



Instituto Superior Minero Metalúrgico

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Ministerio de Educación Superior

Facultad de Geología y Minería

Departamento de Geología

Tesis de Maestría

Caracterización ingeniero geológico para la ubicación de parques eólicos en zonas costeras. Caso de estudio Parque Eólico Jagüeyes

Autor: Ing. Marcell Martínez Contrera.

Tutor: Dr. Félix Quintas Caballero.

MSc. Yoni Figueroa Guerrero.

MSc. Sergio Greenidge Moro.

Moa. 2019

PENSAMIENTO

“En el esbozo de toda teoría, las ideas imaginativas de quienes tienen “visiones amplias” interactúan de manera sutil y compleja con las observaciones que hacemos de la realidad. Las teorías nacen del mundo de la imaginación, pero deben adecuarse al mundo de los fenómenos...”

“Locos por la geología”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autor de este trabajo de tesis de maestría de título “Caracterización ingeniero geológico para la ubicación de parques eólicos en zonas costeras. Caso de estudio Parque Eólico Jagüeyes” y que autorizo a la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

AGRADECIMIENTOS

Para la confección y conclusión de este proyecto agradezco, primeramente, al señor todo poderoso Dios, por la darme la fuerza para seguir. A la revolución que sin ella nada de esto hubiese sido posible, gracias.

A mi familia, madre, hijo y esposa todos por igual, por aguantarme la falta que le hago en la casa cuando no estoy, gracias a todos de corazón.

A mis amigos y hermanos de grupo de trabajo investigativo siempre dispuesto a hacer ciencia cuando se nos ponen muchas barreras para que esto no pase:

Especial a DrC. Félix Quintas Caballero, MSc. Sergio Greenidge; MSc Jorge Luis Vázquez Blázquez, MSC. Yoni Figueroa, MSc Arnaldo Ricardo Labrada, Ing. Andro Pérez Peca, Al lic. Nolberto Guerra Guerra y al equipo de investigación del Mapa Geomorfológico en general, y sin que se me quede nadie que aporte un grano de conocimiento a este trabajo.

Finalmente, a todos aquellos que en su momento y de diferentes maneras, han contribuido a mi formación como master en ciencias y a llevar a cabo esta investigación.

DEDICATORIA

A mi madre, mi padre, y familia en general, por permitirme alcanzar, gracias a todo su amor, sacrificio y apoyo, uno de mis sueños más deseados.

A mí princesa y mi niño por darme todo su amor, comprensión y ayuda, especialmente en los momentos en que más los necesito.

A la revolución cubana, todos sabemos que todos los sueños de los cubanos se cumplan o no se cumplan parten de aquí.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización geológica e ingeniero-geológicas, de los procesos geológicos, que puedan afectar geotécnicamente la construcción de un parque eólico, en particular el caso de estudio del Parque Eólico Jagüeyes del municipio costero de Rafael Freyre, en la provincia de Holguín y teniendo en cuenta los resultados, señalar el lugar más conveniente para el emplazamiento de este tipo de obra.

Para su realización se efectuó una recopilación y revisión de toda la información disponible sobre los estudios relacionados con el tema de esta investigación, sobre la geología de la región, la geología local y las características ingeniero geológicas de macizos y capas de suelos de zonas cercanas al lugar donde se va a ejecutar la obra. Posteriormente se obtuvieron una serie de modelos entre ellos el MDT y otros modelos que permiten conocer una serie de propiedades del terreno necesarias para la caracterización ingeniero-geológica sería necesario en un futuro. Seguidamente se realizaron los trabajos de campo complementarios, que se ejecutaron con la intención de la verificación de la información recopilada y la obtención de otros datos de interés. Una vez ejecutadas estas acciones se procesó toda la información alcanzada, elaborando una serie de tablas y mapas temáticos que se usaron para la construcción de una matriz, para obtener un pronóstico integrado de las propiedades del suelo y las rocas, y en general que nos permita alcanzar el conocimiento necesario en la etapa de ingeniería de ideas conceptuales para pasar a la etapa de ingeniería básica.

A partir de la información procesada se identifican y señalan los principales fenómenos geológicos que puedan afectar el área, como son el carso, el tectonismo, la erosión o el intemperismo. Seguido a esto, se caracterizan los tipos geotécnicos de suelos y rocas existentes, para crear una base de datos y mediante esta se pronostica, matemáticamente cual pudiera ser la capa más favorable para mayor investigación en la siguiente etapa investigación ingeniero-geológica.

PALABRAS CLAVES: *Geotécnico. Macizo rocoso. Capa de suelos.*

SUMMARY

The present work has as its objective the geological and engineering-geological characterization of the geological processes that can geotechnically affect the construction of a wind farm, in particular the case study of the Jagüeyes Wind Farm of the coastal municipality of Rafael Freyre, in the province Holguín and taking into account the results, indicate the most convenient place for the placement of this type of work.

For its realization, a compilation and review of all the available information on the studies related to the subject of this research, on the geology of the region, the local geology and the geological engineer characteristics of massifs and soil layers of areas near the areas was carried out. place where the work is going to be executed. Subsequently, a series of models were obtained, including the MDT and other models that allow to know a series of terrain properties necessary for the engineer-geological characterization would be necessary in the future. Subsequently, the complementary field work was carried out, which was carried out with the intention of verifying the information collected and obtaining other data of interest. Once these actions were executed, all the information reached was processed, preparing a series of thematic tables and maps that were used for the construction of a matrix, to obtain an integrated forecast of the properties of the soil and rocks, and in general that allows us achieve the necessary knowledge in the engineering stage of conceptual ideas to move to the basic engineering stage.

Based on the processed information, the main geological phenomena that can affect the area are identified and identified, such as carros, tectonism, erosion or weathering. Following this, the geotechnical types of existing soils and rocks are characterized, to create a database and by means of this, it is predicted, mathematically, which could be the most favorable layer for further research in the next stage of geological-engineering research.

KEY WORDS: *Geotechnical. Rock mass. Soil layer*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1.- Introducción	4
1.2.- Conceptos.....	4
1.3.- Orígenes de la geología y la ingeniería geológica	5
1.4.- Análisis sobre el desarrollo de las investigaciones ingenieras geológicas y geotécnicas.....	8
1.5.- Metodología propuesta por diversos autores:.....	13
CAPÍTULO II.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	14
2.1.- Introducción al capítulo	14
2.2.- Ubicación geográfica	14
2.3.- Población, redes de comunicaciones y servicios	15
2.4.- Relieve.....	16
2.4.1.- Relieve local e hidrografía	16
2.5.- Clima y Vegetación	17
2.6.- Características geológicas de la región	21
2.7.- Estratigrafía	21
2.8.- Tectónica	24
2.9.- Geomorfología y fenómenos geológicos	25
2.9.- Sismicidad	26
2.10.- Hidrología e Hidrogeología regional	28
- Hidrogeología	29
CAPÍTULO III - METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICO EN LA UBICACIÓN DE PARQUES EÓLICOS.....	32
3.1.- Introducción del capítulo	32
3.2.- Etapa de recopilación y revisión de la información existente	33
3.3.- Creación y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)	36
3.4.- Obtención de las variables geomorfológicas	37
3.5.- Creación y procesamiento del Modelo Digital Litológico (MDL).....	39
3.5.1.- Obtención de variables geólogo-estructurales para obras de cimentación.	39
3.6.- Metodología para la creación del mapa geomorfológico	40
3.7.- Metodología empleada para la clasificación de las zonas según su excavabilidad	41
3.8.- Trabajos de campo	45
3.9.- Interpretación y elaboración de los resultados.....	49
CAPÍTULO IV – RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN DE PARQUES EÓLICOS.....	50
4.1.- Introducción del capítulo	50
4.2.- Identificación y caracterización de los fenómenos físicos y geológicos que afectan a las rocas.....	51
4.3.- Análisis de los trabajos morfométricos y creación del mapa geomorfológico.....	54
4.3.1.- Interpretación de los mapas morfométricos del área.....	54
4.3.2.- Mapa Geomorfológico local. (Anexo 5)	56

4.4.- Análisis ingeniero geológico y descripción de las propiedades principales de las litologías presentes. (Anexo 7 y 8. Mapa y Perfiles litológico).....	59
4.5.- Cálculos de los índices de excavabilidad. (Anexo 9 Mapa de Excavabilidad).	70
4.6. - Hidrogeología. (Mapa de dirección y nivel freático de las aguas subterráneas Anexo 10)	73
4.7. - Análisis del mapa final de conveniencia constructiva.	76
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	84
ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.2. Distribución anual de la temperatura media del aire en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.3. Marcha anual de los acumulados de precipitación para la provincia Holguín según la Norma 1981-2010.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.4. Distribución anual de los acumulados de precipitación en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.5. Mapa geológico de la región de estudio (Anexo 03).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.6. Desarrollo del carso superficial.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.7. Formación de cavernas.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.8. Microplaca del Caribe oriental de Cuba.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.9. Zonas sismogénicas de la región.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.10. Mapa de zonación y riesgo sísmico de Cuba.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.11. Mapa de distribución de zonación sísmica por municipio.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.12. Mapa de cuencas superficiales y principales redes fluviales de la provincia.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.13. Mapa de las regiones hidrogeológicas de la provincia de Holguín.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.1. Flujograma donde se muestra la metodología de trabajo seguida para la realización de la investigación.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.2. Modelo Digital del Relieve sombreado del área estudiada.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.3. Presencia de construcción de un pozo artesano, con perforadora artesanal construida por los pobladores.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.4. Arriba) Entrevista a los pobladores para localizar las cavernas en el área. Abajo) Especialistas realizando el levantamiento y descripción ingeniero geológica del área.....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 4.1. Mapa hipsométrico del área de estudio. (Anexo 2).....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4.2. Mapa de pendiente del área de estudio. (Anexo 2).....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4.3. Mapa de densidad de fractura de la región de estudio. (Anexo 2).....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4.4. Mapa de los principales elementos geomorfológicos del área de estudio, incluidos perfiles del relieve, realizados para este análisis. (Anexo 4 y 5).....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.5. Afloramiento de la capa Ingeniero geológica Tipo IG-II en la cima de la loma de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm Júcaro.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.6. Afloramiento de Tipo IG-II en el terraplén a jagüeyes de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm Júcaro.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.7. Afloramiento de la capa Ingeniero geológica Tipo IG-II en la cima de la loma de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm. Júcaro.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4.8. Afloramiento de Tipo IG-II en el terraplén a jagüeyes de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm. Júcaro.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4.9. Campo de calizas muy carsificadas, formando cavernas de tipo embudos.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.10. Caverna con agua y posible relación con el mar y las mareas.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.11. Corteza de meteorización o suelo sobre las calizas organodetríticas, masivas y biocalcarenitas semicarsificadas de la fm. Jaimanitas.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 4.12. Se observan abundantes fragmentos de calizas organodetríticas, carsificadas en superficie mezclados con la corteza.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 4.13. Área paralela a la costa o duna de arena.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 4.14. Arenas, gravas y sedimentos carbonatados, movilizadas por las arroyadas superficiales en época de lluvias.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 4.15. Mapa litológico del área de estudio.....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 4.16. Perfil litológico (Perfil 2) Anexo 4 y 5.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 4.18. Mapa de excavabilidad del area de estudio. Anexo 6.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 4.19. Mapa de nivel y dirección de flujo del agua subterránea en el área. Anexo 7.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.20. Análisis de la hidrogeología del área en una representación 3D.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 4.21. Mapa de la conveniencia constructiva o zonas más perspectivas para la ubicación del parque eólico. Anexo 8.....</i>	<i>89</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Norma técnica actualizada, relacionada con los métodos de investigaciones ingeniero geológicas</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2.1. Coordenadas del área de estudio.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3.1. Análisis de las pendientes.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 3.2. hipsometría.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 3.3. Disección vertical.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 3.4 Clasificación establecida por la International Society of Rocks Mechanics.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3.5. Ejemplo de la distribución de los valores en la tabla.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 3.6. Ejemplo de la obtención del índice de Excavabilidad.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3.7. Clasificación de la facilidad de excavación del “Manual de Ingeniería Geológica” del instituto tecnológico GeoMinero de España.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3.8. Base de datos de los pozos registrados en el área, muy importantes para llevar a cabo la metodología de investigación utilizada. Ver mapa en Anexo 1 y otros referentes.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 3.9.- Clasificación de las rocas según su grado de meteorización (en Cooke et. al 1971).....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 3.10. Tabla de mapas creados en la investigación.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 4.1 Propiedades físicas de las serpentinitas alteradas que afloran en la parte sur del área.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 4.2. Propiedades físicas de las calcarenitas margosas que forman parte de la formación Júcaro afloran en la parte suroeste del área.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 4.3 Propiedades físicas de la corteza sobre la formación Rancho Bravo que se observan en la parte oeste central del área.....</i>	<i>77</i>

<i>Tabla 4.4. Propiedades físicas de las calizas biodetríticas cavernosas carsicas que se observan en la parte norte y noreste del área.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 4.5. Representación de los valores FKP y los índices de dureza.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 4.6. Organización de los valores para otorgarles peso por interés de experto y sustituirlos en la fórmula.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 4.7. Resultado de las Ind. de excavabilidad y escala de colores por los valores.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4.8. Análisis de la litología por peso para la confección de la tabla de conveniencia.</i>	
<i>Tabla 4.9. Escala para la determinación de la conveniencia constructiva.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4.10. Análisis de la conveniencia, por peso y criterio de experto mediante matriz de riesgo.....</i>	<i>87</i>

INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas las fuentes de energías naturales no renovables, como son el petróleo, sus derivados y el carbón mineral, según estadísticas mundiales han presentado sus más altos precios, por diferentes motivos, uno de los dos mayores y más preocupante para la civilización humana es el agotamiento de estos yacimientos y otro problema de su uso es la contaminación que ellos generan, es bien sabido al daño que nos conlleva como planeta. La solución para prepararnos cuando estos no estén, es la búsqueda de energías renovables (limpias e inagotables) como son la eólica, la hidráulica, la solar entre otras. Una iniciativa de nuestro país para incursionar en este tema, es la creación de parques eólicos en zonas que se adecuen al logro de una mayor producción de este tipo de energía. De ahí la importancia de la búsqueda de áreas con perspectivas para la construcción de este tipo de obra ingenieril en todo el territorio nacional, como vías ineludibles al problema energético que se avecina.

Con el fin de garantizar la estabilidad y seguridad de cada uno de los aerogeneradores, es necesario una investigación ingeniero geológica, siguiendo lo establecido en la norma cubana 722: 2009. De manera particular este proyecto se centra en la etapa de ideas conceptuales o ingeniería conceptual, según se plantea en la resolución 91/2006 del Ministerio de Economía y Planificación (MEP). "Indicaciones del proceso inversionista". El cual especifica tres etapas para la documentación técnica de los proyectos, que son: Ideas conceptuales o ingeniería conceptual; Anteproyecto o ingeniería básica; y el Proyecto ejecutivo o como parte también de la ingeniería de detalle. Con la idea de determinar las características ingeniero geológico y geotécnico que puedan afectar la obra ingenieril, los cuales pudieran estar relacionados al carácter al tectonismo, sismicidad, levantamiento o subsidencia, cambio en el nivel freático y los fenómenos Cársticos. Acto seguido se caracteriza el comportamiento geotécnico de los diferentes tipos de suelos y rocas del área, para el conocimiento de sus propiedades geomecánicas, hidrogeológicas y de otra índole.

La siguiente investigación se ejecuta a solicitud de la Empresa Desarrolladora de Inversiones en Fuentes Renovables de Energía (EDIFRE) de la Unión Nacional Eléctrica (UNE) y la Empresa Eléctrica de Holguín, por parte del Taller de

Investigaciones Regionales y Servicios Especializados (IRSE) de la Agencia de Servicios Especializados y Medio Ambiente (ASEMA) de GEOCUBA Oriente Norte, para determinar la conveniencia ingeniero-geológica y constructiva del parque eólico Jagüeyes en el municipio Gibara.

La investigación perteneciente a la etapa de ideas conceptuales descritas en la norma de investigación (NC 722-2009 “Requisitos de alcance y contenido de la documentación técnica”)

Para el desarrollo de la investigación se desarrolló un conjunto de actividades dividiendo la investigación en cuatro etapas fundamentales, búsqueda de la información existente, análisis metodológico o búsqueda de diferentes teorías de investigación, trabajos de campo y muestra de los resultados, los cuales se adquieren a través del método de matriz de riesgo, que tiene en cuenta todas las variables o procesos geológicos que participan en el área de estudio dándole un peso o valor para establecer un rango o escala jerárquica que define mediante colores los sectores con mayor o menor perspectiva para concebir la obra.

Atendiendo a la situación existente, se reconoce que el **problema científico** al cual debe responder este trabajo, lo constituye: la necesidad de caracterizar las condiciones ingeniero geológicas del terreno Jagüeyes para la construcción de un parque eólico.

Y como **campo de acción**: El terreno o la parcela donde se proyecta construir el Parque Eólico Jagüeyes.

A partir de lo expuesto hasta el momento se establece que el **objetivo general** de la investigación es: caracterizar las condiciones ingeniero geológicas del terreno Jagüeyes para la construcción de un parque eólico.

Teniendo en cuenta los aspectos metodológicos definitivos, se establece como la **Hipótesis** lo siguiente: si se caracterizan las capas ingeniero geológicas que componen el área de estudio, se determinan los procesos y fenómenos geológicos que actúan en esta y se definen sus sectores favorables para el emplazamiento de la obra; entonces se podrá caracterizar las condiciones ingeniero geológicas del terreno Jagüeyes para la construcción de un parque eólico.

Para su realización se determinan los **Objetivos específicos** relacionados a continuación:

- Conocer las condiciones geólogo-geotécnicas generales que componen el área de estudio.
- Identificar los procesos geológicos que pudieran afectar la obra.
- Definir los sectores favorables o convenientes en función de las condiciones geológicas y geotécnicas para el emplazamiento de la obra.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.- Introducción

Para dar entrada al conocimiento e interpretación de las actividades realizadas por este estudio, mediante el capítulo se brinda y analiza algunos temas para muy importante para lograr un entendimiento de la investigación. Primeramente, se explicarán los principales conceptos que se abordarán en la investigación, dirigiendo de esta manera el conocimiento hacia donde requiere el proyecto. También se expone un pequeño resumen histórico del tema, mostrando hechos y figuras que se destacaron en los inicios de esta ciencia, los cuales fueron fundamentales para su desarrollo y conocimiento, dando pie de entrada al tema de estudio que se presenta. Por otra parte, se realizará un análisis de algunos proyectos a nivel internacional y que se publicaron en internet en los últimos 5 años, para tener una idea de cómo se realizan estas investigaciones en el mundo, además se muestra algunas investigaciones realizadas en nuestros país, localizadas en nuestra provincias y muy cercanas a el área de estudio, las cuales fueron recopiladas en los procesos investigativos de la etapa de búsqueda bibliográfica del proyecto, los mismos pertenecen a empresas como la Empresa nacional de investigaciones aplicada de Holguín (ENIA), la Unidad empresarial de base de proyectos e investigaciones hidráulicas (UEBPIH - RAUDAL) y el taller de geología de la agencia de servicios y estudios medioambientales (ASEMA), pertenecientes al grupo de GEOCUBA Oriente Norte, Holguín. Todos estos datos, permitirán, llevar a cabo un análisis global del conocimiento de las investigaciones realizadas dentro y fuera de nuestro país sobre el tema a tratar por medio de este estudio.

1.2.- Conceptos

El concepto de ingeniero geólogo y, en consecuencia, el de ingeniería geológica, comprenden un amplio abanico de definiciones condicionadas por el país de origen, por lo que de una forma más particular y exacta, González de Vallejo y otros (2002), definen la ingeniería geológica como la ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas de ingeniería y medioambiente producidos como consecuencia de la interacción de las

actividades humanas y el medio geológico y su fin es asegurar que los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, para evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos. La misma surge con el desarrollo de las grandes obras públicas y el crecimiento urbano. El desarrollo que alcanzaron otras ciencias afines, como la mecánica de suelo y la mecánica de roca, configuraron los principios de la moderna geotecnia, dentro de la cual la ingeniería geológica representa la visión más geológica a la solución de los problemas constructivos

A su vez, la International Association of Engineering Geology (IAEG, 1992) define la ingeniería geológica como la disciplina dedicada a la investigación, estudio y resolución de problemas de ingeniería y medioambiente que pueden resultar de la interacción entre la geología y los trabajos o actividades humanas, así como a la predicción y desarrollo de medidas de prevención o corrección de riesgos geológicos.

Olistostromas: son cuerpos sedimentarios de forma lenticular y aspecto caótico, producidos por deslizamientos submarinos de los sedimentos acumulados en un fondo con pendiente y producen la erosión de los sedimentos blandos, no consolidados, los cuales se incorporan a la masa sedimentaria.

Métodos morfométricos: Expresan de forma cuantitativa determinados aspectos del relieve (como la inclinación de la superficie), o de los procesos que actúan sobre la superficie (el grado de desmembramiento horizontal o vertical que causan los agentes erosivos, por ejemplo). Estos rangos morfológicos tienen una estrecha relación con la estructura de la corteza terrestre y con el régimen de la actividad neotectónica. Las características morfométricas constituyen un importante indicador de la actividad de la dinámica actual de los procesos (Seco, 2004).

1.3.- Orígenes de la geología y la ingeniería geológica

La Geología moderna tuvo sus inicios a finales de 1700 y comienzos de 1800, representado por la obra de Hutton, Lyell y Werner. El primer mapa geológico de Inglaterra fue elaborado por William Smith en 1813, que ahora se conoce como el padre de la geología británica (Sheppard, 1920 referido por el Legget y Karrow, 1983). Smith también fue el primer ingeniero geólogo. Con referencia a la ubicación y construcción de

canales en Inglaterra, escribió: *“El orden natural de los diversos estratos permitirá al ingeniero encontrar los materiales más adecuados, elegir su ubicación, evitar suelos resbaladizos o remediar el mal”*.

El primer concepto de ingeniería geológica es conocido desde el siglo XIX, y el término geotecnia apareció sólo en el siglo XX. El primero en introducir el término ingeniería geológica fue el inglés William Smith (1769-1839), que es considerado como el padre de la ingeniería geológica.

A finales de 1800 y principios de 1900, esta ciencia se estaba desarrollando como una disciplina reconocida en Europa y Estados Unidos. En 1881, el libro de texto británico de Penning titulado ('Engineering Geology') se publicó como el primer texto en la materia. En 1914, Ries y Watson publicaron la primera edición estadounidense de su texto titulado también ('Engineering Geology') y en 1925, Karl Terzaghi, un hábil ingeniero austriaco, publicó el primer texto sobre Mecánica de Suelos ('Erdbaumechnik' en alemán). Terzaghi es conocido como el padre de la Mecánica de Suelos, pero también tenía un gran interés en la geología. En 1929, Redlich, Kampe y Terzaghi, publicaron su texto “Ingeniería Geológica” (en alemán).

