	608170	10054193	29889.11
20	608170	10054213	29892.18
21	608170	10054233	29893.81
22	608170	10054253	29889.76

23	607971	10054273	29870.37
24	607971	10054293	29874.83
25	607971	10054313	29879.36
26	607971	10054333	29873.19
27	607971	10054353	29879.71
28	607971	10054373	29876.57
29	607971	10054393	29876.5
30	607971	10054413	29874.7
31	607971	10054433	29880.31
32	607971	10054453	29882.46
33	607971	10054473	29874.5
34	607971	10054493	29867.02
35	607971	10054513	29869.09
36	607971	10054533	29868.58
37	607971	10054553	29866.34
38	607971	10054573	29866.18
39	607971	10054593	29869.59
40	607971	10054613	29871.25
41	607971	10054633	29865.13
42	607971	10054653	29864.23
43	607971	10054673	29861.01
44	607971	10054693	29863.89
45	607971	10054713	29860.13
46	607971	10054733	29857.07
47	607971	10054753	29856.65
48	607971	10054773	29858.42
49	607970	10054793	29859.4
50	607970	10054813	29856.29
51	607970	10054832	29857.79
52	607970	10054852	29858.91
53	607970	10054872	29857.37
54	607970	10054892	29855.04
55	607970	10054912	29856.09
56	607970	10054932	29857.57
57	607970	10054952	29854.63
58	607970	10054972	29857.32
59	607970	10054992	29858.41
60	607970	10055012	29856.35
61	607970	10055032	29859.14

23	608170	10054273	29884.17
24	608170	10054293	29884.19
25	608170	10054313	29884.09
26	608170	10054333	29884.28
27	608170	10054353	29885.35
28	608170	10054373	29885.99
29	608170	10054393	29882.78
30	608170	10054413	29884.56
31	608170	10054433	29883.77
32	608170	10054453	29885.9
33	608170	10054473	29882.18
34	608170	10054493	29884.74
35	608170	10054513	29882.94
36	608170	10054533	29882.96
37	608170	10054553	29880.37
38	608170	10054573	29876.44
39	608170	10054593	29875.47
40	608170	10054613	29877.56
41	608170	10054633	29875.8
42	608170	10054653	29874.73
43	608170	10054673	29873.66
44	608170	10054693	29875.13
45	608170	10054713	29877.59
46	608170	10054733	29874.27
47	608170	10054753	29871.78
48	608170	10054773	29873.97
49	608170	10054793	29868.6
50	608170	10054813	29864.84
51	608170	10054832	29863.89
52	608170	10054852	29862.61
53	608170	10054872	29861.83
54	608170	10054892	29862.44
55	608170	10054912	29862.9
56	608170	10054932	29859.91
57	608170	10054952	29863.32
58	608170	10054972	29860.53
59	608170	10054992	29858.01
60	608170	10055012	29858.44
61	608170	10055032	29858.01

62	607970	10055052	29854.22
63	607970	10055072	29858.58
64	607970	10055092	29851.46
65	607970	10055112	29853.27
66	607970	10055132	29855.91
67	607970	10055152	29854.1
68	607970	10055172	29858.7
69	607970	10055192	29859.8
70	607970	10055212	29857.56
71	607970	10055232	29858.36
72	607970	10055252	29858.93
73	607970	10055272	29861.48
74	607970	10055292	29864.5
75	607970	10055312	29852.29
76	607970	10055332	29855.84
77	607970	10055352	29858.55
78	607970	10055372	29850.1
79	607970	10055392	29857.2
80	607970	10055412	29857.5
81	607970	10055432	29855.97
82	607970	10055452	29851.15
83	607970	10055472	29850.7
84	607970	10055492	29848.23
85	607970	10055512	29845.83
86	607970	10055532	29849.43
87	607970	10055552	29848.85
88	607970	10055572	29851.73
89	607970	10055592	29852.93
90	607970	10055612	29847.81
91	607970	10055632	29847.8

62	608170	10055052	29858.8
63	608170	10055072	29857.97
64	608170	10055092	29856.2
65	608170	10055112	29856.7
66	608170	10055132	29857.3
67	608170	10055152	29855.73
68	608170	10055172	29854.17
69	608170	10055192	29858.14
70	608170	10055212	29860.5
71	608170	10055232	29858.68
72	608170	10055252	29854.6
73	608170	10055272	29854.7
74	608170	10055292	29854.99
75	608170	10055312	29854.92
76	608170	10055332	29856.09
77	608170	10055352	29854.22
78	608170	10055372	29853.53
79	608170	10055392	29853.55
80	608170	10055412	29851.81
81	608170	10055432	29847.86
82	608170	10055452	29846.03
83	608170	10055472	29845.23
84	608170	10055492	29844.68
85	608170	10055512	29842.09
86	608170	10055532	29840.14
87	608170	10055552	29841.17
88	608170	10055572	29838.55
89	608170	10055592	29838.86
90	608170	10055612	29838.86
91	608170	10055632	29839.03

Línea de geofísica 11

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608370	10053833	29887.75
2	608370	10053853	29885.72
3	608370	10053873	29887.59
4	608370	10053893	29886.91

Línea de geofísica 12

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608570	10053833	29876.07
2	608570	10053853	29881.69
3	608570	10053872	29883.99
4	608570	10053892	29888.03

5	608370	10053913	29882.57
6	608370	10053933	29883.91
7	608370	10053953	29880.74
8	608370	10053973	29882.21
9	608370	10053993	29884.07
10	608370	10054013	29886.85
11	608370	10054033	29889.37
12	608370	10054053	29888.44
13	608370	10054073	29888.7
14	608370	10054093	29888.84
15	608370	10054113	29889.93
16	608370	10054133	29893.78
17	608370	10054153	29897.84
18	608370	10054173	29894.03
19	608370	10054193	29901.2
20	608370	10054213	29899.1
21	608370	10054233	29895.35
22	608370	10054253	29897.49
23	608370	10054273	29899.75
24	608370	10054293	29900.46
25	608370	10054313	29899.18
26	608370	10054333	29897.78
27	608370	10054353	29899.52
28	608370	10054373	29894.67
29	608370	10054393	29900.51
30	608370	10054413	29901.92
31	608370	10054433	29893.01
32	608370	10054453	29893.94
33	608370	10054473	29891.95
34	608370	10054493	29887.14
35	608370	10054513	29888.48
36	608370	10054533	29887.33
37	608370	10054553	29881.3
38	608370	10054573	29881.38
39	608370	10054593	29881.77
40	608370	10054613	29882.85
41	608370	10054633	29880.31
42	608370	10054653	29881.01
43	608370	10054673	29884.52

5	608570	10053911	29891.64
6	608570	10053931	29892.76
7	608570	10053950	29897.38
8	608570	10053970	29891.5
9	608570	10053989	29885.12
10	608570	10054009	29899.13
11	608570	10054029	29894.71
12	608570	10054048	29899.3
13	608570	10054068	29903.3
14	608570	10054087	29902.6
15	608570	10054107	29900.99
16	608570	10054126	29898.33
17	608570	10054165	29895.75
18	608570	10054185	29895.41
19	608570	10054205	29894.87
20	608570	10054224	29894.95
21	608570	10054244	29894.97
22	608570	10054263	29897.13
23	608570	10054283	29897.97
24	608570	10054302	29898.9
25	608570	10054322	29898.39
26	608570	10054341	29898.78
27	608570	10054361	29898.29
28	608570	10054381	29902.53
29	608570	10054400	29904.45
30	608570	10054420	29907.46
31	608570	10054439	29908.44
32	608570	10054459	29909.27
33	608570	10054478	29911.13
34	608570	10054498	29910.64
35	608570	10054517	29908.08
36	608570	10054537	29900.09
37	608570	10054576	29895.17
38	608570	10054596	29892.02
39	608570	10054615	29890.26
40	608570	10054635	29888.48
41	608570	10054654	29886.32
42	608570	10054674	29887.18
43	608570	10054693	29888.01