El reconocimiento por parte de los ingenieros civiles de la necesidad de información de ingeniería geológica en la mayoría de los proyectos de ingeniería civil, se desarrolló durante la primera mitad del siglo XX, la mayoría en relación con la construcción de la infraestructura de transporte y de los recursos hídricos. Durante esos años de formación, un puñado de profesores de geología se convirtieron en consultores externos en una serie de proyectos de alta visibilidad, sobre todo en la construcción de represas. Entre ellos estuvieron W.O. Crosby en el MIT y su hijo Irving B. Crosby, Charles P. Berkey en Columbia, Kirk Bryan en Harvard, Heinrich Ries en Cornell, Chester K. Wentworth en la Universidad de Washington, Bailey Willis en Stanford, Andrew Lawson y George Louderback en Cal Berkeley y Leslie Ransome y John Buwalda en Cal Tech (Kiersch, 1991; 2001). Reis escribió el texto más antiguo en Norteamérica sobre ingeniería geológica en 1914, poco después de los terribles problemas de estabilidad de taludes experimentados durante la excavación del Canal de Panamá, entre 1905 y 1914 (Mac Donald, 1915), lo que llevó a la primera

publicación de la Academia Nacional de Ciencias, la cual trata sobre amenazas geológicas.

El impacto de la geología del sitio en proyectos de obra civil alcanzó un crescendo con una serie de rupturas de represas, de gran importancia, que sacudieron a la comunidad de la ingeniería civil entre 1928 y 1938. La mayor parte de las cuales estaban recién terminadas o en construcción: La represa St. Francis cerca de Los Ángeles, CA en marzo de 1928; la represa Table Rock Cove cerca de Greenville, CN en mayo de 1928, la represa de Pleasant Valley cerca de Price, Utah, en mayo de 1928, la represa Lafayette cerca de Oakland, CA en septiembre de 1928; la represa de escollera (rellena de roca) Virgin Gorge cerca de St. George, UT en julio de 1929, la cancelación de la represa San Gabriel durante su construcción (la que habría sido la más grande del mundo), cerca de Azusa, CA, en noviembre de 1929; la represa Alexander en Kauai, Hawái en marzo de 1930; la represa “La Fruta” cerca de Corpus Christi, TX en noviembre de 1930, la represa Saluda (la segunda represa de terraplén más grande del mundo), cerca de Columbia, SC en febrero de 1930, la represa Castlewood cerca de Denver, CO en agosto de 1933, y la represa Belle Fourche cerca de Belle Fourche, SD en septiembre de 1933. Mientras estos sucesos ocurrían, los Profesores Bryan (1929), Berkey (1929), Terzaghi (1929) y Wentworth (1929) escribieron documentos modelo que definen el papel de los ingenieros geólogos en proyectos de obras civiles.

A pesar de estos retrocesos en la confianza del público, la Oficina de Reclamación de EE.UU. (US Bureau of Reclamation) y el Cuerpo de Ingenieros (Corps of Engineers) continuaron diseñando y construyendo estructuras cada vez más grandes. Entre 1933-1940 el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. construyó la estructura de terraplén (earthfill) más grande en el mundo cerca de Fort Peck, Montana en el río Missouri. A punto de concluir en septiembre de 1938, el recubrimiento aguas arriba de la presa se licuó, extendiendo 5.2 millones de yardas cúbicas de material en el reservorio. Este proyecto involucró una agencia de ingeniería actualizada en el estado del arte y un prestigioso panel de consultores. Las rupturas de represas en la década 1928-1938 fueron atribuidas a problemas de cimentación que incluían asentamientos, estabilidad de taludes y tubificación hidráulica. Estas experiencias señalaron la necesidad de caracterizar adecuadamente las condiciones de cimentación antes del diseño, la

cartografía geológica de las condiciones expuestas en las excavaciones durante la construcción y la atención astuta ante cualquier cambio de las condiciones detectadas durante la ejecución de las obras. Fue una lección que habría de ser aprendida repetidamente, por las sucesivas generaciones de ingenieros.

El evento de 1928 elevaría el nivel de conocimiento de la geología en la ingeniería en todo el mundo. En la falla de la represa St. Francis en California, 426 personas perdieron la vida. Ransome describió en 1928 en un documento sobre Geología Económica:

(“ Por lo que se puede averiguar, no se hizo evaluación geológica del sitio de la presa antes de comenzar la construcción”. “La simple lección del desastre es que los ingenieros, no importa qué tan extensa sea su experiencia en la construcción de las represas” ... “no pueden prescindir de la seguridad del conocimiento del carácter y la estructura de las rocas adyacentes, que sólo un experto y detallado reconocimiento geológico puede proporcionar”. (Ransome, 1928).

La ingeniería geológica se separó de la geología como un campo independiente, inspirada por la "explosión" en la industria de la construcción en el siglo XIX: los ferrocarriles, industria del acero, minas, fábricas, carreteras, puentes, túneles, presas, líneas eléctricas, etc. Los ingenieros de construcción desde el siglo XVIII sintieron la necesidad de una descripción teórica de la cooperación de la cimentación y el terreno. Hay grandes méritos en este campo debidos a: Coulomb (1773), Rankine (1857), Mohr (1882), Prandtl (1920), y muchos otros.

En el desarrollo histórico, la esencia de la ingeniería geológica (en el sentido original) se basa en la descripción del ambiente geológico en términos de las necesidades de la Ingeniería Civil y la Geotécnica, a partir de datos del entorno geológico en el ámbito de la ingeniería civil.

1.4.- Análisis sobre el desarrollo de las investigaciones ingenieras geológicas y geotécnicas.

Durante todo este tiempo, un creciente número de científicos de diversas nacionalidades han dedicado sus vidas y carreras a profundizar y perfeccionar los

diferentes métodos de investigación ingeniero geológica y de evaluación geotécnica de las parcelas constructivas, integrando y haciendo cada vez mayor el uso de los conocimientos teóricos y prácticos de la mecánica de suelos y la mecánica de rocas, para la solución de los problemas de la ingeniería, a la hora de ubicar una obra o revelar los fenómenos geológicos que puedan afectar o afectan una obra entre otras cosas.

Varios y destacados títulos de libros han surgido tras estos esfuerzos, dentro de los cuales se pueden mencionar entre tantos otros a "Ingeniería Geológica" de Luis I González de Vallejo y otros (2002), "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica" de Braja M. Dase "Ingeniería de Cimentaciones" de Manuel Delgado Vargas. Desde hace ya varios años se ha convertido en práctica común, la realización de investigaciones ingenieras geológicas para la evaluación geotécnica de los terrenos donde se planifica realizar la edificación de grandes y pequeños proyectos, estando por lo regular convencidas de su necesidad e importancia, todas las entidades vinculadas al proceso constructivo de las mismas.

Mediante el proceso investigativo se analizaron una serie de investigaciones realizadas por autores extranjeros, los mismos sirvieron de guía y de medida en cuanto al umbral del conocimiento para la realización del proyecto.

- Investigaciones internacionales buscadas en internet.

- 1.- *"Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica". Suyo Rivera, 2016).*
- 2.- *"Evaluación ingeniero geológica de los deslizamientos de Yauya y Tambo Real". Luque y Delgado, 2018*
- 3.- *"Evaluación ingeniero geológica de los deslizamientos de Chinchubamba". Fabricio Delgado y Jaqueline Chagua 2018*
- 4.- *"Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala". Polanco Perdomo, 2012.*
- 5.- *"Estudio de impacto ambiental del proyecto de instalación del Parque Eólico Campón (TAXUS, 2018).*

6.- *“Estudio geotécnico del terreno para la construcción de un parque eólico formado por 132 aerogeneradores denominado, (2013).*

7.- *“Estudio geotécnico para el proyecto de una Planta Solar Fotovoltaica en Aguascalientes, México”. (GEOINTEC, 2014).*

8.- *“Especificaciones técnicas para la solicitud de estudio geólogo-geotécnico en plantas fotovoltaico”. (Puell Marín y López Chinarro, 2016)*

9.- *“Estudios del terreno para plantas fotovoltaicas”.*

Procedimientos, análisis de emplazamiento, viabilidad de cimentación por hincado, investigación geólogo-geotécnica. IPMA empresa española e internacional de servicios de asistencia técnica en el campo de la ingeniería, hidrogeología, consultoría ambiental y geotecnia / 2014, publicado en Dossier-2014-Plantas-Solares.pdf.

10.- *“Parque Eólico Cerro de Hula, Tegucigalpa, República de Honduras”.*

El Parque Eólico Cerro de Hula, es el primero instalado dentro del territorio hondureño. Fue ideado primeramente como una futura solución a la producción de electricidad en el país, dicho proyecto comenzó con una producción de 67MW de electricidad en el mes de octubre del 2011, este proyecto (Costo: US\$290 millones de dólares), ahora su producción es de 102 megavatios de capacidad eléctrica y ha finalizado en diciembre del 2011.

11.- *“Parque Eólico Tandil, Buenos Aires, Argentina”.*

En funcionamiento hace más de 20 años, con dos turbinas eólicas marca NEG MICON, con una potencia nominal de 800kW. Cuenta con 2 máquinas de 400KW cada una. El parque está conectado a la red y así contribuye a la generación de energía. Les suministra energía a 2046 usuarios rurales de la zona.

En sentido general las investigaciones analizadas procedentes de otros países no refieren a varios informes divididos según las etapas de investigación, si no que se emite un solo informe que trata toda la investigación en un conjunto.

Paralelamente, en un esfuerzo por sistematizar la realización de estudios de esta naturaleza y por instituir legalmente la obligatoriedad de su ejecución, en varios países o en organizaciones internacionales donde algunos de estos se asocian, se han confeccionado e implementado varias normativas técnicas que regulan y establecen los criterios a seguir y el volumen mínimo de trabajos a ejecutar para la realización de una investigación ingeniera geológica dada, en función de la etapa de proyecto en la cual se encuentra la obra para la cual se realiza, su características estructurales y dimensiones, además del grado de complejidad geológica del terreno donde la misma se decide ubicar.

En Cuba la Oficina Nacional de Normalización, organismo nacional de normalización de la república, tiene implantada desde 1984, una serie de normas técnicas de obligatorio cumplimiento, que regulan y establecen los métodos de ejecución de las investigaciones ingenieras geológicas en función de los tipos característicos de obras ingenieras que se proyectan ejecutar. Estos documentos técnicos usualmente se hayan elaborados en conjunto por la Comisión de Calidad del Frente de Proyectos, el Comité Técnico de Normalización de Geotecnia y el Comité Técnico de Normalización de Construcción de Edificaciones, los cuales reúnen expertos de todas las entidades e instituciones vinculadas con el proceso investigativo aplicado a las construcciones.

Tabla 1.1. Norma técnica actualizada, relacionada con los métodos de investigaciones ingeniero geológica.

No	Código	Título de la norma
1	NC 722:2009	Edificaciones y obras civiles. Investigaciones ingenieras aplicadas. Requisitos de alcance y contenido de la documentación técnica.

Seguidamente se citan algunos de los trabajos analizados en Cuba, los cuales contienen una relación de una forma u otra con el proyecto y además evidencian el extenso volumen de escritos técnicos y requerimientos establecidos en la bibliografía existente, que orientan y regulan la realización de trabajos de esta naturaleza.

- *Proyectos nacionales recopilados en los archivos de las empresas en la etapa investigativa del proyecto.*



- 1.- *“Estudio de conveniencia constructiva para la construcción del Parque Eólico Maisí a escala 1:10000”. Informe de la agencia ASEMA de la empresa GEOCUBA Oriente Norte Holguín, 2015.*
- 3.- *“Estudio Ingeniero Geológico Regional Básico a escala 1:10000 del Parque Eólico Gibara III”. Informe de la agencia ASEMA de la empresa GEOCUBA Oriente Norte Holguín, 2016.*
- 4.- *“Estudio de conveniencia constructiva para la construcción del Parque Eólico Puerto de Manatí a escala 1:10000”. Informe de la agencia ASEMA de la empresa GEOCUBA Oriente Norte Holguín, 2017.*
- 5.- *“Evaluación de cierres para la construcción de la presa en la cuenca del Río Agabama”. Informe de la agencia ASEMA de la empresa GEOCUBA Oriente Norte Holguín en el 2016.*
- 6.- *“Evaluación geotécnica del empleo de la Formación Jaimanitas en Cayo Guillermo, como terreno base de cimentaciones”. En este estudio el Ing. Rodríguez González, (2016) utilizó la metodología de Rodríguez Prado, reflejada en la norma del 81 y otros métodos geotécnicos unido a un mayor número de perforaciones, lo cual reforzaría los resultados de la investigación.*
- 7.- *“Evaluación ingeniero – geológica de la ciudad de Caimanera”. Realizado por la tesis de grado, por el autor Bandera Cuñat, Irayaselis, 2015. En este estudio se utilizó la metodología de Rodríguez Prado, reflejada en la norma del 81, analizando las características ingeniero geológicas y los tectónicas del territorio, lo cual reforzaría los resultados de la investigación.*
- 8.- *“Estudio de la viabilidad de la construcción de un Parque Eólico, Herradura I. Las Tunas”. Realizado por la tesis de grado, por el autor Cedeño Texido, Danai, 2015. En este estudio se utilizó la metodología de Rodríguez Prado, reflejada en la norma del 84 y otros métodos geotécnicos unido a un mayor número de perforaciones, lo cual reforzaría los resultados de la investigación.*
- 9.- *“Procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”. Díaz Pérez 2013.*

10.- *“Campismo Silla de Gibara”. Investigación ingeniero-geológica para proyecto técnica-ejecutivo. (Ing. Romero P. 1987).*

11.- *“Informe Ingeniero geológico para la construcción de la policlínica Fray Benito”. (Ing. Romero P. 2005).*

12.- *“Estudio de canteras para el Vial Fray Benito – Los Bajos”. Establecimiento ingeniería geológica, (Ing. Ramón Romero P. 2002).*

13.- *“Informe Ingeniero geológico para la construcción de la Sala de rehabilitación de Fray Benito”. (Ing. Romero P. 2004).*

1.5.- Metodología propuesta por diversos autores

Durante la revisión bibliográfica se revisaron diferentes metodologías y procedimientos utilizados por otros autores que trabajaron el tema. Teniendo en cuenta la información con la que se cuenta se planteada utilizar la de Rodríguez Prado (1981) y la que plantea la Norma Cubana NC 51 -24-1984 para la confección de mapas ingeniero geológicos, de la cual se derivara el mapa final de conveniencia de ubicación de la obra.

- Sánchez Torres (1978) propone que:

Para efectuar la regionalización ingeniero geológica el área se debe dividir en grupos y subgrupos ingeniero geológicas, atendiendo a las semejanzas en las propiedades físicas mecánicas, condiciones hidrogeológicas, condiciones geomorfológicas, tipos de fenómenos físico geológicos existentes y magnitud del desarrollo de estos. Su área de estudio, en este caso Cienfuegos, quedó dividida en cuatro grupos ingeniero geológico, dos de los cuales se dividieron en tres subgrupos.

- Rodríguez Prado (1981) propone que:

Se divida el área en zonas ingeniero geológicas donde cada zona presente la misma litología, en dependencia de las propiedades físicas de los suelos (LI, Lp, humedad natural, índice de liquidez, % de finos etc.) tomadas por zonas; parámetros y propiedades mecánicas (cohesión, ángulo de fricción interna, módulo de deformación etc.); división ingeniero geológica para el relieve, condiciones geomorfológicas y nivel freático de las aguas.

CAPÍTULO II.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

2.1.- Introducción al capítulo

En este capítulo se contemplan las características físico- geográficas, geológicas e hidrogeológicas de la región de estudio, siendo estas un primer e importante paso para el análisis de una evaluación ingeniero geológica; lo que permite definir preliminarmente los métodos de investigación a realizar.

Los temas analizados y tomados en cuenta en este capítulo serían: la descripción de la ubicación geográfica y sus características administrativas, junto con sus vías de acceso. Se analizará el desarrollo del relieve, el clima y la temperatura en el área. Se realizó un análisis profundo de la geología dentro de esta las características tectónicas y estratigráficas. Se le dio un importante análisis en el tema de sismicidad, muy importante en estos tiempos, debido a su incremento en el área del caribe, y por último se interpretó hidrogeológica e hidrogeológicamente la región también de mucha importancia para los estudios ingeniero geológicos.

2.2.- Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte noroccidental de la provincia de Holguín, abarcando un pequeño sector al noroeste del municipio Rafael Freyre. Limita al norte con el océano Atlántico, al oeste con el poblado Los Bajos, al este con el caserío Carenero, al sur limita con el caserío Ojo de Agua y al suroeste con el caserío Jagüeyes (*Figura 2.1*). Siendo un área relativamente llana hacia la costa y que se eleva en dirección a la parte sur del área, encontrándose algunas elevaciones colinosas importantes, las cuales no sobrepasan los 70m sobre el nivel medio del mar, enmarcándose en las coordenadas siguientes:

Tabla 2.1. Coordenadas del área de estudio.

Nº	X	Y	Nº	X	Y
1	579194,144	272024,692	6	583366,024	270326,979
2	579676,443	272078,326	7	583346,025	270168,816
3	580475,332	271530,418	8	581336,141	269229,316
4	581513,899	270909,286	9	579990,331	269552,537
5	583077,7	270555,585	10	578855,574	270861,254

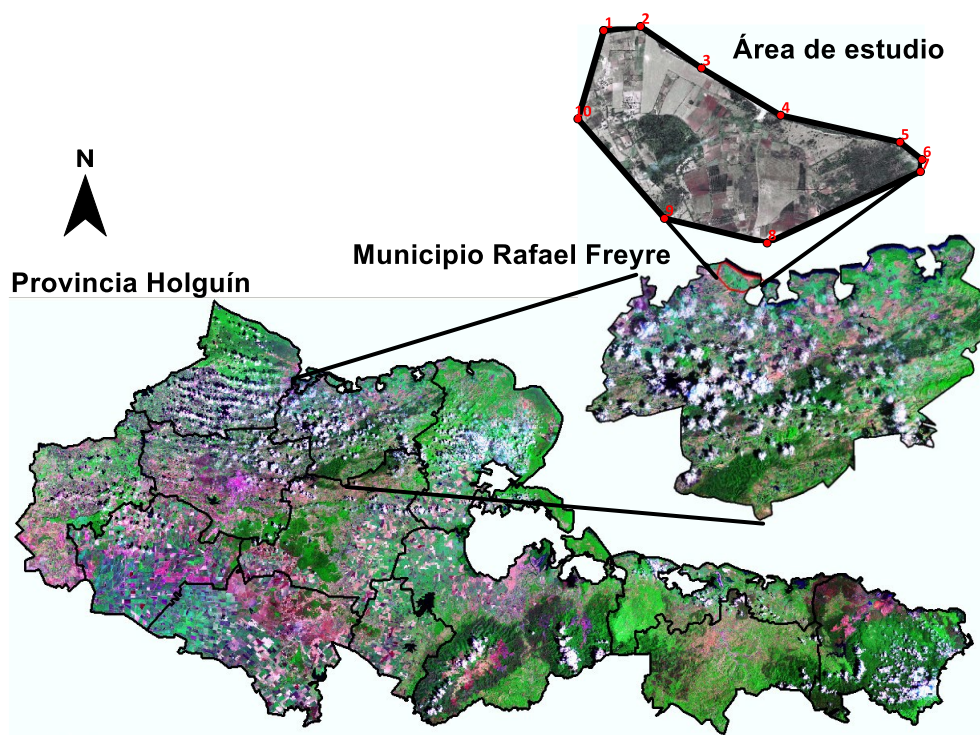


Figura 2.1. Ubicación geográfica del área de estudio. (Imágenes satelitales SRTM y Landsat-Mosaic).

2.3.- Población, redes de comunicaciones y servicios

De manera administrativo, político y económico, la zona ocupa una pequeña porción, al noroeste del municipio Rafael Freyre de la provincia Holguín, el poblado más importante siendo este la cabecera municipal, antiguo central Santa Lucía. Este municipio posee una extensión superficial de 618,46 km², con una población de 53 504 habitantes para una densidad poblacional de 86,5 hab/km² (ONEI, 2016). Aproximadamente el 40% de la población es urbana y se distribuye en varios de los principales asentamientos

poblacionales como son Santa Lucía, Fray Benito, Melones, Potrerillo, Bariay, La Ceiba y Melilla. El litoral costero del municipio, ha permitido un amplio desarrollo turístico con reconocidos centros de turismo internacional como Pesquero, Bahía Naranjo, Don Lino y Cayo Bariay; los cuales aprovechan las excelentes condiciones geográficas de las bahías de Vita, Jururú y Naranjo, así como las playas Carenero, Cayo Bariay, Playa Blanca, Don Lino, Pesquero, Yuraguanal, Esmeralda y Caletica. Además del turismo otras fuentes económicas como la granja de ostiones, la producción agrícola, la pesca, el puerto de Vita entre otras. La vía más importante de comunicación lo constituye la carretera que une, a Holguín con Guardalavaca y Banes, y la carretera que une a Holguín con Gibara, así como accesos interiores de terraplenes.

2.4.- Relieve

El relieve de la región es bastante irregular donde se aprecia una mezcla de llanuras con elevaciones bajas que no sobrepasan los 450 metros sobre el nivel del mar. Este está enclavado en las alturas del grupo *Maniabón*, destacándose con 406 metros de altura el *Pico de Babiney* y el *Cerro Galano* que se extiende por todo el sur, entrando por el oeste del territorio. Hacia el oeste se encuentra, la *Silla de Gibara*. Hacia el sur donde se encuentra la mayor cantidad de elevaciones se localiza la *Loma de la Vigía*, la Sierra de Cupey y el Cerro los Portales con la presencia de enormes rocas, que le dan formas de mogotes.

2.4.1.- Relieve local e hidrografía

El relieve de la zona es llano y costero en toda la franja norte con cotas muy bajas que no superan los 10m, incrementándose hacia el suroeste, donde aparecen algunas elevaciones, alcanzando no más de 70m sobre el nivel del mar y va bajando hacia el este en forma de plano ligeramente inclinado con superficie más o menos plana con desarrollo del carso superficial.

La zona de estudio se encuentra en actual proceso de emersión una segunda terraza marina que en la actualidad aflora en partes durante la bajamar, mientras que la primera más antigua forma una llanura cársica, bastante plana, solamente afectada, principalmente en la parte este, por el gran desarrollo que tiene el carso superficial, con

abundantes dientes de perro, embudos de disolución, cavernas con desarrollo horizontal y vertical.