44	608370	10054693	29882.1
45	608370	10054713	29879.25
46	608370	10054733	29879.64
47	608370	10054753	29878.01
48	608370	10054773	29877.98
49	608370	10054793	29880.03
50	608370	10054813	29876.2
51	608370	10054832	29871.78
52	608370	10054852	29877.55
53	608370	10054872	29874.65
54	608370	10054892	29874.91
55	608370	10054912	29875.09
56	608370	10054932	29874.19
57	608370	10054952	29873.49
58	608370	10054972	29874.7
59	608370	10054992	29870.78
60	608370	10055012	29874.34
61	608370	10055032	29869.83
62	608370	10055052	29871.54
63	608370	10055072	29878.13
64	608370	10055092	29876.69
65	608370	10055112	29876.4
66	608370	10055132	29876.58
67	608370	10055152	29882
68	608370	10055172	29877.3
69	608370	10055192	29884
70	608370	10055212	29879.6
71	608370	10055232	29873.4
72	608370	10055252	29876.5
73	608370	10055272	29872
74	608370	10055292	29880.2
75	608370	10055312	29878
76	608370	10055332	29877.57
77	608370	10055352	29874.9
78	608370	10055372	29872.45
79	608370	10055392	29873.26
80	608370	10055412	29872.96
81	608370	10055432	29870.39
82	608370	10055452	29871.5

44	608570	10054713	29889.3
45	608570	10054733	29887.41
46	608570	10054752	29881.04
47	608570	10054772	29874.79
48	608570	10054791	29875.22
49	608570	10054811	29873.64
50	608570	10054830	29873.87
51	608570	10054850	29870.99
52	608570	10054869	29878.08
53	608570	10054889	29875.91
54	608570	10054909	29875.7
55	608570	10054928	29880.14
56	608570	10054948	29880.65
57	608570	10054967	29884.09
58	608570	10054987	29882.72
59	608570	10055006	29879.98
60	608570	10055026	29880.58
61	608570	10055045	29884.04
62	608570	10055065	29888.2
63	608570	10055085	29891.16
64	608570	10055104	29888.2
65	608570	10055124	29892
66	608570	10055143	29888.19
67	608570	10055163	29883.78
68	608570	10055182	29886.6
69	608570	10055202	29889.3
70	608570	10055221	29884.9
71	608570	10055241	29874
72	608570	10055261	29873.1
73	608570	10055280	29873.4
74	608570	10055300	29880
75	608570	10055319	29884
76	608570	10055339	29881.1
77	608570	10055358	29877.33
78	608570	10055378	29875.73
79	608570	10055397	29872.53
80	608570	10055417	29872.1
81	608570	10055437	29870.86
82	608570	10055456	29869.39

83	608370	10055472	29869.64
84	608370	10055492	29872
85	608370	10055512	29873.8
86	608370	10055532	29872.28
87	608370	10055552	29869.09
88	608370	10055572	29869.3
89	608370	10055592	29872.65
90	608370	10055612	29871.54
91	608370	10055632	29871.05

83	608570	10055476	29868.55
84	608570	10055495	29866.33
85	608570	10055515	29868.83
86	608570	10055534	29866.21
87	608570	10055554	29868.03
88	608570	10055573	29867.83
89	608570	10055593	29866.62
90	608570	10055612	29866.28
91	608570	10055632	29867.81