2.5.- Clima y Vegetación

- Temperatura

La provincia Holguín a partir de los regímenes medios de temperatura y precipitación cuenta con tres zonas climáticas: costera (abarca la zona costera de los municipios de Gibara, Rafael Freyre, Banes, Antillas, Mayarí, Frank País y Moa), montañosa (zona montañosa de los municipios del E de la provincia que pertenecen al macizo Nipe-Sagua-Baracoa) e interior a la que pertenecen el resto de los municipios. (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo, 2016)

Zona Costera: La temperatura media del aire oscila entre 24-28°C y los acumulados anuales de precipitación se encuentran entre 800-1200mm. En esta zona se alcanzan las mayores velocidades del viento para la provincia con valores que superan los 22.8km/h durante el período noviembre- abril, la dirección predominante durante todo el año del ENE - E (más del 60% de los casos), mientras la frecuencia de calmas no excede el 15%. (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo, 2016)

Según la clasificación de Lang, la región de estudio presenta un clima húmedo de sabana, con verano relativamente húmedo, La temperatura media anual del aire que va hacia la costa es de 26°C, siendo en verano mayor de 28°C en esta costa. En el invierno la temperatura media es de 23, 5°C. Los valores máximos que se reportan hacia la costa son de 34° -36°C y los valores mínimos son de 10° -12°C. (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo, 2016)

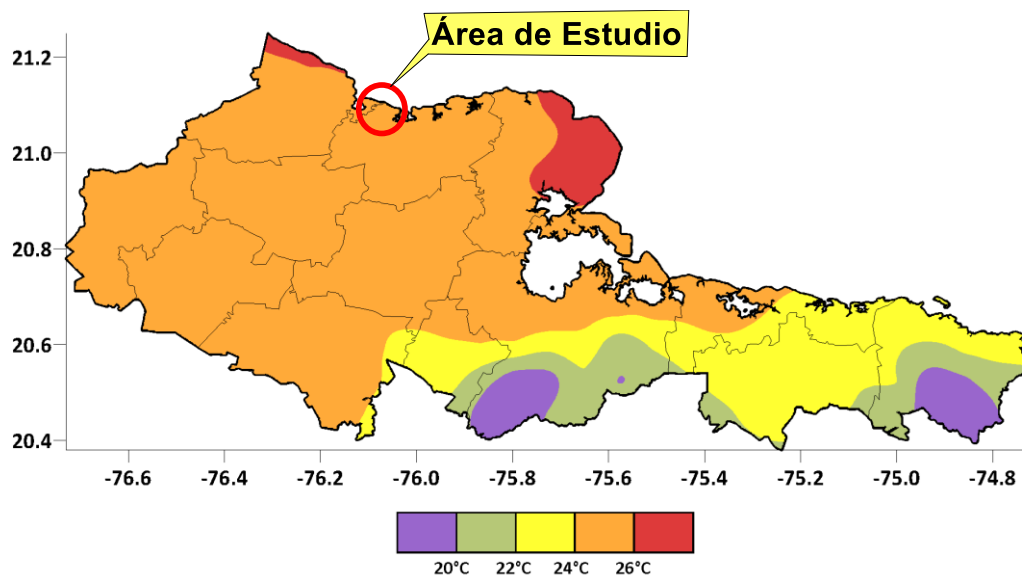


Figura 2.2. Distribución anual de la temperatura media del aire en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010.

En correspondencia con la marcha anual de la radiación solar global, la temperatura del aire en la provincia alcanza sus máximos anuales en el trimestre julio- septiembre, mientras que los mínimos se registran en el período diciembre- febrero. Por su parte, la distribución espacial de los valores medios mensuales y anuales posee una marcada influencia del relieve y de la distancia a la costa.

La temperatura media anual de la provincia, según la Norma Climática 1981-2010, varía desde 24°C en el interior del territorio hasta 28°C en algunas porciones de la zona costera; en las zonas montañosas y hacia el E las temperaturas alcanzan magnitudes entre 18-24°C. Los extremos absolutos de temperatura máxima y mínima fueron registrados en las estaciones meteorológicas de Velasco y Pedagógico- Holguín, y Pinares de Mayarí, los días 26 de abril de 2015 (38.7°C) y 19 de febrero de 2009 (5.8°C) respectivamente. (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo, 2016)

- Precipitaciones.

Por otra parte, los registros anuales de precipitación oscilan entre una temporada lluviosa y otra menos lluviosa, esta fluctuación depende de la intensificación y debilitamiento de los vientos alisios. (Pérez Rivas y Hidalgo Mayo, 2016) De manera general,

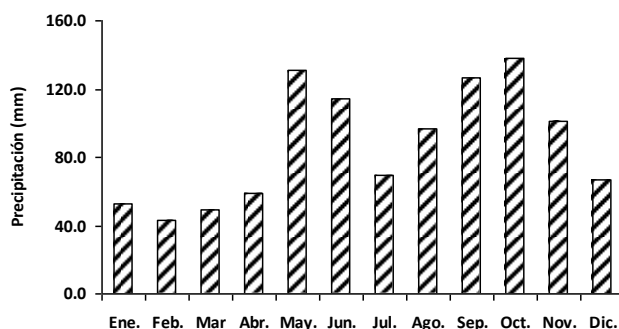


Figura 2.3. Marcha anual de los acumulados de precipitación para la provincia Holguín según la Norma 1981-2010.

La lámina promedio anual referida al período 1981 - 2010 es de 1048.6mm, por su parte la marcha anual presenta los mayores acumulados durante el período lluvioso (mayo-octubre con el 64.5% del total anual), en tanto los bimestres mayo - junio y septiembre-octubre ocurren los mayores acumulados de precipitación con el 23.4% y el 25.2% del total anual, mientras que en julio- agosto se destaca por poseer los acumulados más bajos, provocado por la sequía intraestival que afecta a la región en los estos meses (Cutié y Lapinel 2013).

El período poco lluvioso (noviembre-abril) se caracteriza por presentar los acumulados más bajos de precipitación, sin embargo, el mes de noviembre se destaca con valores similares o por encima de algunos meses del período lluvioso (julio y agosto). A partir del criterio de inicio y fin del período lluvioso (Lecha, Paz y Lapinel, 1994).

Los datos sobre las precipitaciones indican valores medios de 800 - 1000mm. Se destacan valores de 600–800 mm en el período lluvioso y de 400 - 600 mm en el período seco. El promedio anual de días con lluvias mayores a 1 mm es de 40-80 días. Estos resultados son similares a los publicados por Lecha, Lapinel y Paz (1994), Cutié y Lapinel (2013).

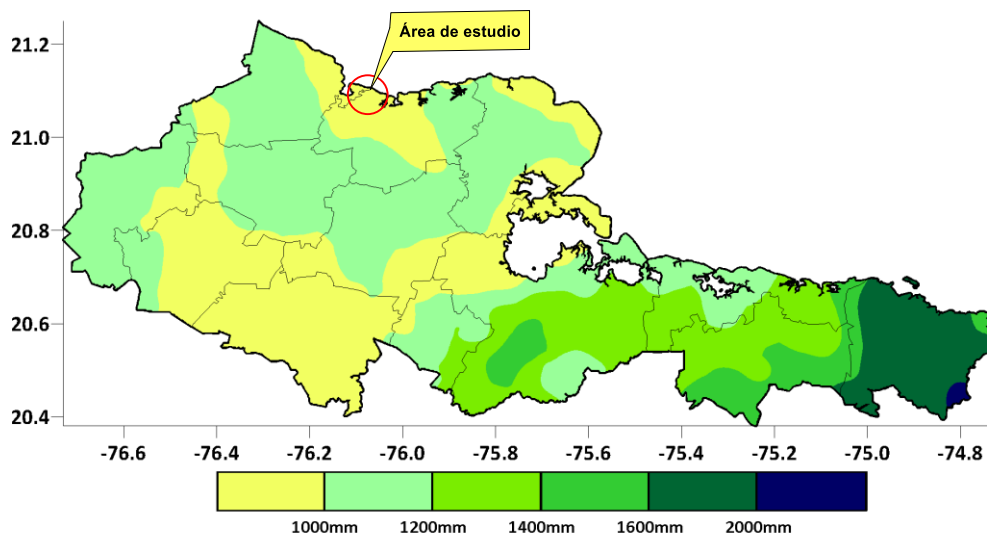


Figura 2.4. Distribución anual de los acumulados de precipitación en la provincia Holguín según la norma climática 1981-2010.

- **Vientos.**

Los vientos predominantes son los alisios del noreste y este en enero, y del este y sureste en julio con velocidades máximas promedio de 13,8 Km/h.

- **Humedad Relativa.**

La humedad relativa media anual del aire es de alrededor del 90% en las primeras horas y del 60% hacia el mediodía. La evaporación media anual es del orden de los 2 200mm.

- **Insolación.**

Los meses de máxima ocurrencia de días despejados son marzo y abril. La insolación anual es mayor de 2800 horas de luz. La radiación media anual en el área es de 17,0 MJ/m². La presión atmosférica promedio anual es de 1017 hPa, con valores algo menores a mediados del año.

Desde el punto de vista climático todas las zonas son favorables, el conjunto de elementos del clima ofrece pocas limitaciones a la actividad al aire libre del hombre.

- **Vegetación.**

Es típico encontrar en el área matorrales costeros entre los que se encuentran uvas caletas, uvillas de costa, mangles rojos, guao de costa entre otros.

En las formaciones vegetales naturales, unas se desarrollan generalmente sobre suelos esqueléticos y carso desnudo donde predominan las formas espinosas micrófilas, entre las que se destacan el Arabillo (*Erithoxylonbrevipes*) entre otras y el otro con presencia de flora que se caracteriza con variedades de especies arbustivas y arbóreas con una representación de plantas endémicas locales como: *Gochnatiaelliptica*, *G. maisiana*, *Guidoscalusmatossi*, *Tabebuialeonis*, *Dunantaarida*, *Castellavictorinii*, *Galactiamaisiana*, *Harpalycemaisiana*, *Acacia scifriciana*, entre otros, siendo estas las más abundantes.

2.6.- Características geológicas de la región

La región de estudio se encuentra ubicada en la unidad tectónico estructural del frente de colisión, la cual está representada con mantos de serpentinitas con intercalaciones tectónicas de mantos de vulcanitas del cretácico, olistostromas del Maestrichtiano y secuencias terrígenas muy tectonizadas de la formación la jíquima. Yaciendo discordantemente sobre la Formación Gibara se localizan las brechas de calizas de la Formación Embarcadero que son sobreyacidas a su vez discordantemente por la formación terrígena olitostromática Rancho Bravo, todo este conjunto es representado de una cuenca de antepaís inmediata al paleomargen que fue cubierta tectónicamente por el complejo de obducción desde el Maestrichtiano hasta el Eoceno Superior. La parte alta del corte está representada por formaciones carbonatadas del Mioceno hasta el Cuaternario con presencia de contactos discordantes entre las mismas, estando presente las formaciones Júcaro, Jaimanitas y sedimentos marinos del Mioceno al Holoceno, representativos de la plataforma Cuba-Bahamas. La unidad tectónica estratigráfica, (UTE), del frente de colisión se caracteriza por presentar un grado de deformación tectónica muy elevado que se expresa por la presencia de melanges (mezcla tectónica), zonas de agrietamiento intensa, con predominio de grietas cerradas. (Según Quintas información oral, 2019).

2.7.- Estratigrafía

En las secuencias de la zona de colisión se localizan formaciones relacionadas con el arco de isla volcánicas del cretácico, y secuencias terrígenas en formaciones originadas en cuencas a cuestras (Piggy Back Basin) desarrolladas en el frente de colisión así como las acumuladas en las cuencas profundas del frente de colisión (fore deep basin)

en donde se mezclaron olistostromas y secuencias terrígenas flyschoides una y otra vez en la medida que avanzaba el frente colisión iba siendo desplazada la cuenca de fore Deep hacia el norte, en dirección norte hacia Bahamas; en la medida que avanzaron los mantos se formaron las cuencas de fore land (ante país) en donde se depositaron sedimentos carbonatados que constituye la formación Embarcadero en dirección a Bahamas que culmina con la presencia de olistostromas y areniscas de la Formación Rancho Bravo, mientras que hacia la porción sur de las cuencas de fore land se pudieron acumular secuencias olistostrómicas vulcanomicticas posiblemente de la parte basal de la Formación Haticos.

- ***Rocas de paleocorteza oceánica.***

Las rocas de la paleocorteza oceánica del Cretácico Paleógeno están representadas por serpentinitas, rocas ultrabásicas serpentinizadas y gabros que actualmente se localizan formando mantos tectónicos o están incluidos en olistostromas que generalmente se encuentran muy tectonizados.

- ***Arco Volcánico del Cretácico.***

Formación Iberia (Ib). – La Formación Iberia es de origen volcánico y vulcanicó-sedimentaria está constituida por los siguientes tipos litológicos: lavas andesíticas, andesito-basálticas; diques diabásicos, tobas y aglomerados de composición básica y media, lava-brechas andesito-basálticas y en menor proporción: conglomerados, areniscas y calizas tufíticas. Estas rocas están fuertemente tectonizadas y no tienen perfiles continuos. La mayoría de sus contactos son tectónicos.

Edad: Cretácico inferior (Albiano) - Cretácico superior (Turoniano).

- ***Cuencas de antepaís (fore land basin)***

Formación Rancho Bravo (Rb). Olistostroma: *Litología:* Secuencia olistostrómica constituida por conglomerados y brechas polimícticas, areniscas y aleurolitas polimícticas con cemento carbonatado con intercalaciones de margas y arcillas. Los clastos de los conglomerados y de las brechas están constituidos por serpentinitas, gabros, diabasas, basaltos, andesitas y sus tobas, margas, calizas, calizas silicificadas, silicitas y dolomitas. El corte inferior tiene un carácter olistostrómico, representado por los conglomerados y las brechas y el superior molásico, compuesto por las areniscas y

las aleurolitas. La composición de los fragmentos varía en dependencia de la región donde se desarrolla la formación.

Edad: Eoceno Medio parte alta.

- **Cobertura platafórmica**

En la zona está representada por las formaciones Júcaro, Jaimanitas y depósitos palustres y marinos.

Fm. Júcaro jcr ($N_1^3-N_2^1$): Unidad principal. Grupo Nipe. *Litología.* Calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, limolitas, en ocasiones con gravas polimícticas, arcillas yesíferas, localmente aparecen dolomitas. Contiene horizontes fosilíferos. Puede existir un conglomerado basal. Colores amarillo y crema, que por alteración pasan a rojo y violáceo.

Edad. Mioceno Superior-Plioceno Inferior.

Fm. Jaimanitas js (Q_1^3): *Litología.* Calizas biotriticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, con contenido principalmente de conchas bien preservadas, corales de especies actuales y, ocasionalmente, biohermos. Los bolsones cársicos se encuentran en ocasiones rellenos por una fina mezcla carbonático-arcillosa-ferruginosa, de color rojo ladrillo. Pasan a biocalcarenitas, de granulometría y estratificación variables o masivas. En mayor o menor cantidad, contienen fragmentos de sedimentos terrígenos, que incluyen calizas preexistentes.

Es frecuente encontrar variaciones litofaciales y biofaciales. En general, la cementación es variable y en su superficie presenta un casquete recrystalizado de evaporita y caliche combinados, de 1 m a 2 m de espesor, por debajo del cual, en ocasiones, la roca aparece desintegrada, convertida en un material terroso. La coloración predominante es blancuzca, rosácea o amarillenta.

Edad. Pleistoceno Superior, parte baja.

Los depósitos de palustres (p-Qiv), se extienden alrededor de las bahías donde predominan los manglares y zonas pantanosas. Se componen de arcillas con turba, aleurolitas arcillosas y arenosas.

Los depósitos marinos costeros (m-Qiv), están constituidos por arenas calcáreas sueltas y biocalcarenitas que se desarrollan en todas las playas de la zona costera.

2.8.- Tectónica

Las características tectónicas regionales del área de estudio se relacionan con el bloque Maniabón donde se presentan, estructuras tanto plicativa y disyuntiva muy compleja, en la mayor parte de su aérea excepto en las partes costeras al norte y la parte sur, mientras que hacia el este el bloque de maniabón contacta mediante una falla con el bloque las tunas, en donde aflora vulcanitas de la formación buena ventura y más hacia el norte calizas de la formación Vásquez y de otras formaciones de calizas del cuaternario.

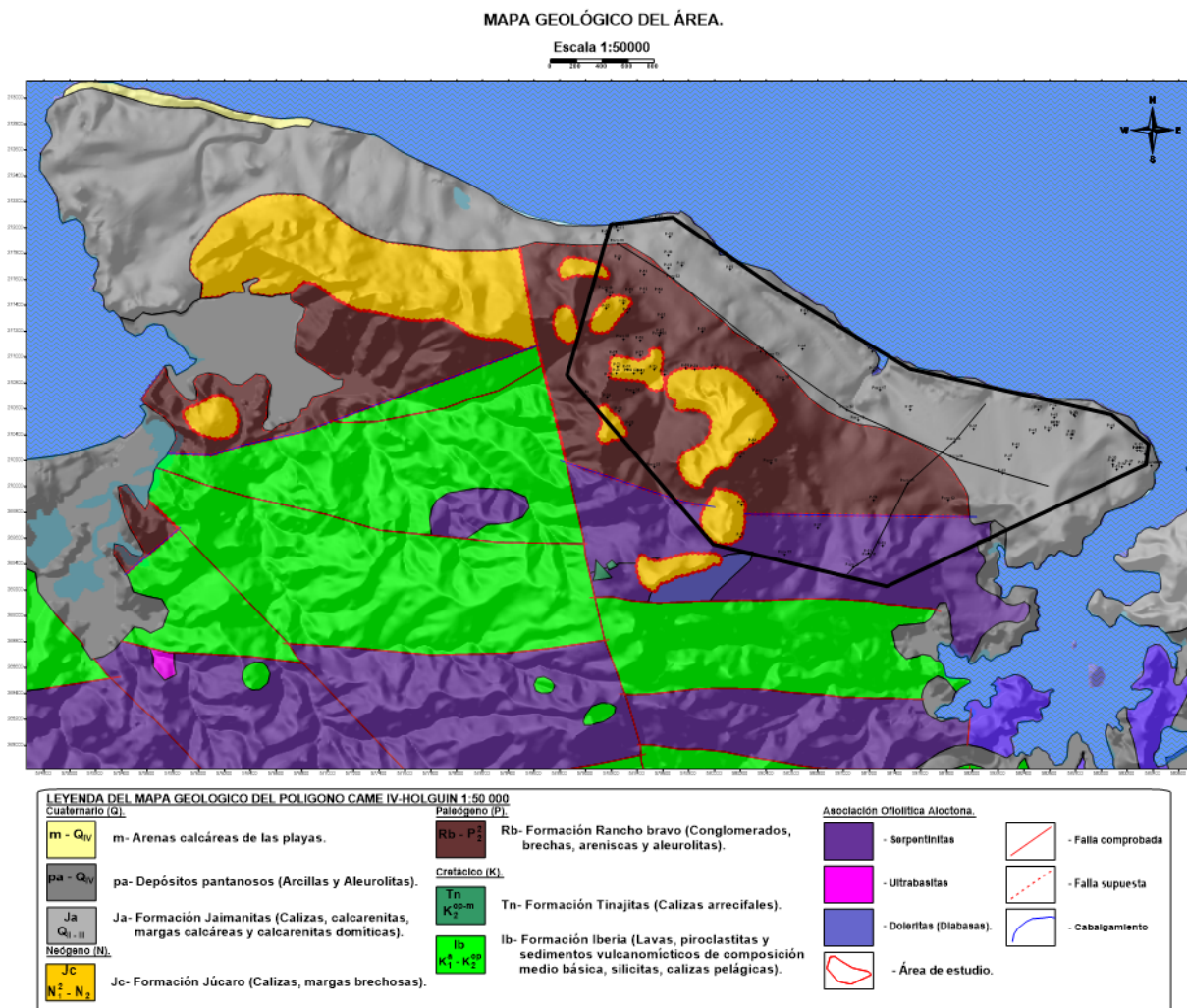


Figura 2.5. Esquema del mapa geológico de la región de estudio. (Anexo 03)

2.9.- Geomorfología y fenómenos geológicos

Según la regionalización geomorfológica del Nuevo Atlas Nacional de Cuba, el área de estudio pertenece al grupo de regiones físico - geográficas de la Llanura de Camagüey al norte y las alturas del Grupo de Maniabón al sur. El relieve en esta zona es suave, afectado por pequeñas elevaciones colinosas que no sobrepasan los 120 m de altura.

En el modelado actual del relieve existe un equilibrio entre los procesos exogenéticos sobre los endogenéticos, estos procesos dieron lugar a un sistema de morfoestructuras bien desarrolladas, donde se pueden encontrar, relieve cársico, formación de solapas costeras y el desarrollo incipiente de terrazas marinas, que indica una exodinámica de levantamiento neotectónico.

- Procesos cársicos

En los territorios constituidos por rocas solubles a las aguas aciduladas de las lluvias, el modelado del relieve se caracteriza por un predominio de los procesos de disolución química de dichas rocas, sobre cualquier otro tipo de acción erosiva mecánica Seco (2004).

La acción química del agua sobre las rocas, provoca la penetración y la circulación en el interior del macizo cársico, por lo que también la hidrología (superficial y subterránea) adquiere peculiaridades típicas de las áreas cársicas. De las rocas carsificables, las calizas son las que predominan, este proceso se manifiesta en toda la zona. Son varios los factores naturales que influyen en la carsificación del área, los que pueden subdividirse en dos grupos:

1. Factores geológicos: litología, estructura, extensión y espesor de las rocas solubles.
2. Factores físico-geográficos: climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, edafológicos y biogeográficos.

El carso, como fenómeno físico-geológico está generalizado en la zona, llegando a ser un elemento muy significativo, principalmente hacia el noreste. El superficial se manifiesta en forma de campos de lapéiz o dientes de perro acanaladuras, oquedades de disolución y embudos verticales, así como subterráneas formando cavernas.

	
<i>Figura 2.6. Desarrollo del carso superficial.</i>	<i>Figura 2.7. Formación de cavernas.</i>

2.10.- Sismicidad

La zona sismogénica de Cuba y el Caribe Noroccidental, comprende el límite entre la placa de Norteamérica, a la que pertenece el Archipiélago Cubano y la placa del Caribe, ambas se mueven una con respecto a la otra, con velocidad de 18 mm/año como promedio, donde ocurren sismos en toda su longitud. La región oriental es considerada la de mayor peligrosidad sísmica en el país, debido a la frecuente ocurrencia de sismos con altos valores de magnitud e intensidad, se conocen 22 sismos fuertes con epicentros en el archipiélago cubano que se han producido en las zonas sismogénicas, hasta el año 2010 (según Arango Áreas, 2014), los que de una forma u otra inciden sobre el sector de interés.