Línea de geofísica 13

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608770	10053833	29897.41
2	608770	10053853	29896.28
3	608770	10053873	29895.64
4	608770	10053894	29895.98
5	608770	10053914	29898.38
6	608770	10053934	29902.91
7	608770	10053954	29900.99
8	608770	10053975	29903.93
9	608770	10053995	29902.03
10	608770	10054015	29901.13
11	608770	10054035	29904.4
12	608770	10054055	29902.68
13	608770	10054076	29906.61
14	608770	10054096	29905.43
15	608770	10054116	29905.05
16	608770	10054136	29906.48
17	608770	10054156	29906.48
18	608770	10054177	29905.44
19	608770	10054197	29905.56
20	608770	10054217	29906.9
21	608770	10054237	29908.45
22	608770	10054258	29904.75
23	608770	10054278	29903.19
24	608770	10054298	29908.24
25	608770	10054318	29909.2
26	608770	10054338	29903.83

Línea de geofísica 14

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608970	10053632	29885.82
2	608970	10053652	29886.06
3	608970	10053672	29892.31
4	608970	10053692	29891.41
5	608970	10053712	29893.72
6	608970	10053732	29899.19
7	608970	10053752	29896.94
8	608970	10053772	29898.35
9	608970	10053792	29897.55
10	608970	10053812	29897.43
11	608970	10053832	29894.65
12	608970	10053852	29892.76
13	608970	10053872	29893.8
14	608970	10053892	29893.91
15	608970	10053912	29892
16	608970	10053932	29891.84
17	608970	10053952	29896.73
18	608970	10053972	29898.55
19	608970	10053992	29900.6
20	608970	10054012	29904.78
21	608970	10054032	29903.21
22	608970	10054052	29898.74
23	608970	10054072	29901.07
24	608970	10054092	29904.9
25	608970	10054112	29906.17
26	608970	10054132	29907.13

27	608770	10054359	29904.62
28	608770	10054379	29904.05
29	608770	10054399	29903.21
30	608770	10054419	29902.14
31	608770	10054439	29903.36
32	608770	10054460	29900.58
33	608770	10054480	29899.8
34	608770	10054500	29900.5
35	608770	10054520	29902.39
36	608770	10054541	29901.45
37	608770	10054561	29904.07
38	608770	10054581	29904.18
39	608770	10054601	29905.54
40	608770	10054621	29906.52
41	608770	10054642	29906.82
42	608770	10054662	29903.73
43	608770	10054682	29903.57
44	608770	10054702	29901.77
45	608770	10054722	29898.56
46	608770	10054743	29900.86
47	608770	10054763	29899.87
48	608770	10054783	29900.75
49	608770	10054803	29898.37
50	608770	10054824	29896.45
51	608770	10054844	29891.74
52	608770	10054864	29885.55
53	608770	10054884	29885.93
54	608770	10054904	29879.12
55	608770	10054925	29878.98
56	608770	10054945	29877.33
57	608770	10054965	29873.28
58	608770	10054985	29871.37
59	608770	10055005	29865.43
60	608770	10055026	29867.15
61	608770	10055046	29868.19
62	608770	10055066	29872.15
63	608770	10055086	29875.73
64	608770	10055096	29877.68
65	608770	10055106	29879.63

27	608970	10054152	29908.99
28	608970	10054172	29910.12
29	608970	10054192	29912.55
30	608970	10054212	29913.38
31	608970	10054232	29914.19
32	608970	10054252	29912.68
33	608970	10054272	29912.12
34	608970	10054292	29918.96
35	608970	10054312	29916.48
36	608970	10054332	29918.12
37	608970	10054352	29913.31
38	608970	10054372	29907.94
39	608970	10054392	29912.24
40	608970	10054412	29911.81
41	608970	10054432	29911.17
42	608970	10054452	29912.4
43	608970	10054472	29910.81
44	608970	10054492	29912.37
45	608970	10054512	29910.49
46	608970	10054532	29908.03
47	608970	10054552	29909.17
48	608970	10054572	29908.88
49	608970	10054592	29905.33
50	608970	10054612	29909.83
51	608970	10054632	29906.89
52	608970	10054652	29912.25
53	608970	10054672	29913.23
54	608970	10054692	29913.86
55	608970	10054712	29911.61
56	608970	10054732	29910.81
57	608970	10054752	29911.25
58	608970	10054772	29909.5
59	608970	10054792	29905.38
60	608970	10054812	29906.84
61	608970	10054832	29902.68
62	608970	10054852	29906.16
63	608970	10054872	29902.27
64	608970	10054892	29899.7
65	608970	10054912	29902.11