En la parte norte de la provincia de Holguín, se encuentra en la micro placa cubana más al norte de la falla que divide al país, de la microplaca oriental, quedando fuera, aunque próxima de la zona de mayor sismicidad ubicada al sur de Cuba Oriental, lo que no descarta su ocurrencia.



Figura 2.8. Microplaca del Caribe oriental de Cuba. (Obtenido página web CENAI).

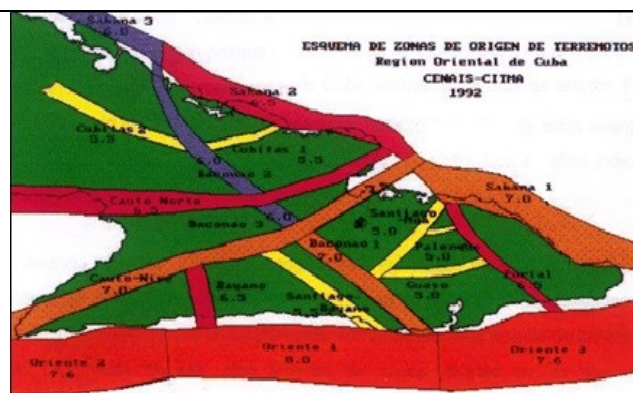


Figura 2.9. Zonas sismogénicas de la región. (Obtenido página web CENAI).

Según el mapa de zonas sísmicas en el país el área se encuentra en la ZONA 1A- de peligro sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo-resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. Los valores de la aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo A serán de 0,075g.

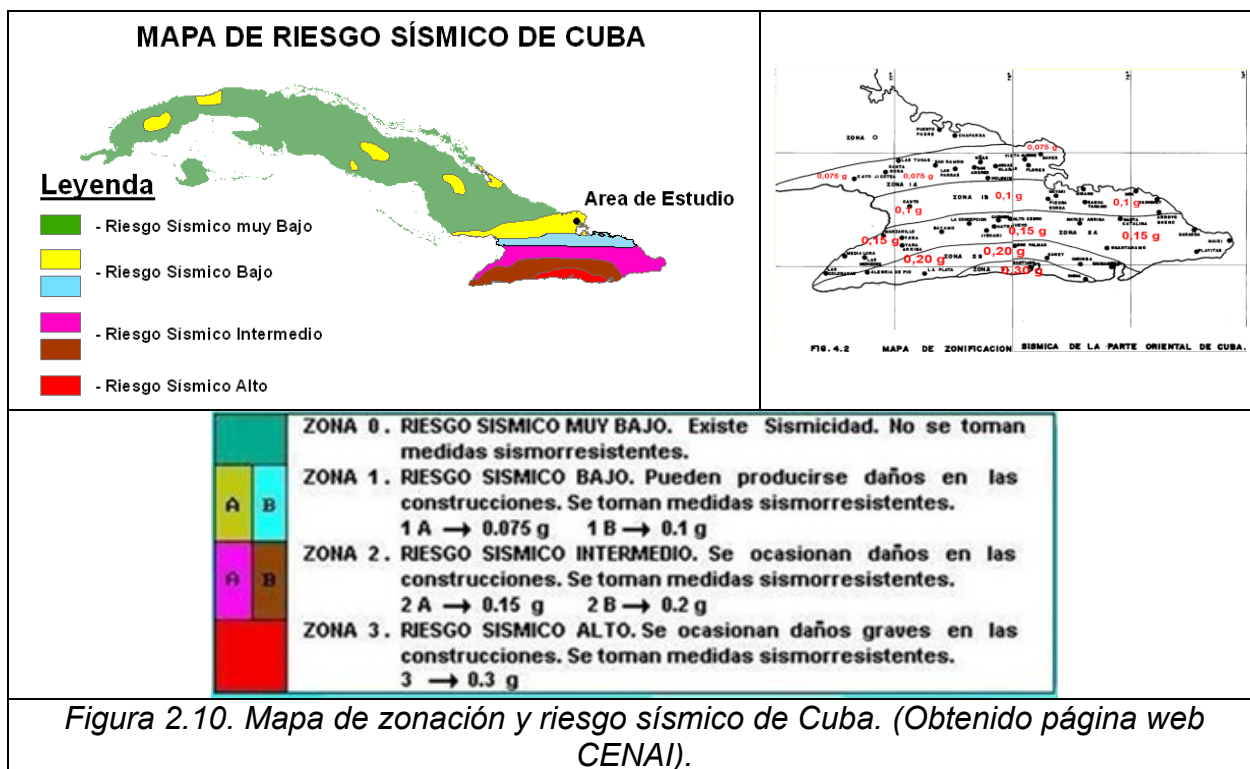


Figura 2.10. Mapa de zonación y riesgo sísmico de Cuba. (Obtenido página web CENAI).

Con respecto al área y a la obra que se desea construir se declara que los valores requeridos según la NC 46: 99 Construcciones Sismorresistentes requisitos básicos para el diseño y construcción, para perfiles de suelos correspondiente al de la zona estudiada, son para un tiempo de vida útil de 50 años y una probabilidad del 15% de que ocurre el efecto esperado de peligro en valores efectivos (*Figura 2.10*). De esta forma, se obtiene una aceleración horizontal de $73,7 \text{ cm/seg}^2$ para perfiles de suelo de tipo S2, correspondientes a 6^0 de intensidad equivalente en la escala MSK. Aunque debido al aumento en los últimos tiempos de la sismicidad y de datos históricos, deba hacerse una nueva investigación sísmica de detalle en la zona de los trabajos.

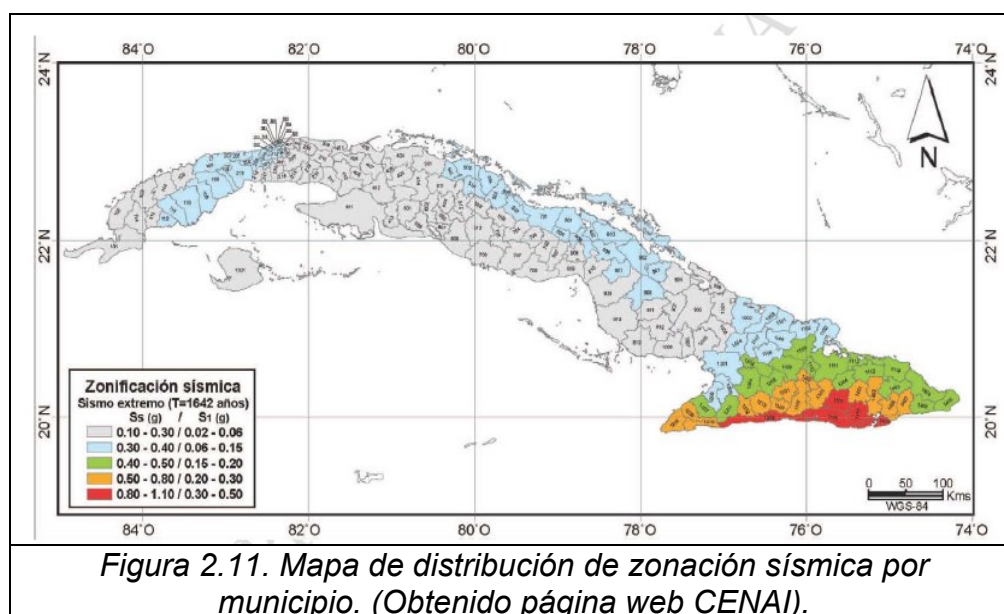
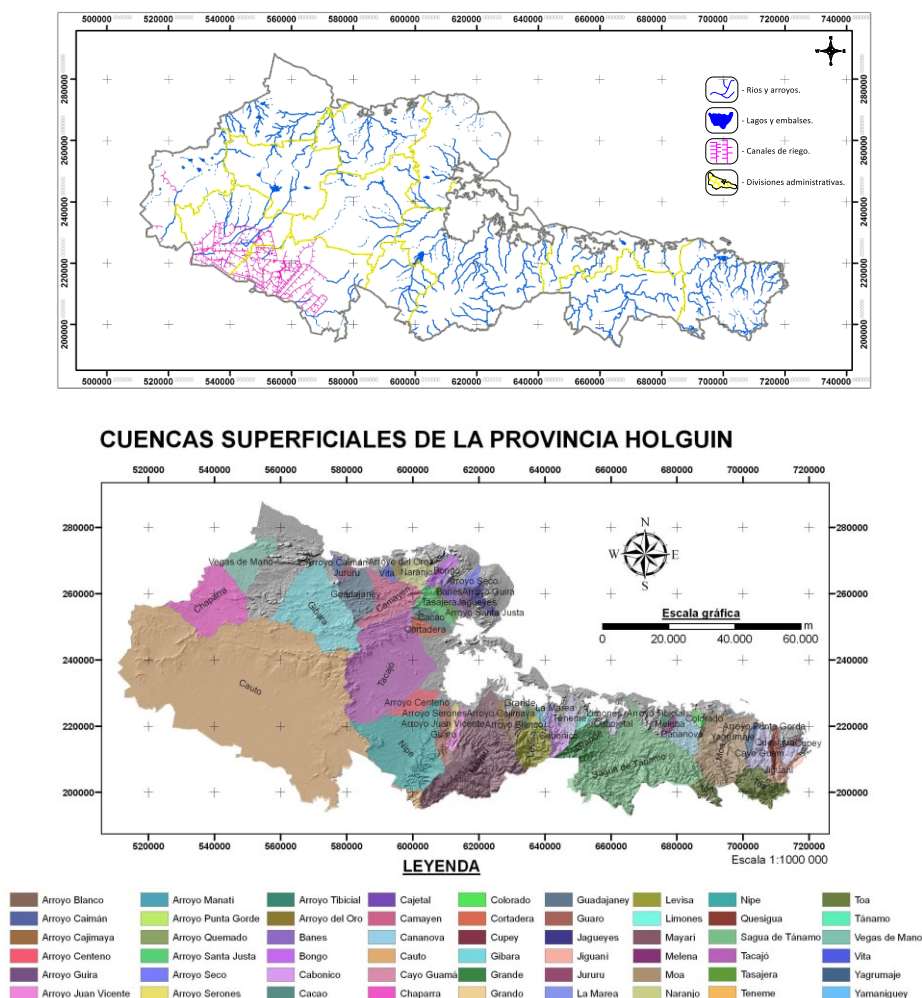


Figura 2.11. Mapa de distribución de zonación sísmica por municipio. (Obtenido página web CENAI).

2.11.- Hidrología e Hidrogeología regional

Para el conocimiento hidrológico de esta región se basó en la distribución de sus cuencas superficiales y de su red de drenajes, teniendo en cuenta los mapas topográficos, y los modelos digitales del terreno. Los ríos principales de la región son: Río Seco, Jagüeyes, El Negro y Cortaderas que desembocan en las bahías de Banes o Nipe; en el Centro: Camayén, Samá, Guabajaney y Bijarú que tributan a los anteriores o desembocan directamente en la costa. La densidad de la red fluvial para toda la zona costera es $< 0.25 \text{ km/km}^2$, en el resto es de $1.50\text{-}2.00 \text{ Km/km}^2$. La lámina de escurrimiento fluvial es de $100\text{-}200 \text{ mm}$ para toda la zona.



*Figura 2.12. Mapa de cuencas superficiales y principales redes fluviales de la provincia.
(Obtenido base de datos INRH).*

2.11.1.- Hidrogeología

Según la regionalización hidrogeológica de la provincia de Holguín (De Miguel Fernández, 1999), donde se realiza un análisis de las macroestructuras hidrogeológicas y sus características regionales. El área pertenece a la Cuenca Artesiana C. A. Tunas Norte. Esta cuenca tiene su mayor desarrollo en la provincia Las Tunas extendiéndose bajo las aguas del Océano Atlántico en dirección norte, el área total de esta cuenca sobrepasa los 10 000 km². En la provincia de Holguín esta cuenca ocupa una franja costera que se extiende desde los límites con la provincia Las Tunas hasta la bahía Naranjo, en un área de unos 150 km². La cubierta de esta cuenca en la provincia, se

encuentra representada por rocas del Cuaternario y del Neógeno. En la mayor parte del territorio las rocas del Neógeno yacen discordantemente sobre rocas del Cretácico y del Paleógeno Inferior que representan el basamento de esta cuenca.

Las rocas más permeables de la cubierta de esta cuenca lo representan las calizas agrietadas y en partes cavernosas del Mioceno ($N1^{1-2}$) en la Formación Vázquez y del Cuaternario medio-superior, Formación Jaimanitas (Q^{2-3}) calizas órgano-detriticas, organógenas y calcarenitas débilmente consolidadas, así como los sedimentos aluviales de relleno en terrazas de ríos. Estas últimas son las más perspectivas debido a que en las mismas predominan las aguas de baja mineralización relacionadas con el escurrimiento superficial de los ríos.

La profundidad de los niveles de las aguas subterráneas en territorios de esta cuenca, varia en dependencia del relieve del terreno, desde menos de 1m. en zonas próximas al mar y en terrazas de ríos hasta más de 10m. en zonas elevadas con rocas del Neógeno. La dirección del flujo subterráneo en general es hacia el norte y noreste, aunque existen pequeñas áreas con desviaciones locales de la dirección del flujo en zonas de terrazas y desniveles del terreno. La potencia acuífera de los principales acuíferos es muy variada, desde 0m. en zonas de acuífamiento con las rocas del Paleógeno y Cretácico, hasta más de 30m. en zonas donde están desarrolladas las calizas del Mioceno. En las zonas costeras, en la cubierta pueden existir varios acuíferos formando complejos con rocas del Cuaternario y del Neógeno (Fm. Jaimanitas y Vázquez).

En esta cuenca los acuíferos de mayor desarrollo son los de rocas agrietadas y sedimentos porosos con menor desarrollo de las rocas cársticas, existen también acuíferos del tipo agrietado-cárstico-poroso en las biocalcarenitas y algunas calizas porosas en terrazas de ríos. Dentro del área que ocupa esta cuenca en la provincia, las aguas predominantes son freáticas, pudiendo existir aguas con pequeñas presiones donde en la parte superior del corte yacen arcillas con potencias considerables (más de 10m.).

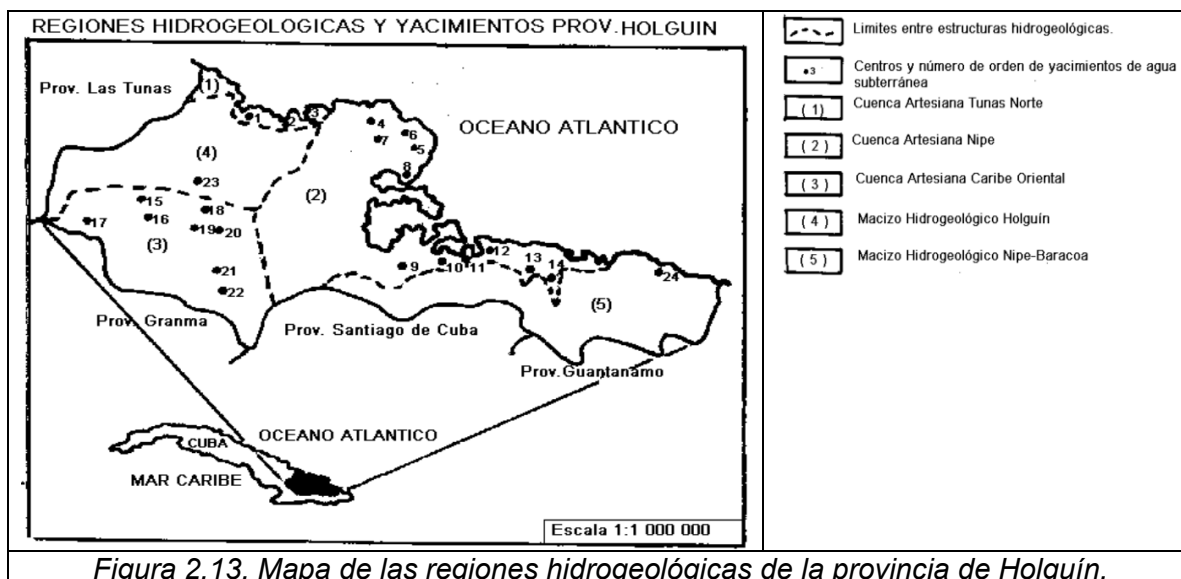


Figura 2.13. Mapa de las regiones hidrogeológicas de la provincia de Holguín.

Al sur de esta Cuenca Artesiana C.A. Tunas Norte tiene fronteras con el Macizo Hidrogeológico (M.H. Holguín), el cual se desarrolla en rocas del Cretácico y en su extremo norte también por rocas del Paleógeno Inferior (Formación Vigía). Las rocas del Cretácico están representadas por las Formaciones Yaguajay (bloques de serpentinitas, gabros, calizas, vulcanitas, tobas margas y areniscas) Formación Jíquima (areniscas), Formación Tinajita (calizas), Formación Jobal (dolomitas y calizas), Formación Gibara (calizas cristalinas arrecifales), Formación Iberia (andesitas, diabasas, tobas, calizas y otras rocas clásticas), también forman este macizo rocas de la asociación ofiolítica mesozoica de la que presentan gran desarrollo las serpentinitas y dunitas serpentinizadas.

En este macizo las aguas subterráneas son de grietas, filoneanas y en menor grado de poros (en areniscas y otras rocas porosas). El flujo subterráneo presenta distintas direcciones, hacia los desniveles del terreno y ríos, pero en general, existen tres direcciones predominantes a partir del parte aguas regional que se encuentra ubicado próximo a sus extremos sur y este. Las direcciones predominantes del flujo son hacia el norte, en dirección a la C.A. Tunas Norte (Océano Atlántico), hacia el sur en dirección al Valle del Cauto y al este en dirección de la Llanura de Nipe (y Océano Atlántico). La profundidad de yacencia del nivel de las aguas subterráneas y gradiente del mismo, son muy variados, principalmente en dependencia del relieve del terreno.

CAPÍTULO III - METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICO EN LA UBICACIÓN DE PARQUES EÓLICOS

3.1.- Introducción

Siguiendo los criterios metodológicos que se llevan a cabo en cualquier investigación en la etapa de ideas conceptuales, se realizaron las actividades generales que regulan la ejecución de la investigación ingeniero geológica, teniendo en cuenta las particularidades del proyecto a ejecutar mediante varias herramientas de estudio que darían respuesta con su análisis al problema científico.

Este capítulo tiene como objetivo fundamental, describir y exponer la metodología de trabajo seguida y el volumen de actividades ejecutadas para llevar a cabo la evaluación ingeniero geológica para la construcción de un parque eólico en la etapa conceptual de los trabajos. Para lograr el objetivo general acordado, esta investigación consto de cuatro etapas de trabajo principales. En la primera de ellas se efectuó una recopilación y revisión de toda la información disponible sobre la línea de investigación relacionada con el tema de este trabajo científico, como la topografía y mapas asociados a la región, los cuales serían una herramienta muy importante, también se investigó sobre la geología de la región de estudio y en especial sobre las características y particularidades de los procesos y fenómenos que afectarían la realización o construcción de una obra de tal envergadura.

Conjunta y seguidamente a esta actividad se realizó la segunda parte de este proceso que sería la digitalización de los mapas, o generación del MDT, análisis y creación de mapas morfométricos y geomorfológicos y mapas relacionados con estos. Esta actividad se realiza primero que la del levantamiento de campo, para realizar rectificaciones de comprobación en el campo y la obtención de otros datos de interés.

Posteriormente se realizaron los trabajos de levantamiento de campo complementarios, los cuales conllevaron descripción de la geología en marcha rutas y descripción de numerosos pozos criollos, que existen por toda el área de estudio, de manera que pudimos describir en profundidad las rocas y tener un conocimiento de la hidrogeología del área.

Después de realizar estas actividades se interpretó toda la información recopilada, y de aquí dar respuesta a cada uno de los objetivos específicos planteados, así como la evaluación ingeniero geológica. En la *Figura 3.1.* se representa de modo gráfico la metodología de investigación establecida, en correspondencia con las etapas de trabajo mencionadas.

Los incisos que definen este capítulo se mencionan a continuación:

1. Recopilación de toda la información cartográfica.
2. Recopilación de toda la información de los trabajos geológicos, ingeniero-geológicos e hidrogeológicos realizados en la zona para partir del umbral del conocimiento.
3. Creación y procesamiento del Modelo Digital del Relieve (MDR) a escala 1:25 000.
4. Establecimiento y obtención de las variables geológicas y geomorfológicas que intervienen en la determinación de la factibilidad ingeniero-geológica y constructiva para la mejor ubicación para la construcción de parques eólicos.
5. Trabajos de campo.
6. Interpretación y elaboración de los resultados.

3.2.- Etapa de recopilación y revisión de la información existente

En esta fase de la investigación se realizó una recopilación y revisión bibliográfica de toda información disponible al alcance de este investigador, relacionada con el tema de este trabajo científico y con el esclarecimiento de las características geográficas y geológicas generales del territorio objeto de análisis y en especial de la formación geológica evaluada. Para ello se emplearon varias horas de búsqueda bibliográfica en el Centro de Información del ISMM de Moa, se revisó la más usada y actual documentación con que cuenta el archivo de información técnica de GEOCUBA, además de acceder a la indagación de datos mediante el empleo de Internet.

Para la realización de esta actividad, se tuvo precaución con la actualidad, rigor científico, vigencia y aplicabilidad de toda la documentación consultada. En el caso específico de la evaluación de la información vinculada con la metodología de trabajo seguida en el desarrollo de investigaciones ingenieras geológicas relacionadas con el

tema tratado en este trabajo científico, existentes en la bibliografía disponible o vinculadas con experiencias de trabajo llevadas a cabo en Cuba u otras partes del mundo, se le dedico particular atención a los diferentes criterios establecidos en toda la serie de normas técnicas empleadas para su ejecución. Dentro de la base normativa revisada, naturalmente se tuvo mayormente en cuenta a los documentos de este tipo, de obligatorio cumplimiento instaurados por la Oficina Nacional de Normalización de Cuba, organismo nacional de normalización de la república.

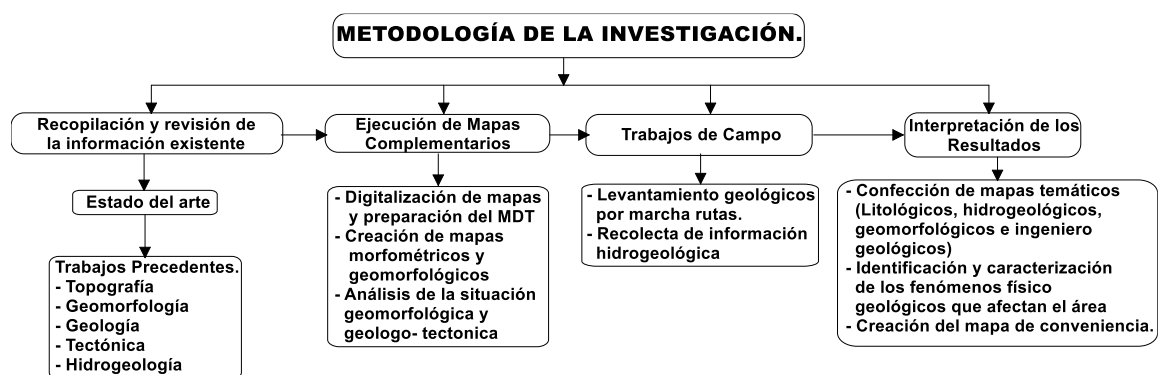


Figura 3.1. Flujograma donde se muestra la metodología de trabajo seguida para la realización de la investigación.

Por medio del acceso a internet la empresa Geocuba Oriente Norte ha creado un SIG para imágenes que se descargan automáticamente del Google Earth a medida que se realiza una búsqueda, lo cual permitió la obtención de fotos satelitales que abarcan toda la región estudiada, adquiriéndose aquellas que revelaban mayor nitidez por sectores o cuadrantes, de tal manera que se trata de una escala de alrededor de 1:2000, estas reflejan y permiten reconocer rasgos físicos que distinguen la geografía y geomorfología e incluso cambios litológicos y hídricos del terreno.

Paralelamente, se recolectaron todas las Hojas Cartográficas (4979-II-b-4; 4979-II-b-5; 4979-II-b-6; 4979-II-d-1; 4979-II-d-2; 4979-II-d-3) pertenecientes al "Esquema de los Límites Políticos Administrativos y Alturas Dominantes", elaborado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en 1991, a escala 1:10 000. Este mapa fue confeccionado a partir de la realización de un levantamiento estereotopográfico en el

año 1991 y el mismo se ha seguido actualizando por las empresas de GEOCUBA en sectores de interés, empleando fotografías aéreas y ahora puesto de moda los vuelos de los drones o vuelos (VANT).

A partir de la información geológica recuperada en la bibliografía especializada del territorio, con vistas a detallar en las características geomorfológicas, geológicas generales e ingeniero geológicas particulares del territorio, se le dedicó particular atención a todos los datos e informaciones recogida en los informes correspondientes a las investigaciones geotécnicas efectuadas por el grupo de investigaciones regionales de la agencia medioambientales (IRSE) de GEOCUBA, ASEMA. Por otra parte, se consultaron estudios realizados por la ENIA en Holguín y de igual manera algunos informes brindados por la empresa de UEBGPI de RAUDAL, INRH. En total se revisaron un total de 20 informes dentro de los cuales 13 de ellos con menos de 5 años de ejecución y para diferentes etapas de proyecto.

Del total de obras citadas: 5 correspondió realización de pozos con vista a la búsqueda agua subterránea para el abasto a comunidades rurales en la zona, 12 investigaciones ingeniero geológicas para la construcción de obras en diferentes etapas de ejecución, y por último 7 estudios de investigaciones geológicas y geomorfológicas de diferentes zonas dentro y fuera de la provincia.

En detalle la búsqueda bibliográfica incluyó todos los trabajos geológicos regionales realizados en la región y zona de interés, entre los que se pueden mencionar: Las tesis de maestría y doctorado del ISMM de Moa (ej. Carralero Castro, 2006; y la de Ricardo Labrada, 2015). Los estudios ingeniero geológicos de los parques eólicos Gibara-I 2007, y Gibara-II 2009, realizados por La Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad (INEL 2008).

Por otra parte se utilizó el levantamiento geológico cubano-húngaro de 1972 (CAME), el I.G.P., 2013 y el Mapa Geológico a escala 1:50 000 confeccionado por el I.G.P., antes mencionado, los diferentes volúmenes del Estudio Regional Preciso del INRH de Holguín a escala 1:25 000, el estudio de Línea Base Ambiental del Parque Eólico Maisí, informe realizado por la División de Estudios Medioambientales de GEOCUBA en del 2014, así como diferentes informes técnicos existentes en los archivos de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín (RAUDAL) como los que se

enumeran en la bibliografía. Se consultaron además trabajos realizados por GEOCUBA con todos los procesamiento aquí realizados los que se encuentran en los archivos de esta institución. Toda esta consulta previa permitió partir del umbral del conocimiento.

En sentido general, gracias a todo el volumen de documentos analizados, se pudo obtener una información, que permite evaluar ingeniero geológicamente para esta etapa, esclareciendo datos sobre sus características geológicas, tectónicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, principales fenómenos físicos y geológicos que la afectan, entre otros aspectos, que son de gran importancia para alcanzar los objetivos trazados en este estudio y darle así a respuesta a la problemática científica abordada.

3.3.- Creación y procesamiento del Modelo Digital del Terreno (MDT)

El MDT constituye sin dudas el paso más importante, pues de él depende el procesamiento del relieve para la obtención de alineaciones y de las variables morfométricas principales.

A partir de las hojas topográficas (4979-II-b-4; 4979-II-b-5; 4979-II-b-6; 4979-II-d-1; 4979-II-d-2; 4979-II-d-3), a escala 1:10 000 se procedió a la preparación del MDT, mediante la digitalización en AutoCadMap 2004 de los elementos estructurales del terreno, representados por las curvas de nivel, los cursos fluviales permanentes y periódicos. Por los parteaguas correspondientes a cada uno y los interfluvios de las diferentes cuencas fluviales.

La asignación de las cotas a las curvas de nivel es un proceso tedioso, pero que necesita de una comprobación continua hasta la completa seguridad de que no existen errores, lo cual se logra a través de la generación y comprobación del fichero *.grd obtenido, con las curvas digitalizadas y con el programa "revisa" que indica las series (curvas) que es necesario rectificar.

La precisión del trazado de la red de drenaje y su ordenamiento, cuando se trata de investigaciones con fines geológicos, es fundamental pues cuando se asigne cota a los ríos a través del software Cot_ríos, sus resultados dependerán de la calidad en el trazado con respecto a las curvas de nivel y en las intersecciones con otros elementos de la red. El programa revisa permite la rectificación de estos problemas. Mientras

exista algún error en la cota asignada a los ríos o en las curvas el modelo no será confiable.

La suma de los ficheros de ríos y curvas con extensión *.bln permite generar en el Surfer el MDT con el paso escogido, en nuestro caso 25m y con el sistema de interpolación Krigging, que ofrece los mejores resultados y con un radio de búsqueda adecuado en dependencia de las características del relieve. Como regla un radio de 500 m ofrece buenos resultados.

La descripción anterior abarca los aspectos más generales de la creación de los MDT, pues a lo largo del proceso aparecen dificultades que sólo son solubles sobre la base de la experiencia del personal y para las cuales se cuenta con las herramientas automatizadas necesarias, así como otros procesos indispensables como el blanqueo de determinados elementos. El modelo generado debe coincidir en su totalidad con el relieve vectorizado para asegurar la excelencia en el trabajo realizado (*Figura 3.2*).

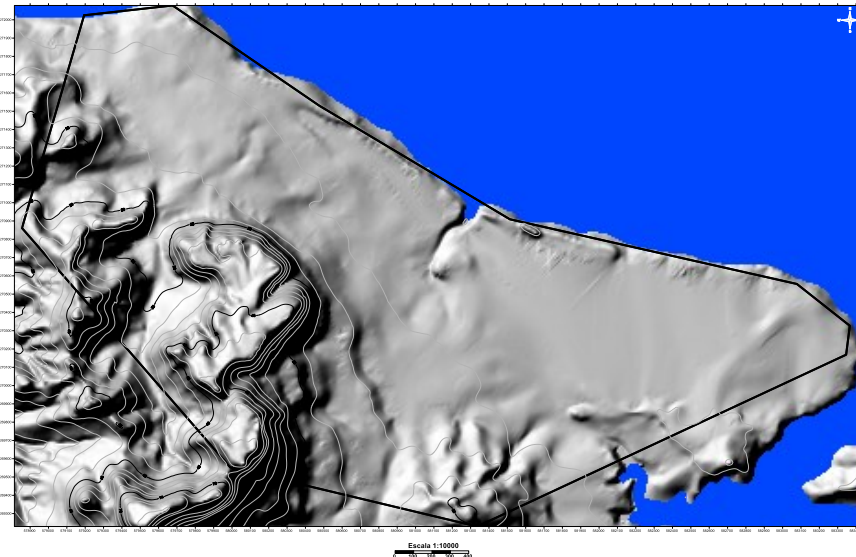


Figura 3.2. Modelo Digital del Relieve sombreado del área estudiada.

3.4.- Obtención de las variables geomorfológicas

El MDT debidamente comprobado es la base para la obtención de las variables geomorfológicas de interés, a saber:

- Dirección del flujo del agua.

- Disección vertical.
- Disección horizontal (en conjunción con la red de drenaje).
- Pendiente
- Densidad de fracturas.

Estas variables fueron obtenidas usando diferentes softwares especializados entre los que se destacan: Surfer, Morfgrd, Arcgis, los cuales se usan indistintamente para la obtención de una u otra variable.

- ***Aplicación de los índices morfométricos***

Para el análisis de los índices morfométricos, se utilizó la metodología de (Astráin Rodríguez y Guilarte Fernández, 1995), en la que se relacionan las diferentes categorías morfométricas, determinando el comportamiento de los valores de altimetría, pendiente y disección vertical en el área.

Tabla 3.1. Análisis de las pendientes.

Valores de inclinación de las pendientes (o)	Categorías
0-4	Suave
4-10	Algo inclinada
10-15	Medianamente escarpada
15- 30	Escarpada
30- 34,5	Muy escarpada

Tabla 3.2. hipsometría.

Valores de altura (msnm)	Categorías
0-10	muy bajas
10-50	muy bajas
50-75	muy bajas
75- 100	Bajas
100- 140	Bajas

Tabla 3.3. Disección vertical

Valores (m)	Categorías
0-10	muy poca
10-25	Poca
25-50	disección media

3.5.- Creación y procesamiento del Modelo Digital Litológico (MDL)

Se confeccionó el modelo ráster de los distintos tipos litológicos con paso 10x10m Modelo Digital Litológico (MDL), a partir del mapa emitido en el estudio indicado para el área de trabajo, las interpretaciones Aero cósmicas, los 25 procesamientos del relieve e imágenes para el agrietamiento y las observaciones de campo realizadas en distintos momentos del periodo de trabajo que permitieron comprobar los resultados de gabinete.

3.5.1.- Obtención de variables geólogo-estructurales para obras de cimentación.

- Densidad de morfoaliniamientos
- Litología.
- Excavabilidad.

- Densidad de morfoalineamientos.

Este procedimiento se desarrolló empleando una metodología creada en GEOCUBA y que permite la detección de evidencias sobre la cartografía de alineamientos a través del procesamiento realizados al Modelo Digital del Terreno. Del análisis de los mapas morfométricos: disección vertical, pendiente de disección, coeficiente de variación, se obtuvieron indicios sobre posibles eventos tectónicos. El empleo de filtros direccionales permite obtener zonas de máximos parámetros alineados.

Por otro lado, se realizó la detección de lineaciones a partir del mapa de pendientes real y de filtros aplicados al MDT.

- Obtención del relieve residual: Diferencia entre modelo promediado y el MDT, el tamaño del filtro promediador define la magnitud de la anomalía posible a detectar.
- A partir del residuo así obtenido se determinó los puntos de inflexión, donde cambia la curvatura, estos puntos son los de mayor probabilidad de coincidir con morfoalineamientos. En la imagen así obtenida estos quedan con valor máximo y los restantes con mínimo.
- Obtención de los valores de la dimensión fractal, permite diferenciar zonas donde esta es máxima, si se tiene en cuenta que las estructuras presentan esta propiedad de replicación con la variación de la escala, entonces la ocurrencia de máximos de esta en la imagen obtenida es un indicador eficiente de la existencia de estos.
- Multiplicación de la imagen fractal y la de puntos de cambio de curvatura.
- Las morfoalinaciones son tratadas con un filtro direccional en 12 direcciones cada 15°. Se obtuvo una imagen para cada dirección.

Con un procedimiento establecido estas fueron: 1) pre-esqueletizadas, esqueletizadas y vectorizadas obteniendo el cuadro de agrietamiento total y un conjunto de coberturas con paso 10x10m y radio de promediación de 100x100m entre ellas están:

1. Densidad de fracturas.
2. Densidad de fracturas modificada.
3. Cantidad de familias (Jn).

A partir del mapa de densidad de fracturas, la interpretación experta de las imágenes de MDT sombreado, el análisis de la red de drenaje y el procesamiento de la imagen cósmica se obtuvo el cuadro de alineaciones.

3.6.- Metodología para la creación del mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico confeccionado, se basó en el método Holandés ITC, el cual comprende tres tipos de mapas: analítico, sintético y pragmático, en función de las características geomorfológicas que se quieran representar como resultado. A partir de

los objetivos de la investigación, la escala de trabajo y las condiciones ingeniero geológicos, se definió realizar un mapa geomorfológico de tipo pragmático o aplicado. Según Verstappen y Van Zuidam (1991), este mapa comprende las investigaciones que están guiadas desde el principio por un propósito específico, frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación del desarrollo. Tanto el contenido del mapa, como la leyenda son entonces diseñados usando los datos analíticos y sintéticos.

3.7.- Metodología empleada para la clasificación de las zonas según su excavabilidad

Un papel importante en estos trabajos lo hace la excavabilidad y que determina el trabajo necesario que se debe realizar, y esto significa los recursos que habrá que invertir en la ejecución de las cimentaciones para la obra a la hora de la construcción, proporcionando información para la selección de la tecnología de excavación en las bases de los generadores eólicos (Astráin Rodríguez y Guilarte Fernández, 1995). Por otra parte, este tema también es tenido en cuenta en el momento de la confección del mapa de conveniencia por su importancia.

Tabla 3.4 Clasificación establecida por la International Society of Rocks Mechanics.

Clases	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a la compresión simple (Mpa)
R ₀	Rocas extremadamente blandas	Se puede marcar con la uña	0,25 – 1
R ₁	Rocas muy blandas	Se desmenuza al golpearla con la punta de la piqueta	1 – 5
R ₂	Rocas Blandas	Por golpeo con punta de piqueta produce marcas	5 -25
R ₃	Rocas moderadamente duras	Se fractura con un golpe de piqueta	25 - 50
R ₄	Rocas Duras	Más de un golpe para fracturarlas	50 - 100
R ₅	Rocas muy duras	muchos golpes para fracturarlas	100 - 250
R ₆	Rocas extremadamente duras	Solo suelta esquirlas al golpearlas	> 250

La resistencia a la compresión simple de los macizos rocosos y de los tipos ingeniero geológicos fueron estimados a partir de la tabla de clasificación establecida por la International Society of Rocks mechanics.

En su concepción parte de criterios fundamentalmente litológicos y dentro de estos las distintas facies constitutivas de las rocas. La hipótesis para la caracterización de la excavabilidad se puede resumir en:

- Rocas duras son mucho menos excavables que las menos duras (FKP).
- El enriquecimiento de sílice u otros minerales de alta dureza de las rocas, dificulta su excavación (Intercalaciones). No se presenta.
- Secuencias rocosas homogéneas son preferibles a las heterogéneas (Homogeneidad).

Índice de Dureza (1): Se calcula a partir de los valores del *FKP*, obtenidos de la literatura y/o informes de investigaciones anteriores y las relaciones empíricas de Protodiakonov, luego normalizados en el rango de 1-10, a través de la siguiente fórmula:

$$indice = \left[\frac{(Z - Z_{min}) * 9}{Z_{max} - Z_{min}} \right] + 1$$

Donde Z es Z_{min} Z_{max}

Índice de Homogeneidad (2): se toma por criterio de experto y las observaciones de campo. Los valores más altos son aquellos en que las rocas son más homogéneas.

Intercalaciones de rocas o minerales de alta dureza (3): se toma por criterio de expertos y criterios de campo. Los valores más altos son los que tienen intercalaciones de rocas o mineralización muy duras.

Todos estos valores se distribuyen en una tabla en la cual se brindará para confeccionar los índices de excavabilidad, y de aquí la construcción del mapa por zonas.

Tabla 3.5. Ejemplo de la distribución de los valores en la tabla.

Formación	Id Fm	Litología	Dureza		Homogeneidad 2	Intercalaciones R/M de alta dureza 3
			FKP	Índice 1		
Júcaro	5	Calizas	1,46	1,28	7	5
	8	Serpentinita	5,2	2	10	10

Índice de excavabilidad: Para calcular el Índice de Excavabilidad se le da peso a cada índice calculado o tomado por criterio de experto y se aplica la siguiente fórmula:

$$I. Excav. = \frac{(11 - (1)) * Peso(1) + (2) * Peso(2) + (11 - (3)) * Peso(3)}{Peso(1) + Peso(2) + Peso(3)}$$

Con los resultados obtenidos por la tabla anterior se confeccionará la tabla siguiente donde se distribuyen los valores por su Id de las formaciones y se determina su excavabilidad como resultado final:

- (1) - El índice de dureza. (2) – Homogeneidad de litología. (3) - Intercalaciones R/M de alta dureza y se le otorgan peso a cada uno por su importancia en la representatividad de valores a criterio de experto.

Tabla 3.6. Ejemplo de la obtención del Índice de Excavabilidad.

Id Fm	(1)	Peso (1)	(2)	Peso (2)	(3)	Peso (3)	Índice excavabilidad
1	1	4	1	2	1	3	8
2	1.3	4	1	2	1	3	7.8
3	2.5	4	8	2	2	3	6

Seguidamente a este paso se crea una escala de colores en la misma tabla que diferencie los valores para su representación el mapa.

- *Otras metodologías revisadas.*

Otra metodología de revelar el grado de excavabilidad, confeccionada por el Departamento de Investigaciones y aplicadas desde el año 1999 y que consiste en ir dando valores del 0 al 1 según una escala de cuatro rangos de excavabilidad.

Excavabilidad I – (0). - Terrenos de fácil excavabilidad, generalmente formados por diferentes tipos de suelos y capa vegetal, material friable de fácil excavabilidad, arcillas

plásticas de consistencia media las cuales se desintegran bajo la acción de cualquier carga.

Excavabilidad II – (0,33). - Terrenos de facilidad media de excavabilidad, compuestos por eluvios de rocas, arcillas muy plásticas de consistencia alta y margas. Para excavarlos es necesario utilizar retroexcavadora ligera.

Excavabilidad III – (0,67). - Difícil excavabilidad. Zona de rocas débilmente meteorizadas con parte importante de rocas frescas, para excavarlas es necesario usar retroexcavadoras pesadas y martillos en algunas partes.

Excavabilidad IV – (1,0). - Muy difícil excavabilidad. Zona de rocas frescas o con ligero agrietamiento y muy tenaces. No es posible excavar sin el uso de martillo neumático o explosivos.

Aunque no es totalmente coherente la terminología usada por el PRECONS, para definir la dureza de las rocas con las descripciones que se hacen por los grados de excavabilidad, se incluyó en virtud de facilitar el trabajo de los diseñadores a la hora de calcular el presupuesto de la obra.

- Otra Clasificación de excavabilidad que tienen en cuenta los suelos.

Tabla 3.7. Clasificación de la facilidad de excavación del “Manual de Ingeniería Geológica” del instituto tecnológico GeoMinero de España

Materiales Típicos	Cualificación	Índice	Excavabilidad
Suelos Granulares, Cohesivos y Blandos.	Fáciles de excavar.	2,0	I
Suelos residuales y compactos, margas fisuradas, arcillas consolidadas.	Ripables.	1,8	II
Muy fracturadas o alteradas, margas, areniscas blandas. Esquistos.	Terrenos de transición.	1,4	III
Moderadamente fracturadas o alteradas. Rocas estratificadas.	Difícilmente ripables, voladuras ocasionales.	0,8	IV
Rocas masivas y sanas.	No ripables, necesidad de explosivos.	0,2	IV

3.8.- Trabajos de campo

Para la realización de los trabajos de campo se ejecutó un levantamiento que abarcó toda el área, mediante diferentes marchas rutas, tratando de obtener la mayor cantidad de información posible acerca de la presencia, características y condiciones geomorfológicas, geológicas, ingeniero geológicas e hidrogeológicas del área de estudio.

En consecuencia, con esto, fue necesario la obtención de coordenadas mediante un GPS el (Garmin ST vs 2) de los puntos de levantamientos descritos considerándolos los más importantes y tomados a cierta distancia lo que revelaría una buena escala para el procesamiento geológico, y se lograría una ubicación exacta en la etapa de procesamiento de la información, por otra parte, para la descripción de los puntos tomados se utilizó una libreta de campo la misma describe todos los procesos observados, ubicación, vegetación, litología, hidrogeología y elementos estructurales, entre otros. De manera diferente sería en los puntos de descripción de pozos encontrados en la zona y realizados por los pobladores de manera como se dice criolla, estos tendrían las mismas características de descripción, pero sumándole las particularidades del pozo, tanto de su estratigrafía interna como de sus parámetros hidrogeológicos, los que fueron tomados de las entrevistas realizadas a los dueños, los cuales revelaron, tipo de extracción, cantidad extraída, tiempo de explotación del pozo, en que tiempo recupera, niveles freáticos en abundantes lluvias y su máximo nivel, niveles freáticos en grandes sequías y el tiempo de recuperación a partir de las primeras lluvias en la región.

Unido a estos trabajos se respaldaron las investigaciones mediante fotos, las cuales revelan todos los puntos descritos en esta etapa, destacándose los elementos más importantes ya sean los fenómenos geológicos principales como formas importantes del relieve.

Este trabajo permitió la utilización de diferentes equipamientos necesarios para la obtención de parámetros antes mencionados como fueron las siguientes para las mediciones, se usó, la brújula *DQY-1* de fabricación china, piquetas de geólogos, cinta

métrica, distanciómetro marca *LEICA* para determinar distancias, un pluviómetro, cámara fotográfica *CANON* entre otros instrumentos necesarios.

En total se documentaron 90 puntos de afloramientos y 21 pozos, se tomaron 411 fotos de todos estos puntos, así como del relieve, vegetación, población y construcciones de la zona (Anexo – Informe del levantamiento de campo de este trabajo), también se midieron una gran variedad de grietas y planos de fallas descritas en una base de datos.

Tabla 3.8. Base de datos de los pozos registrados en el área, ver mapa en Anexo 1.