66	608770	10055127	29877.78
67	608770	10055147	29877.81
68	608770	10055167	29883
69	608770	10055187	29887.66
70	608770	10055208	29882.82
71	608770	10055228	29873.97
72	608770	10055248	29872.52
73	608770	10055268	29874.43
74	608770	10055288	29877.64
75	608770	10055309	29870.05
76	608770	10055329	29869.04
77	608770	10055349	29873.76
78	608770	10055369	29869.77
79	608770	10055389	29872.77
80	608770	10055410	29869.07
81	608770	10055430	29870.64
82	608770	10055450	29868.88
83	608770	10055470	29866.84
84	608770	10055491	29871.68
85	608770	10055511	29870.9
86	608770	10055531	29870.01
87	608770	10055551	29871.82
88	608770	10055571	29866.04
89	608770	10055592	29865.12
90	608770	10055612	29864.93
91	608770	10055632	29868.55

66	608970	10054932	29899.71
67	608970	10054952	29898.1
68	608970	10054972	29899.63
69	608970	10054992	29896.96
70	608970	10055012	29892.96
71	608970	10055032	29889.8
72	608970	10055052	29890.52
73	608970	10055072	29889.17
74	608970	10055092	29889.87
75	608970	10055112	29887.24
76	608970	10055132	29886.16
77	608970	10055152	29886.69
78	608970	10055172	29887.34
79	608970	10055192	29885.11
80	608970	10055212	29884.39
81	608970	10055232	29888.56
82	608970	10055252	29890.74
83	608970	10055272	29885.6
84	608970	10055292	29881.21
85	608970	10055312	29878.43
86	608970	10055332	29875.16
87	608970	10055352	29876.38
88	608970	10055372	29874.21
89	608970	10055392	29876.71
90	608970	10055412	29877.98
91	608970	10055432	29879.41
92	608970	10055452	29879
93	608970	10055472	29880.68
94	608970	10055492	29880.47
95	608970	10055512	29884.63
96	608970	10055532	29883.29
97	608970	10055552	29882.32
98	608970	10055572	29882.28
99	608970	10055592	29882.92
100	608970	10055612	29878.15
101	608970	10055632	29881.86
102	608970	10055652	29884.69
103	608970	10055672	29880.01
104	608970	10055692	29881.8

105	608970	10055712	29880.28
106	608970	10055732	29887.85

Línea de geofísica transversal 1

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	608973	10055399	29838.41
2	608755	10055391	29886.89
3	608559	10055385	29993.61
4	608359	10055376	29909.91
5	608149	10055374	29896.23
6	607951	10055364	29881.62
7	607745	10055358	29868.68
8	607517	10055369	29849.7
9	607340	10054793	29831.65
10	607150	10054776	29800.11
11	606956	10054779	29784.62
12	606748	10054021	29778.18
13	606570	10054017	29759.73
14	606358	10054001	29774.57

Línea de geofísica transversal 2

ID	X	Y	CAMPO (nT)
1	606752	10054420	29758.99
2	606930	10054418	29772.33
3	607192	10054410	29791.87
4	607472	10054740	29822.42
5	607601	10054743	29841.03
6	607781	10054748	29905.48
7	607980	10054758	29837.17
8	608170	10054733	29876.32
9	608380	10054733	29886.94
10	608595	10054738	29907.11
11	608790	10054728	29876.1
12	608975	10054753	29850.91