Nombre	X	Y	Z	NE
Pozo 01	579251,031	271980,916	6,4	-
Pozo 02	579682,837	271605,637	6,4	4,8
Pozo 03	581860,646	270349,95	3,68	4,52
Pozo 04	581881,797	270209,887	3,8	3,8
Pozo 05	581499,783	270026,902	3,9	4,8
Pozo 06	579575,099	271165,253	10,5	9,8
Pozo 07	579294,365	271141,342	13	8
Pozo 08	579372,59	270725,753	19,8	8,8
Pozo 09	580534,192	270823,057	5,9	5,33
Pozo 10	580448,978	270999,572	4,9	4,45
Pozo 11	581202,757	269456,943	16,3	10,6
Pozo 12	581815,907	269891,924	2,72	3,9
Pozo 13	581113,301	270510,521	2,85	3,5
Pozo 14	581027,088	270590,706	2,95	3,55
Pozo 15	580548,435	269475,719	16,36	11,65
Pozo 16	580436,903	270178,338	13,23	21,66
Pozo 17	581279,671	270743,494	3,1	3,9
Pozo 18	579248,505	271877,385	4,6	4,8
Pozo 19	579158,873	271517,58	12,5	11,5
Pozo 20	579530,239	270148,784	26,5	8,4
Pozo 21	581075,353	269372,185	17,64	11,4

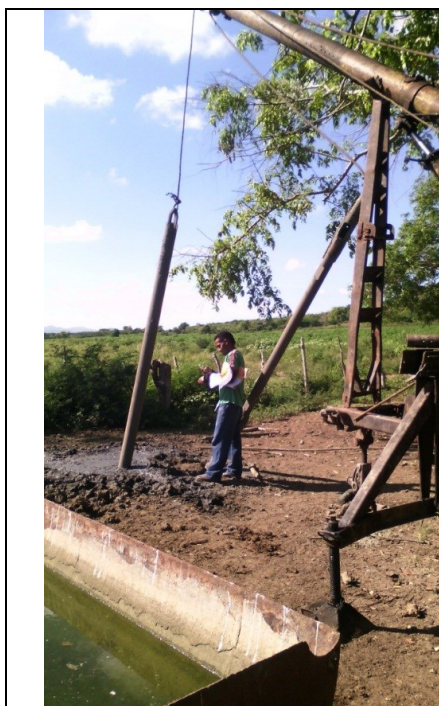


Figura 3.3. Presencia de construcción de un pozo artesano, con perforadora artesanal construida por los pobladores.



Figura 3.4. Arriba) Entrevista a los pobladores para localizar las cavernas en el área. Abajo) Especialistas realizando el levantamiento y descripción ingeniero geológica del área.

Gracias a la ejecución de esta actividad se pudo obtener un nivel de información determinado, dentro del cual se logró definir mediante el reconocimiento de campo los contactos litológicos de las rocas, y así corregir algunos errores del mapa geológico del CAME a una mejor escala, se logró un mayor conocimiento de la hidrogeología del área, resultados muy importantes para construcción de la obra.

Para delimitar según los datos de campo, todas estas litologías, se utilizó la clasificación creada por Fooker y otros, (1971), que caracteriza el reconocimiento en el campo y las características geotécnicas de las rocas por el grado de descomposición de estas cortezas. Descrita en la *Tabla 3.9*.

Tabla 3.9.- Clasificación de las rocas según su grado de meteorización (en Fookes y otros 1971).

Grado de Descomposición	Reconocimiento en el campo (según Fookes & Horswill).		Características geotécnicas de las rocas.
	Suelo (roca no consolidada)	Rocas (no consolidadas)	
Suelo	El suelo original ha sido modificado por completo a uno de nueva estructura y composición, en equilibrio con las condiciones existentes en el subsuelo.	La roca está descolorida y completamente transformada en un suelo en el que la fábrica original de la roca ha desaparecido. Hay amplios cambios de volumen.	Inutilizable como soporte con importantes cimentaciones de hormigón. Pendientes inestables si desaparece la cobertura vegetal.
Completamente alteradas	Suelo decolorado y alterado sin trazas de la estructura original.	Roca descolorida y transformada en un suelo, pero se conserva la fábrica original. Las propiedades del suelo dependen en parte de la naturaleza de la roca original.	Puede ser excavada fácilmente sin el uso de explosivos inutilizable para la cimentación de grandes obras (cierres de gravedad, bóveda, etc.). Puede ser utilizada para cimentación de obras medias (cierres normales o de tierra).
Fuertemente Alterada	Suelo alterado en su mayoría con pequeños y ocasionales litorelictos del suelo original. Escasos o nulos trozos de la estructura original.	Roca descolorida; discontinuidades a través de la que penetra la alteración que, sin embargo, no afecta al conjunto de la roca.	
Moderadamente alterada	Suelo formado por grandes litorelictos descoloridos y separados por material alterado. Penetración de la alteración hacia el	Roca descolorida, en superficie y penetrando en discontinuidades. La roca intacta es perceptible con menos claridad que la roca fresca.	

	interior por las discontinuidades.		
Débilmente Alterada	Material compuesto de bloques angulosos de suelo fresco que pueden o no estar descoloridos. Se presenta una débil detracción a favor de discontinuidades.	La roca puede estar débilmente descolorida, particularmente en las proximidades de las discontinuidades. La roca fresca e intacta no puede ser destruida.	
Roca fresca	Suelo no descolorido ni debilitado debido a la alteración.	Roca no descolorida ni debilitado u otros efectos debidos a la alteración.	

3.9 - Interpretación y elaboración de los resultados

Considerando toda la información por vía directa o indirecta se consideró necesario establecer las variables que tienen una incidencia decisiva en la construcción de los parques eólicos, en las condiciones propias de la zona estudiada.

Tabla 3.10. Tabla de mapas creados en la investigación.

Modelo digital del terreno (MDT). Mapa de datos reales e itinerarios del trabajo de campo	Mapa litológico.
Mapa de pendientes.	Mapa Geológico.
Dirección del flujo superficial.	Mapa Geomorfológico.
Disección vertical.	Mapa del nivel del manto freático y dirección de flujo subterráneo.
Disección horizontal.	Mapa litológico.
Densidad de fracturas.	Mapa de excavabilidad.
Preparación de imágenes de falso color.	Mapa de conveniencia constructiva

Haciéndose el análisis de la litología, excavabilidad, agrietamiento y desarrollo del fenómeno cárstico se dan conclusiones y recomendaciones necesarias para la ejecución de los trabajos.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN DE PARQUES EÓLICOS

4.1.- Introducción del capítulo

A partir de todo el volumen de información recopilada y procesada como resultado de las diferentes actividades llevadas a cabo durante la realización de esta investigación, en el presente capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos, que permitieron evaluar ingeniero geológicamente el área estudiada mediante la creación de un mapa que revela, como resultado final, las áreas más perspectivas para la construcción del parque fotovoltaico, del mismo se utilizara como herramienta por los ingenieros civiles para definir que capa será la base de las cimentaciones de la obra.

Para ello inicialmente se identifican y caracterizan los parámetros morfológicos, y geomorfológico que resultaron de los mapas a partir de MDT y que afectan la el terreno, Posteriormente se realiza un análisis de los fenómenos geológico e ingeniero geológico identificado y se describen las rocas litológicamente según sus propiedades físicas, se analiza la excavabilidad de las litologías presente mapeando y diferenciando cada zona, se confeccionan los mapas hidrogeológico, según los datos recuperados.

Por último, considerando el comportamiento y distribución de los principales parámetros litológicos e ingenieros geológicos de las rocas estudiadas, se agrupan todos los datos interpretados se realiza una matriz de riesgo para darle valor a cada parámetro y finalmente se confecciona un mapa final que sería el que definiría las áreas más perspectivas para la construcción del parque eólico.

Al realizarse los levantamientos de campo para el reconocimiento geológico y tomando el patrón para la documentación ingeniero geológica contenida en el libro de ingeniería geológica de González Vallejo y otros (2002), se determinaron propiedades como el tamaño de bloques, el grado de meteorización, la dureza de las rocas, algunas características hidrogeológicas, la determinación de familias de grietas y sus características como si son abiertas o cerradas, rellenas o no, rugosas planas, onduladas, lisas, etc. El resultado del reconocimiento geológico, permitió obtener un mapa geológico inicial con mayor grado de precisión que el disponible hasta ese

momento y determinar la presencia de diferentes macizos rocosos o tipos litológicos, así como las capas de aluviones sobre estos.

Por medio del procesamiento computarizado se obtienen diferentes mapas temáticos que caracterizan al medio geológico: mapas de pendientes, disección vertical, disección horizontal, de agrietamiento, de excavabilidad, de calidad de los macizos, etc, los que se calibraron con los resultados del levantamiento ingeniero geológico, la geofísica y el de conveniencia ingeniero geológica, lo que permite realizar una mejor comparación entre los tipos litológicos ingeniero geológico.

4.2.- Identificación y caracterización de los fenómenos físicos y geológicos que afectan a las rocas

Según lo analizado con los criterios expuestos en el capítulo II de este documento, se determinó que la geológica del área es algo compleja ya que está compuesta por diferentes asociaciones estructuro formacionales sobre las cuales actuaron características tectónicas diferentes, empezando por la corteza oceánica la cual se encuentran afectada comúnmente por grietas y hacia algunos sectores, por algunas fallas pequeñas y micro fallas, todo lo cual constituye una evidencia de que su tectonismo y además está en contacto discontinuo con las rocas de la cobertura neoplatafórmica en un pequeño sector de la parte sur del área, como se muestra en el mapa geológico.

Por otro lado, se encuentra la Fm. Rancho bravo que representa las cuencas superpuestas de segunda generación la cual es un complejo olitostrómico con el cual se debería tomar medidas ingeniero civiles para la construcción por sus características. Para culminar también están presente las rocas de cobertura neoplatafórmica que contiene las Fm. Júcaro y Jaimanitas esta última con un alto grado de carsificación en las rocas que presenta a tal grado que existe cavernas y cárcavas de tamaño considerable y otras pequeñas en formación las misma presentan aguas que se presumen están en conexión con el mar por las oscilaciones en sus niveles.

Dentro del área enmarcada están presente todas estas formaciones las cuales en la mayoría de los casos presentan un gran espesor de corteza de suelo en formación producto del intemperismo, meteorización y erosión en diferentes casos

Los procesos cársticos que afectan a las rocas solo se concentran en la Fm. Jaimanitas, y están localizados sobre la zona E, haciéndose particularmente abundantes y cuantiosos en los sectores cercanos al poblado de Carenero donde las mismas afloran (ver anexo, mapa litológico del terreno), hallándose en continuo desarrollo. La amplia presencia de estos fenómenos cársticos se encuentra relacionada con el dominio de un clima tropical, que favorecido por la ubicación de la costa del municipio Freyre en un sector donde se registran altos acumulados de precipitaciones, así como por la existencia predominante en el subsuelo de complejos litológicos carbonatados, propician su desarrollo.

Mediante los levantamientos de campo se pudo conocer que los fenómenos cársticos se ven más desarrollado al E de la formación es el lugar donde aparecen las estructuras carsicas las mismas poseen una profundidad de 2m según se observó en la mayoría de las cavernas y con un amplio desarrollo lateral y como se destacó anteriormente presenta una relación con el agua marina al observarse las fluctuaciones de la marea en los niveles del agua de las cavernas.

Por otra parte, pudimos comprobar que en la zona de la Fm. donde está cubierta por corteza de suelo el desarrollo del carso es de carácter superficial, ya que estos se encuentran mayoritariamente desarrollados hasta una profundidad relativamente baja con respecto a la superficie natural del terreno donde afloran las rocas de esta formación. Precisamente con respecto al nivel señalado, los diversos tipos de fenómenos cársticos registrados poseen una profundidad máxima media de desarrollo de 0.55 m, siendo la máxima profundidad de extensión de los mismos de aproximadamente 1.90 m, la cual está asociada con la existencia de sumideros o pequeños salones de micro cavernas, estas últimas muy escasas y singulares.

En los sectores del territorio donde no afloran las rocas objeto de estudio, los fenómenos cársticos son escasos y limitados y se encuentran asociados con las formas y tipos de fenómenos semiprofundos descritos, ubicándose estos más al oeste. En esta área son muy pocos y limitados los fenómenos cársticos existentes a pequeñas profundidades que las señaladas. Los mismos han sido detectados mediante las observaciones de los pozos criollos excavados por los pobladores y el quimismo del agua es algo dulce, incluso se usa para el riego y consumo animal.

Las estructuras carsicas que se presentan como de fenómenos más abundantes se encuentra el lapies, el cual se hace más común hacia las cercanías de la línea de costa. De manera semejante son numerosas las oquedades cársicas verticales aisladas o zonas de agrupación de estas. Las mismas presentan un diámetro o extensión de la boca del fenómeno de hasta 5.00 m. Cuando aparecen a modo de agrupaciones, estas oquedades se aglutinan en un área con un diámetro igualmente variable, que oscila entre los 1.00m a 6.00m. Estas oquedades como las ya descritas, regularmente se ensanchan con la profundidad, mostrando aspecto acampanado y se comunican entre sí, formando sistemas de oquedades que poseen una profundidad aparente de hasta 0.75 m. El fondo de las mismas por lo regular también está relleno de capa y materia vegetal, además de fragmentos de roca de la misma formación.

Son muy cuantiosos también los micro sumideros y sumideros, los cuales en ocasiones también se agrupan y concentran en áreas relativamente pequeñas donde usualmente se comunican entre sí en profundidad, a través de oquedades horizontales secundarias. Los micro sumideros por su parte mantienen en planta una forma circular o irregular, con un diámetro o amplitud de la boca que osciló entre los 0,25 m a 0,40 m. Los mismos alcanzan una profundidad aparente que varía entre los 0.70 m a 1.30 m y su fondo usualmente también se encuentra cubierto de capa y materia vegetal, además de fragmentos de roca. Las paredes de los mismos hacia el fondo se van estrechando, mostrando una forma típica de embudo, aunque en ocasiones por el contrario estas se ensanchan y adoptan una forma acampanada.

El estudio de sus manifestaciones y características ha sido y continuará siendo de vital importancia a la hora de contemplar cualquier solución de cimentación dada de una obra y de ejecutar como tal ese proyecto de cimentación. En varias ocasiones en correspondencia con la importancia económica de la obra y según sus características estructurales, los proyectos de ejecución de los sistemas de cimentaciones han necesitado de la implementación de varias de las soluciones ingenieras disponibles, para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Precisamente los investigadores ingeniero geológicos deben tener especial cuidado con el estudio y caracterización del carso, para poder seleccionar medidas ingenieras que traten este

problema geotécnico, la más adecuada y económicamente eficaz, que se adapte a las particularidades estructurales de las obras que se desean construir en el futuro.

4.3.- Análisis de los trabajos morfométricos y creación del mapa geomorfológico. Anexo 02

4.3.1.- Interpretación de los mapas morfométricos del área

El área de estudio está representada según el mapa hipsométrico realizado por alturas bajas que se encuentran distribuida en la parte S y SW del área, definiéndose perfectamente estas estructuras de las zonas de terrazas las cuales se encuentran en el N bordeando toda la costa, estas presentan alturas muy bajas que van de 0 a los 10m.

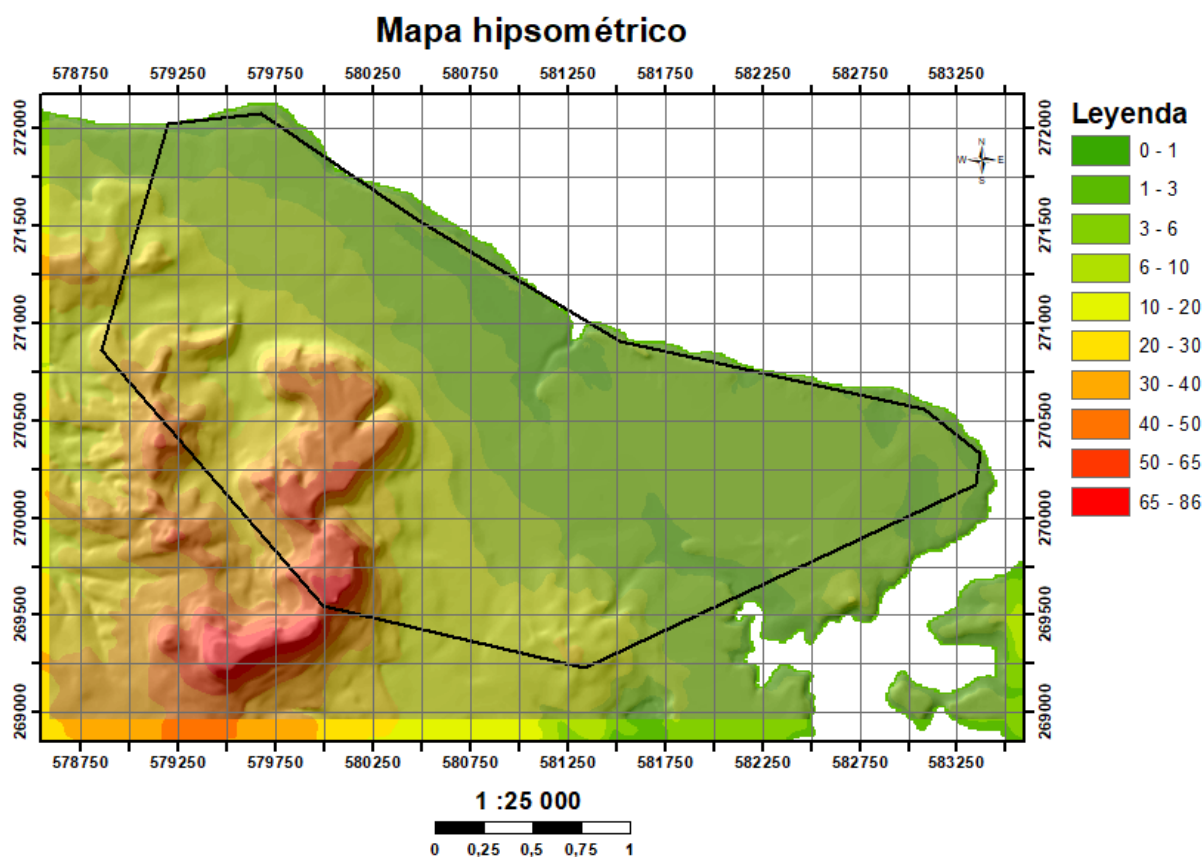


Figura 4.1. Mapa hipsométrico del área de estudio. (Anexo 02)

El mapa de la red de drenaje, revela la existencia pocos sistemas fluviales bien definidos en el relieve, esto revela que la principal vía de escurrimiento es la

subterránea y de ahí a que existan sistemas carbonatados con abundante carsificación en la zona de escurrimiento y con relación con el mar, este es fundamentalmente radial centrípeto, encontrándose algunas cañadas subparalelas a la costa, relacionadas posiblemente al modelaje marino del relieve combinado con la acción de las lluvias y la pendiente.

Estos relieves en general están poco diseccionados, destacándose las mayores disecciones en la parte sur del área las cuales presentan rocas carbonatadas y relieves de alturas bajas con una pendiente pronunciada.

Las pendientes predominantes en toda el área por lo general no superan los 2° , aunque localmente en la costa pueden llegar a los 11° , mientras que, en el sur de las colinas alargadas del sureste, pueden llegar a ser mayores de 30° . (Anexo 02).

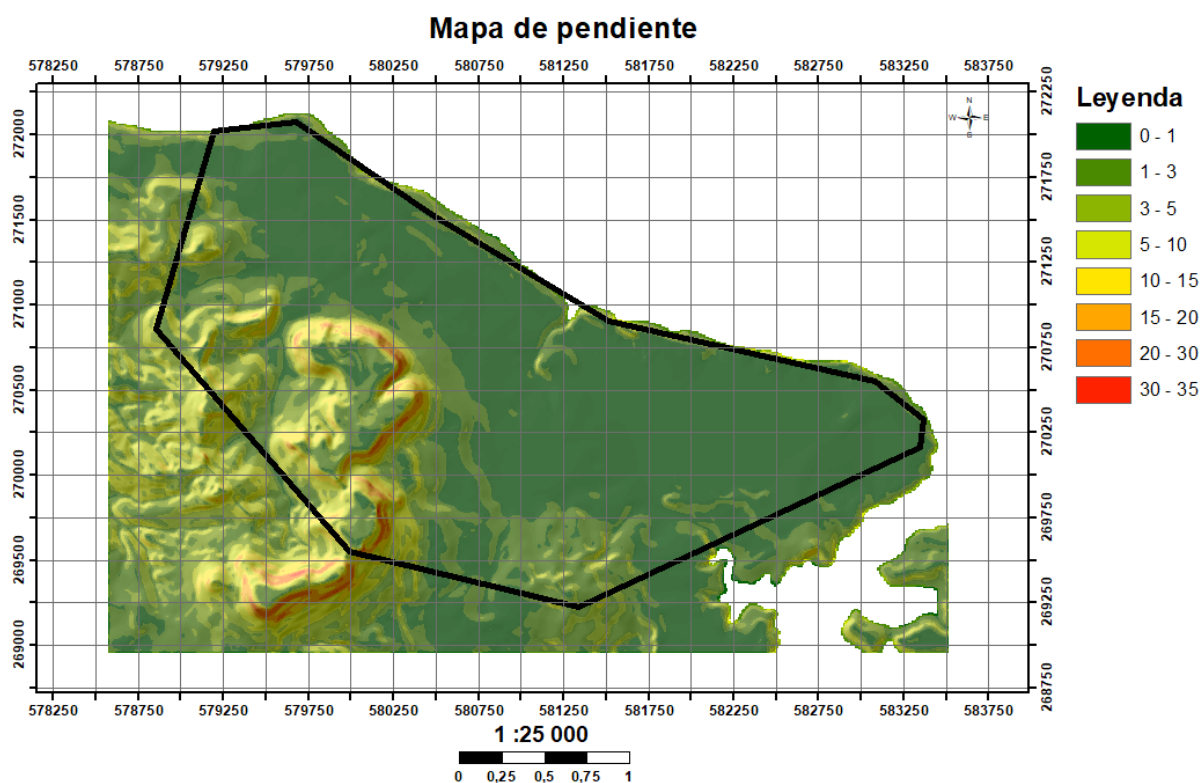


Figura 4.2. Mapa de pendiente del área de estudio. (Anexo 02)

Las mayores fracturas, como se observa en el Anexo 4 están relacionadas con las características geológicas y las principales alineaciones del relieve teniendo en cuenta

la complejidad de encontrarse en un complejo macizo tectónico de los cual forma parte esta área presentando valores de hasta 300 m/fracturas, Estas se encuentra en el S y W ya que son estructuras muy erosionadas y rocas de baja dureza. Los menores valores de fracturación se encuentran en la parte central y E, que colindan con la costa teniendo una relación de la litología con los espesores de sedimento, la pendiente y el relieve mismo.

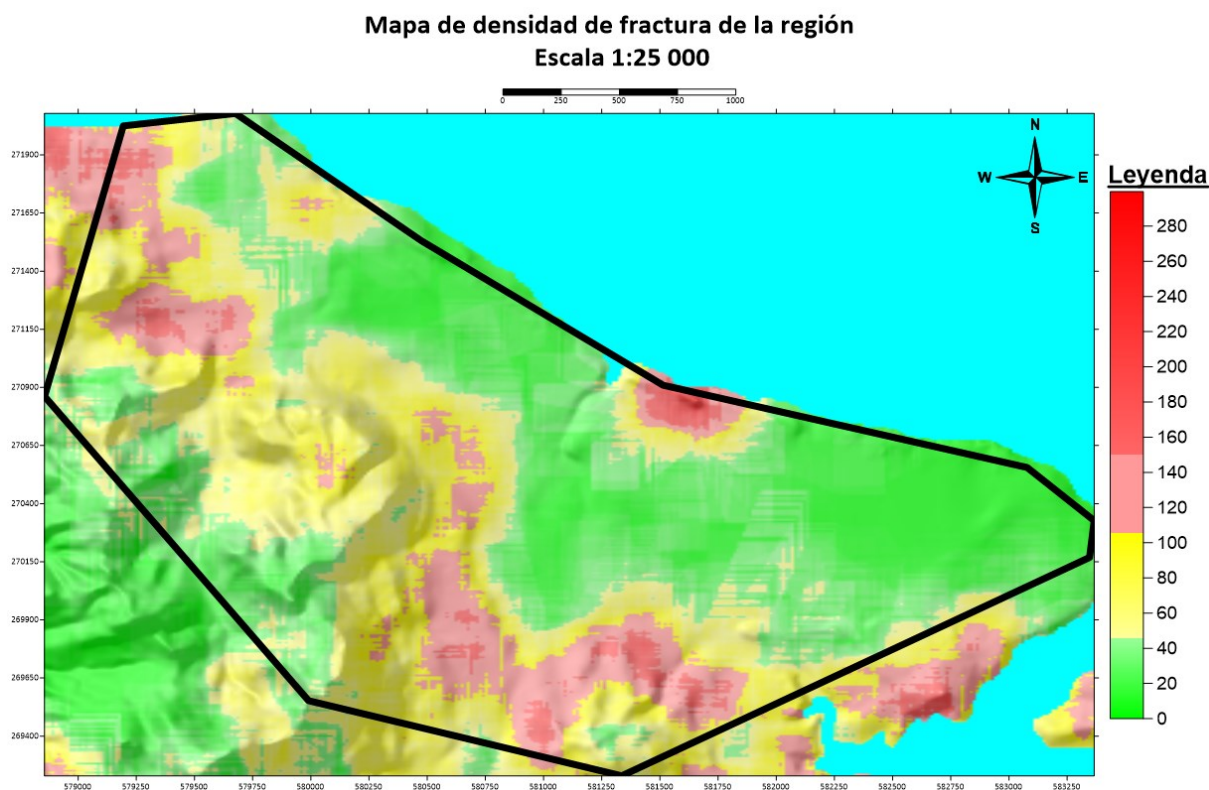


Figura 4.3. Mapa de densidad de fractura de la región de estudio. (Anexo 02)

4.3.2.- Mapa Geomorfológico local. (Anexo 02).

La confección de este mapa, se creó a partir del MDT y con ayuda de los mapas morfométricos creados, que se derivaron en la segunda etapa, por ejemplo, la pendiente, disección vertical y horizontal, hipsométrico e imágenes aéreas y satelitales.

Con el objetivo de representar las principales geoformas o formas del relieve y procesos importantes de formación del relieve del área, para su utilización como una herramienta más de ayuda a la ingeniería geológica aplicada. En el mapa

geomorfológico creado a partir de las características geodinámicas, morfométricas y litológicas se determinaron 9 unidades geomorfológicas:

Morfogénesis

- Terraza marina
- Zona eluvial
- Carso Litoral
- Zona de intenso desarrollo del carso
- Sedimentos marinos de playa
- Zona de acumulación de sedimentos marinos y palustre
- Zona de transición erosiva diseccionada
- Llanura pequeña denudativa poco diseccionada
- Llanura pequeña erosiva diseccionada
- Llanura pequeña erosiva denudativa diseccionada
- Llanura media denudativa diseccionada

Terraza marina: Representada por la zona llana colindante con la costa y compuesta por la formación Jaimanitas con que presenta una cobertura de sedimento o suelo y el fenómeno del carso presenta un menor desarrollo. Geomorfológicamente esta zona es estable y puede ser una zona buena para la ubicación de la obra recomendando un estudio de detalle con métodos geofísicos para la detección de posibles cavernas profundas ocasionadas por la sobre-explotación del agua subterránea y su relación con el agua marina y mediante estas fluctuaciones y la composición química de las rocas pueden ocurrir, la formación de estas estructuras

Zona eluvial: Esta área está definida por los depósitos o cortezas y suelos de la formación Rancho Bravo que es olitostrómica y de ahí que se diferencie de las terrazas marinas por su altura y composición del suelo, al presentar clastos de diferentes tamaños con una matriz arcillosa y gravosa en otras ocasiones arenosa por la génesis de formación de esta.

Carso Litoral: Conformados por las rocas que afloran de la formación Jaimanita muy carsificadas que limitan al norte con el mar y en ocasiones presentan socavones de erosión marina

Zona de intenso desarrollo del carso: Rocas intensamente carsificadas de la formación Jaimanitas, la misma presenta grandes dolinas, lapíes, oquedades y pequeñas cavernas



Zona de acumulación de sedimentos marinos y palustre: Se presenta en las zonas de playa más al oeste y se intercala con las rocas del carso litoral por la línea de costa y en las entradas del mar en las zonas, donde se realiza la descarga fluvial por la pendiente.

Zona de transición erosiva diseccionada: Zona donde existe las mayores pendientes del área, y de alto grado de disección según el mapa de disección vertical.

Llanura baja denudativa poco diseccionada: Área de baja altura que van de 0 a 20m, donde se observa como una zona denudativa por su forma de erosión horizontal o areal, y esta presenta bajo grado de disección como se observa en el mapa de disección vertical.

Llanura baja erosiva diseccionada: Área de baja altura que van de 0 a 20m, donde predomina la erosión sobre otro tipo de forma de creación de relieve, también presenta alto grado de disección.

Llanura baja erosiva denudativa diseccionada: Área de baja altura que van de 0 a 20m, donde predomina la erosión y la denudación, sobre otro tipo de forma de creación de relieve, también presenta alto grado de disección.

Llanura media denudativa diseccionada: Zona de alturas medias que van desde 20 a 80m con predominio de formas denudativas como formación de relieve, con alto grado de disección.

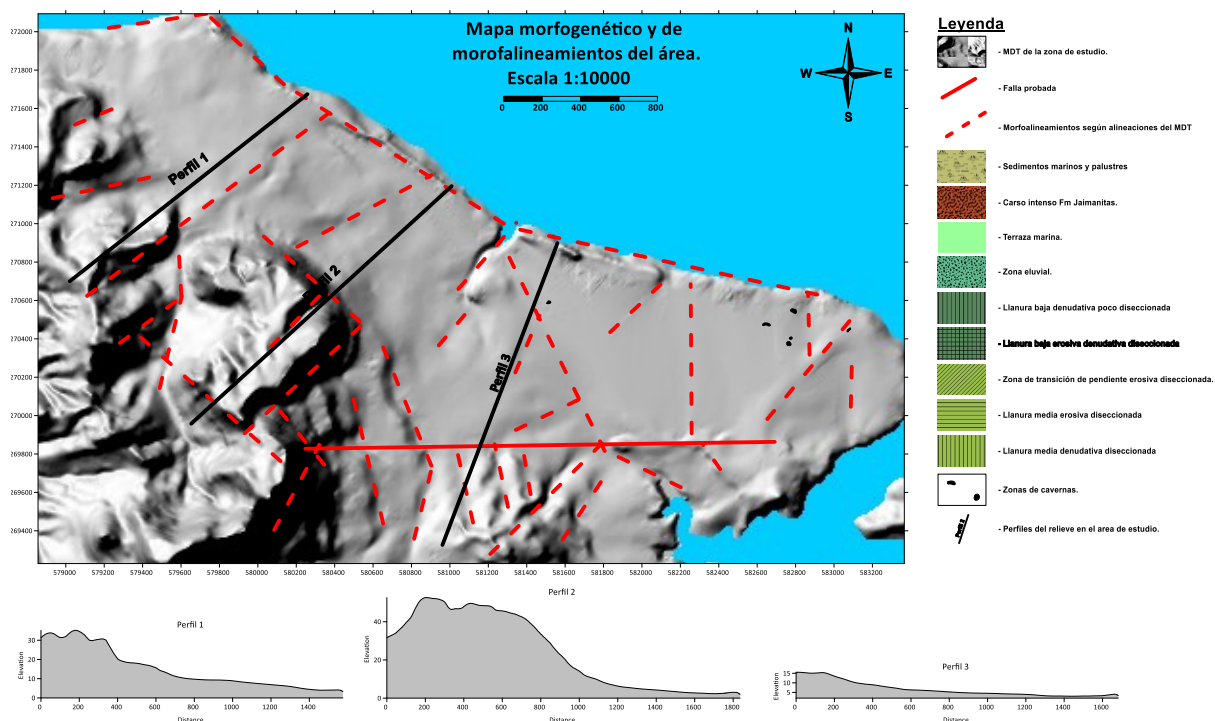


Figura 4.4. Mapa de los principales elementos geomorfológicos del área de estudio, incluidos perfiles del relieve, realizados para este análisis. Anexo 02.

4.4.- Análisis ingeniero geológico y descripción de las propiedades principales de las litologías presentes. (Anexo 04 y 05. Mapa y Perfiles litológico).

De las formaciones geológicas y asociaciones litológicas, en el área de estudio, afloran la asociación ofiolítica con rocas de serpentinita por el sur en zona elevada del área y la formación Júcaro, localizada en las partes SW y más altas del relieve, y la formación Jaimanitas localizada en la parte E y las más bajas hasta el mar. Afloran además depósitos arenosos de playas interiores algo alejado de la costa, los que han sido movilizadas por fenómenos que provocaron inundaciones costeras. En todas estas litologías, están representadas por diferentes tipos de rocas y sus cortezas de suelo o de meteorización, como por ejemplo la formación Rancho Bravo que solo afloran grandes espesores de corteza de sedimentos arcillosos con fragmentos de roca.

Según esta clasificación y los datos de laboratorio recogidos con anterioridad por los trabajos precedentes se distinguen 5 capas de tipos ingeniero-geológicos (Tipo IG) bien definidos las cuales se describen a continuación.

- Tipo IG-I.

Formado por las rocas serpentinitas alteradas y muy fracturadas en los primeros centímetros o metros y en ocasiones salen a la superficie las rocas sanas o frescas. Esta litología presenta una capa de poco espesor de suelo serpentinizado con fragmentos pequeños y abundantes de serpentinitas muy alterada.

Tabla 4.1 Propiedades físicas de las serpentinitas alteradas que afloran en la parte sur del área.

Propiedades Físicas de las Serpentinitas alteradas.	Valor Promedio (x)
Peso específico Sólidos (Gs)	2.66 g/m ³
Peso específico Húmedo	1.96 g/m ³
Peso específico Seco	1.69 g/m ³
Peso Volumétrico	
Humedad Natural	15,70%
Angulo de fricción	25°
Cohesión Específica	0.015 Mpa
Módulo de deformación	25 Mpa
Resistencia a la compresión axial	10 Mpa
Coeficiente de poisson (u)	0,28
Tamíz	
Fino < 200	30%
Arena	38%
Grava	32%
Límite Líquido	75%
Límite Plástico	40%
Índice Plástico	35%
Índice de los Poros (e)	57%
Saturación (S)	73%



- Tipo IG-II.

Formado por las calizas margosas en ocasiones arcillosas, pseudoconglomerados calcáreos, calcarenitas, margas, limolitas, en ocasiones con gravas polimícticas, y arcillas yesíferas que se alternan pertenecientes a la Fm. Júcaro, (Figura 4.3 y 4.4).

Solamente se carsifican las calcarenitas y en menor grado las calizas margosas y arcillosas. La resistencia de estas rocas es de baja a alta, una parte comportándose como suelo y otra parte comportándose como roca de alta resistencia. La yacencia es subhorizontal, presentando cambios faciales rápidos en sentido vertical y horizontal.

Esta litología según sus propiedades físico mecánicas es una de las mejores en el área para la ubicación de los aerogeneradores, pues a pesar de su variabilidad vertical y lateral que pasa de suelo gravoso margoso a marga y calizas arcillosas, tiene buena

resistencia a cargas y no existe un desarrollo general del carso, por otra parte, habría que analizar su lejanía de la costa que es la zona donde mayores rachas de vientos se puede recolectar.

Tabla 4.2. Propiedades físicas de las calcarenitas margosas que forman parte de la formación Júcaro afloran en la parte suroeste del área.

Propiedades físicas de las calcarenitas margosas.		Valor Promedio (x)
Peso Específico de los Suelos - (γ_s) (Partículas sólidas).		2,77
Humedad Natural - γ_{nat} (%).		0,23
Peso específico natural húmedo - (γ_f) (Densidad Húmeda, kN/m3).		23,18
Peso específico natural seco - (γ_d) (Densidad Seca, kN/m3).		23,12
Relación de Vacíos (adimensional) - e		0,18
Porosidad – n		15,16
Saturación – S (%).		4,26
Peso específico natural seco (γ_{sat})		24,61
RC - Roca cilíndrica.	Resistencia a la compresión axial seca	15,24
	Resistencia a la compresión axial saturada	8,21
Factor de dureza Protodiaconov (FKP)		1,46
Coeficiente de ablandamiento (kab)		0,54
Absorción (B)		6,65
Módulo de elasticidad	Módulo elástico seco	419,21
		425,25
	Módulo elástico saturado	366,40
		369,81
Módulo relativo de deformabilidad MR = Eseco 50% s/RCseca		29,55
Coeficiente de Poisson (g)		0,20
Clasificación por resistencia a compresión simple		
Tabla adaptada de Duncan y Jennings (Sower-Sower)		Muy blanda
ISMR (1981)		Blanda
GSL (1970)		Moderad. dura
Bieniawski (1973)		Muy baja
Precons 2005		Blanda
Por Kab		Ablandable
Por su porosidad (n)		Media
Por módulo relativo de deformabilidad (MR = Eseco 50% s / Rcseca)		Medio



Figura 4.7. Afloramiento de la capa Ingeniero geológica Tipo IG-II en la cima de la loma de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm. Júcaro.



Figura 4.8. Afloramiento de Tipo IG-II en el terraplén a jagüeyes de rocas margosas con fragmentos de calizas y calcarenitas de la Fm. Júcaro.

- Tipo IG-III.

Formado por las cortezas de suelo o meteorización de la formación Rancho Bravo de color pardo oscura, en ocasiones un poco arcillosa y las tonalidades varían de claro a oscuro, el suelo esta descolorado y alterado sin trazas de la estructura original y en ocasiones esta alterado en su mayoría con pequeños y ocasionales litorelictos del suelo original con escasos o nulos trozos de la estructura original. Esta litología pertenece a una unidad informal que en profundidad está constituida por conglomerados y brechas polimícticas con cemento carbonático, areniscas y limolitas polimícticas con cemento carbonático con intercalaciones de margas y arcillas.

Los fragmentos de los conglomerados y de las brechas están constituidos por serpentinitas, gabros, diabasas, basaltos, andesitas y sus tobas, margas, calizas, calizas silicificadas, silicitas y dolomitas. El corte inferior tiene un carácter olistostrómico, representado por los conglomerados y las brechas y el superior flyschoides, compuesto por las areniscas y las limolitas. La composición de los fragmentos predomina los de origen ofiolítico y vulcanógeno, calizas organodetríticas con biohermos carsificadas de la Fm. Jaimanitas.

Desde el punto de vista ingeniero-geológico, su excavabilidad es buena debido a la diversidad de los bloques y clastos que lo componen que generalmente son de rocas

muy duras como las diabasas, los gabros y las serpentinitas, pero las contiene una matriz muy frágil o poco consolidada, deleznable en ocasiones y muy suelta en otras.

Tabla 4.3 Propiedades físicas de la corteza sobre la formación Rancho Bravo que se observan en la parte oeste central del área.

Propiedades físicas de la corteza sobre la Fm Rancho Bravo	Valor Promedio (x)
Peso específico Sólidos (Gs)	2.68 g/m ³
Peso específico Húmedo	1.64 g/m ³
Peso específico Seco	1.35 g/m ³
Peso Volumétrico	
Humedad Natural	22%
Angulo de fricción	19°
Cohesión Específica	0.01 Mpa
Módulo de deformación	17 Mpa
Resistencia a la compresión axial	
Coeficiente de poisson (u)	0,3
Fino < 200	32%
Arena	62%
Grava	6%
Límite Líquido	40%
Límite Plástico	33%
Índice Plástico	7%
Índice de los Poros (e)	99%
Saturación (S)	60%

- **Tipo IG-IV.**

Formado por las calizas organodetríticas con biohermos carsificadas de la Fm. Jaimanitas. Se puede subdividir por el grado de carsificación y composición litológica en dos subtipos ingeniero-geológicos (IG):

- **Subtipo IG-IV-a.** Calizas biodetríticas, muy carsificadas. Forman campos de lapies o diente de perro, siendo extremadamente cavernosas o porosas por la disolución cársica. Son de bordes filosos, duras y al golpearlas el sonido es semimetálico. La resistencia al golpe de piqueta es de media a alta, la permeabilidad por el grado de carsificación es muy alta y cercano al nivel freático o del nivel medio del mar, la

cavernosidad es por capas y se extienden por debajo de la segunda terraza marina conectándose unas con otras y su relación con el mar, estas son de pequeños tamaños alcanzando las mayores no más de 5m.

En este tipo litológico se puede observaren las fotos del levantamiento que algunas contienen agua en su interior corroborándose la versión de los pobladores entrevistados de sus sospechas de tener una relación con los cambios de niveles del mar o corrientes de flujo y reflujo. *Figura 4.5 y 4.6.*

	
<i>Figura 4.9. Campo de calizas muy carsificadas, formando cavernas de tipo embudos.</i>	<i>Figura 4.10. Caverna con agua y posible relación con el mar y las mareas.</i>

Para construir sobre este **Tipo IG**, deben tomarse medidas especiales ingenieriles como, por ejemplo, inyecciones de cemento en cavernas y oquedades detectadas que puedan afectar la obra, hincas de pilotes, en zona necesarias. Además, por la agresividad que pueden presentar las aguas sobre los cimientos, deben usarse cementos especiales o revestimientos sobre estos, para evitar los efectos negativos de la salinidad sobre el hormigón y los aceros. Aparte de esto una investigación bien detallada para la localización de las cavernas y embudos carsicos para evitar posibles derrumbes o desplomes en las construcciones.

- **Subtipo IG-IV-b.** Calizas organodetríticas masivas con fósiles, y calcarenitas dolomíticas, resistencia baja, que puede comportarse como suelo areno arcilloso de color rojo ladrillo con abundantes fragmentos de rocas caliza carsificadas en menos grado que el tipo anterior, mejor excavable, menos resistente y menos permeable, de menos espesor. (*Figura 4.7 y 4.8*).



Figura 4.11. Corteza de meteorización o suelo sobre las calizas organodetríticas, masivas y biocalcarenitias semicarsificadas de la fm. Jaimanitas.



Figura 4.12. Se observan abundantes fragmentos de calizas organodetríticas, carsificadas en superficie mezclados con la corteza.

En este subtipo ingeniero-geológico puede construirse el parque eólico, aunque haciendo una investigación geólogo-geofísica más detallada, que pueda revelar la presencia de cavernas cársticas que, aunque no se evidencian en superficie y pueden desarrollarse en profundidad.

Este **Tipo IG-IV** se comporta similar con respecto a sus propiedades físico-mecánicas y químicas de las Capa No.2. Y Subtipo IG II del Estudio Ingeniero Geológico del Parque Eólico Gibara II y III, realizado por La Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad, (INEL en el 2008), las cuales ofrecieron los siguientes valores promedios y de cálculo de las propiedades físico-mecánicas y químicas de la capa:

Tabla 4.4 Propiedades físicas de las calizas biodetríticas cavernosas carsicas que se observan en la parte norte y noreste del área.

Propiedades físicas de las calizas biodetríticas cavernosas carsicas.	Valor Promedio (x)
gs - Peso Específico de los Suelos (Partículas sólidas) (adimensional).	2,76
wNat - Humedad Natural (%).	0,32
Peso específico natural húmedo (γ_f) (Densidad Húmeda, kN/m ³).	22,98
Peso específico natural seco (γ_d) (Densidad Seca, kN/m ³).	22,90
Relación de Vacíos (adimensional) - e	0,19
Porocidad - n	15,54
Saturación – S (%).	5,81
Peso específico natural seco (γ_{sat})	24,43

RC - Roca cilíndrica.	Resistencia a la compresión axial seca	15,41
	Resistencia a la compresión axial saturada	7,50
Factor de dureza Protodiaconov (FKP)		1,58
Coeficiente de ablandamiento (kab)		0,48
Absorción (B)		6,54
Módulo de elasticidad	Módulo elástico seco	353,92
		361,66
	Módulo elástico saturado	255,45
		242,07
Módulo relativo de deformabilidad MR = Eseco 50% s / RCseca.		24,54
Coeficiente de Poisson (g)		0,20
Clasificación por resistencia a compresión simple		
Tabla adaptada de Duncan y Jennings (Sower-Sower)		Muy blanda
ISMR (1981)		Blanda
GSL (1970)		Moderad. dura
Bieniawski (1973)		Muy baja
Precons 2005		Blanda
Por Kab		Ablandable
Por su porosidad (n)		Media
Por módulo relativo de deformabilidad (MR = Eseco 50% s / Rcseca)		Medio

- Tipo IG-V.

Formado por los depósitos marinos de las arenas de playa generalmente de granulometría fina en algunos sectores y grueso en otros, con gravas sueltas con respecto a la posición en la costa. En el área de estudio aparece cercanas a la costa, con evidencias de removilización de estos depósitos por las arroyadas superficiales en épocas de lluvias. Su potencia es pequeña, no superando los 2 m por lo que no se profundizará en su estudio, pero se menciona ya que no es recomendable construir en esta zona, primero por su importancia en la función que presentan para el medio ambiente y las costas y segundo sus características geotécnicas no son las mejores por los que se debería tomar muchas medidas ingenieras e incurriría en mayores gastos económicos que si se construyera en otras zonas recomendadas (Figura 4.9 y 4.10).



Figura 4.13. Área paralela a la costa o duna de arena.



Figura 4.14. Arenas, gravas y sedimentos carbonatados, movilizados por las arroyadas superficiales en época de lluvias.

4.3.1.- Análisis del mapa litológico y los perfiles. (Anexo 04 y 05)

Es muy difícil separar los mapas litológico y del carso que aflora en la parte este del área por estar ambas variables estrechamente relacionadas, por lo que se da un solo mapa, el litológico, el cual abarca un análisis más general del área, teniendo en cuenta el análisis de cada capa por zonas, según los datos obtenidos por el levantamiento de campo realizado (Anexo 09) y las formaciones geológicas del mapa geológico 1:50 000 realizado por el CAME, por otra parte este mapa también se realiza para brindar o tener una noción del comportamiento ingeniero geológico constructivo del área por capas, por lo cual es muy importante para la obtención del mapa final de conveniencia constructiva.

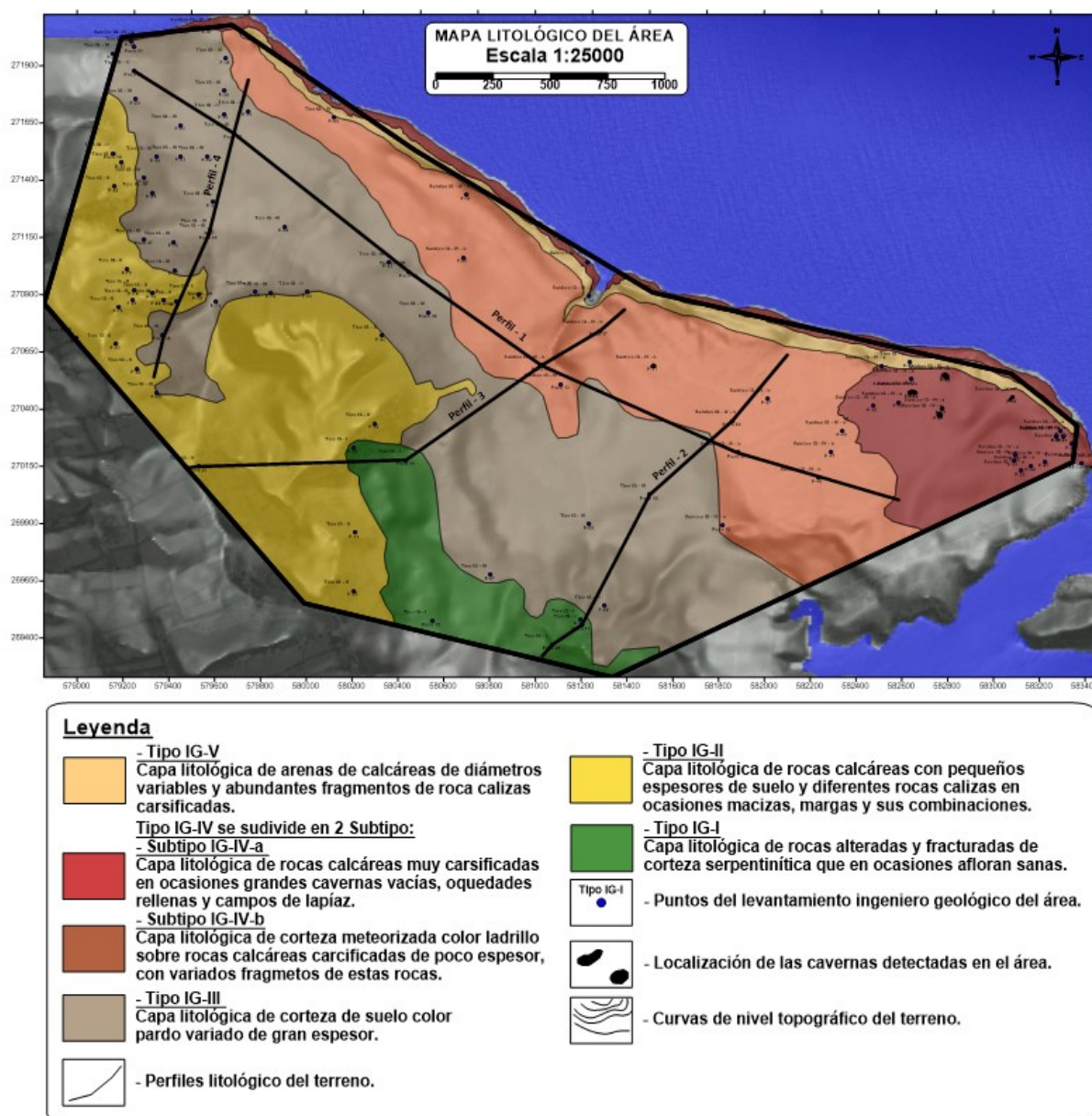


Figura 4.15. Mapa litológico del área de estudio. Anexo 04

Del mapa litológico del área y mediante los datos recogidos en el campo se realizaron una serie de 4 perfiles que abarcan las principales estructuras y la mayoría de las litologías definidas por los tipos ingeniero geológicos, aquí se puede observar muy bien la relación de la línea del nivel freático y su relación con la litología, su relación con el mar y en unos pozos se observa el abatimiento que produce la explotación de los mismos. Otro detalle importante son las estructuras tectónicas y de fracturación con respecto al relieve como se observa en el ejemplo de la *Figura 4.12 del Perfil 2* del área

donde el cambio de pendiente representa la falla probada que se representa en el mapa del CAME a escala 1:50 000 y en el Mapa Geológico a escala 100 000 del IGP, la relación entre los contactos litológicos no es muy definida debido a que espesor de las capas de corteza de suelo en todas las formaciones son de tamaño considerable y algo parecida en cuanto al porcentaje de granulometrías arcillosas.

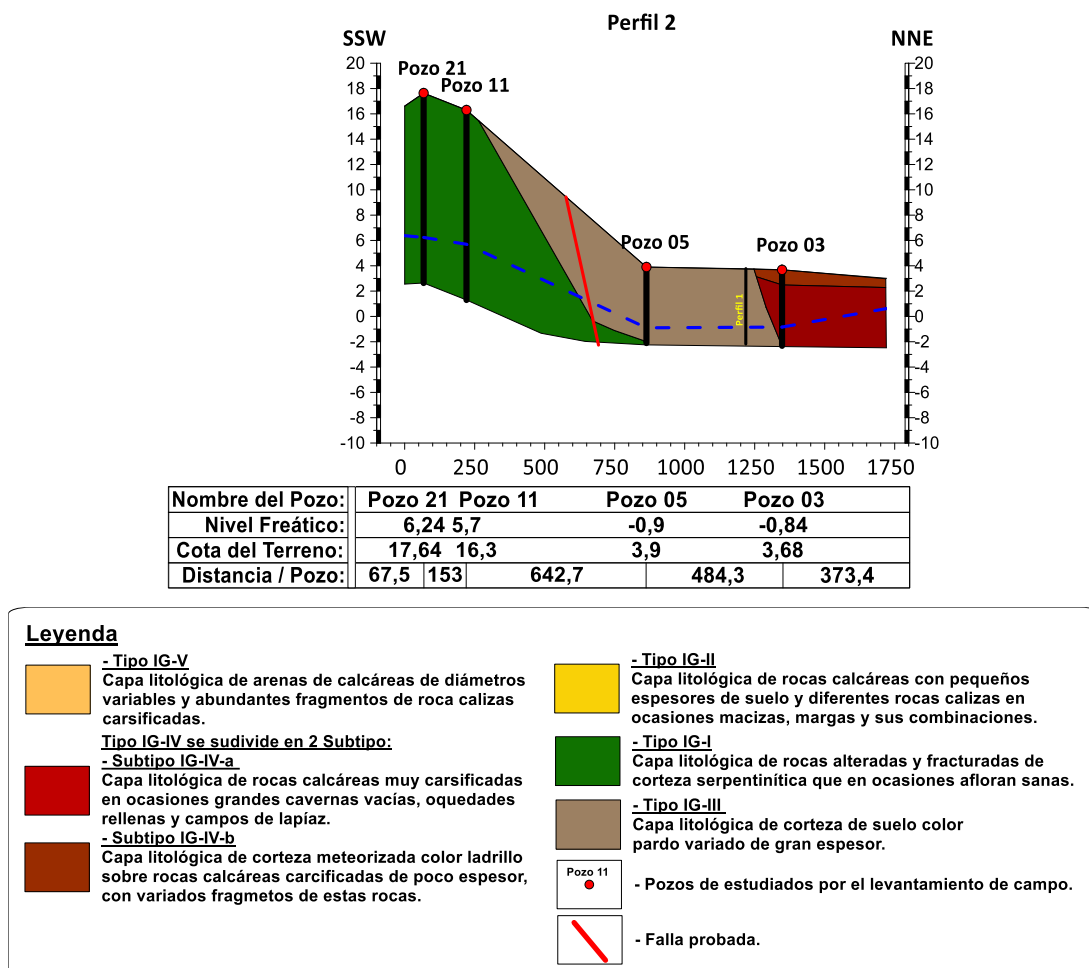


Figura 4.16. Perfil litológico (Perfil 2) Anexo 05.

4.5.- Cálculos de los índices de excavabilidad. (Anexo 06 Mapa de Excavabilidad).

Como se explicó en el capítulo anterior, para la confección del mapa de excavabilidad es preciso realizar una serie de pasos para definir los valores de cada una de las litologías por cada una de las formaciones. Para comenzar se organizan las

formaciones por Id y se dan los valores del FKP, los índices de dureza, la homogeneidad y las intercalaciones de rocas y minerales de alta dureza, quedando de esta forma:

Tabla 4.5. Representación de los valores FKP y los índices de dureza.

Formación	Id Fm	Litología	Dureza		Homogeneidad 2	Intercalaciones R/M de alta dureza 3
			FKP	Índice 1		
Rancho Bravo	1	Sedimentos	0	1	1	1
Jaimanitas	2	Sedimentos	0	1	1	1
Júcaro	3	Arcilla	0	1	3	1
Júcaro	4	Margas	0	1	3	1
Júcaro	5	Calizas	1,46	1,28	7	5
Jaimanitas	6	Calizas Carsificadas	1,58	1,3	10	10
Rocas Serpentinizadas	7	Serpentinita Alt	0,6	1,11	5	5
	8	Serpentinita	5,2	2	10	10

De los resultados de la tabla anterior se extraen los siguientes valores para conformar la tabla donde se le asignaran los pesos, para sustituirlo en la fórmula de los Índices de Excavabilidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.6. Organización de los valores para otorgarles peso por interés de experto y sustituirlos en la fórmula.

Id Fm	-1	Peso (1)	-2	Peso (2)	-3	Peso (3)	Índ. Excav.
1	1	4	1	2	1	3	
2	1	4	1	2	1	3	
3	1	4	3	2	1	3	
4	1	4	3	2	1	3	
5	1,28	4	7	2	5	3	
6	1,3	4	10	2	10	3	
7	1,11	4	5	2	5	3	
8	2	4	10	2	10	3	

Para demostrar los resultados de la Excavabilidad a partir de la sustitución en la formula se mostrará como quedo en un ejemplo de la Id Fm 8, litología de las serpentinitas encontradas en el borde sur del área.

$$I.Excav. = \frac{(11 - (1)) * Peso(1) + (2) * Peso(2) + (11 - (3)) * Peso(3)}{Peso(1) + Peso(2) + Peso(3)}$$

$$I.Excav. = \frac{(11 - 2) * 4 + 10 * 2 + (11 - 10) * 3}{4 + 2 + 3}$$

$$I.Excav. = \frac{59}{9}$$

$$I.Excav. = 6,55$$

A partir de los resultados de los *Ind. De Excavabilidad*. se crea una escala para su representación por colores en el mapa y tener una idea de cómo quedaría el mapa se expone en la siguiente tabla:

Tabla 4.7. Resultado de las Ind. de excavabilidad y escala de colores por los valores.

Id Fm	-1	Peso (1)	-2	Peso (2)	-3	Peso (3)	Índice Excavabilidad
1	1	4	1	2	1	3	8
2	1	4	1	2	1	3	8
3	1	4	3	2	1	3	8,44
4	1	4	3	2	1	3	8,44
5	1,28	4	7	2	5	3	7,87
6	1,3	4	10	2	10	3	6,86
7	1,11	4	5	2	5	3	7,50
8	2	4	10	2	10	3	6,55

Para la representación de la escala se comienza a partir de: (6 hasta 6,9 color Rojo que representa los índices de Excavabilidad más bajos es decir, donde mayor índice de dureza por datos de laboratorio presentan las rocas, por menor homogeneidad de la litología y donde los minerales que la componen presenten altas dureza); (de 7 a 7,9

color amarillo que representa los valores medios de los índices de Excavabilidad del área); (de 8 a 9 son los valores más altos de índice de excavabilidad, donde las rocas se componen de sedimentos como cortezas, y semirocas de baja dureza y formaciones de litologías homogéneas).

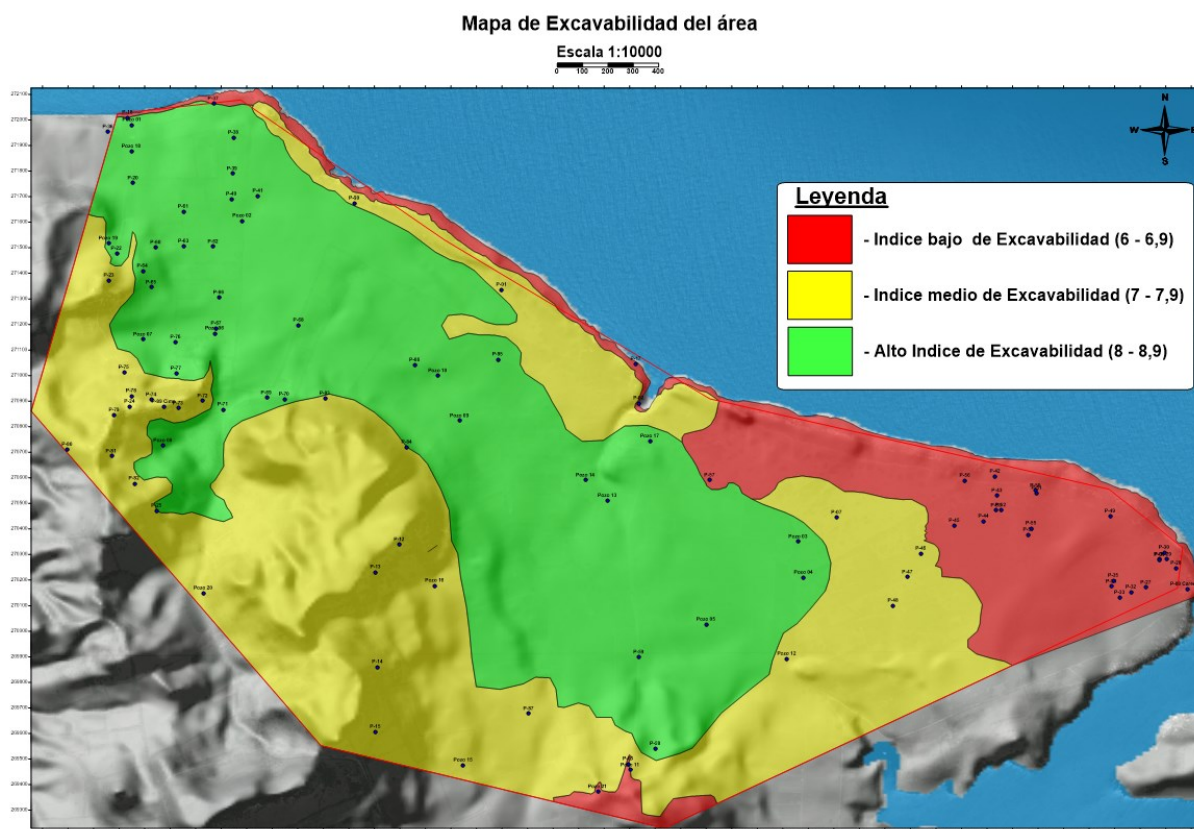


Figura 4.18. Mapa de excavabilidad del area de estudio. Anexo 06.

4.6. - Hidrogeología. (Mapa de dirección y nivel freático de las aguas subterráneas Anexo 07)

Las mediciones de los niveles, dan un nivel freático con cotas muy variadas, siendo ligeramente más elevados los niveles al sur del área en correspondencia con el relieve, y otras más bajas en las cercanías a la costa con igual correspondencia, dando una dirección del flujo hacia el norte-noreste con un gradiente hidráulico muy elevado que varía desde los 3m hasta los 23m. En las mediciones tomadas se tomó un pozo que estaba bombeando y este presentó un amplio abatimiento por eso se observa una

anomalía en el centro del área en el Pozo 16 exactamente. Las aguas subterráneas en el área pertenecen a un único horizonte acuífero conformado con rocas carbonatadas del cuaternario medio. Su nivel es libre, se alimentan de las precipitaciones atmosféricas o aguas fluviales que bajan por la pendiente de las zonas elevadas del sur del área, estas se infiltran por los poros, grietas, formas cársticas, zonas de aereación y se mueven a través de grietas y fisuras de las rocas que la contienen.

Existe una estrecha interrelación hidráulica entre las aguas más cercana a la costa en la zona este del área cercana a el poblado de Carenero y se evidencia en las cavernas encontradas las cuales según entrevistas realizadas a los pobladores confirman la relación del agua de las cavernas con el agua de mar, en sus fluctuaciones periódicas (pequeñas) del nivel superior y coincidente con el movimiento de las mareas, que se hace de menor amplitud en la medida en que se aleja de la faja litoral.

La composición del agua subterránea es variable, pueden encontrarse hasta más de 1 km tierra adentro, intercalaciones de láminas de aguas dulces, salobres y saladas. Las aguas subterráneas, más cercanas al litoral de acuerdo con el resultado de los ensayos a las muestras, en todos los casos, estas se clasifican según Kurlov como Cloruradas Sulfáticas – Sódicas Magnésicas. Según su PH, en su totalidad son aguas alcalinas, por su mineralización son salinas y por su dureza, en todos los casos fueron obtenidos valores de concentración de Calcio y Magnesio que las conceptúan como muy duras y aunque no contiene agresividad al carbonato, por sus concentraciones de Magnesio y Bicarbonatos son aguas altamente corrosivas al acero y a envolturas de plomo en cables soterrados. (INEL, del 2008).

En la próxima etapa de investigación en el lugar seleccionado para la construcción del nuevo parque, y en específico en cada aerogenerador, debe hacerse un muestreo exhaustivo de las aguas subterránea, para definir con exactitud el tipo de agresividad al hormigón y a los aceros, y las medidas a tomar, como son la selección de cementos resistentes, definir el tipo de recubrimiento de los cimientos, etc.

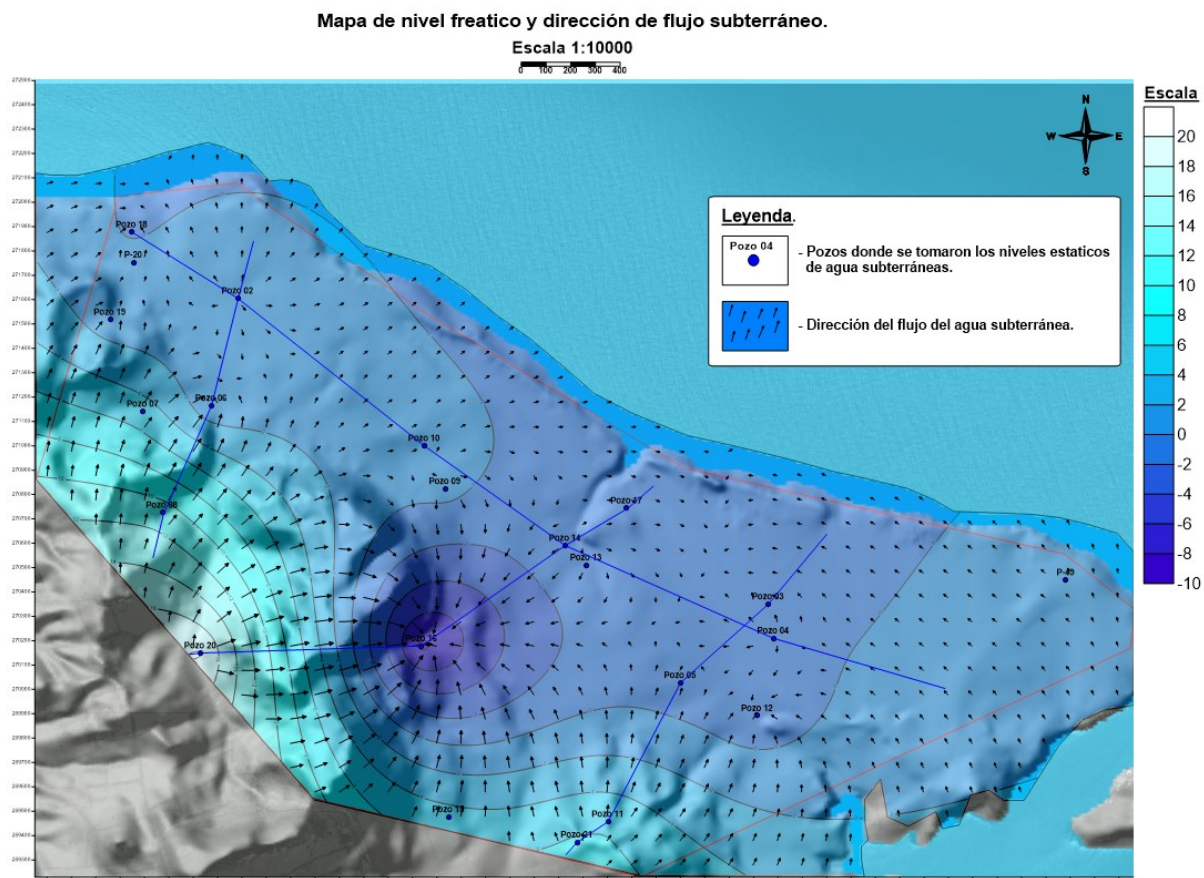
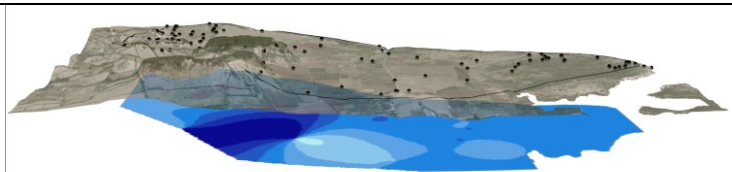
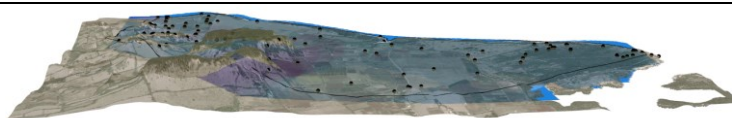


Figura 4.19. Mapa de nivel y dirección de flujo del agua subterránea en el área. Anexo 07.

*Figura 4.20.
Análisis de la
hidrogeología del área
en una representación
3D.*



*Análisis a escala real
del área.*



4.7. - Análisis del mapa final de conveniencia constructiva.

- **Mapas de conveniencia constructiva. (Anexo 08)**

El análisis de conveniencia constructiva, se realizó, después de obtenido e interpretado los mapas temáticos anteriores, el cuál sería el resultado final y más importante de la investigación. En este se expone dónde y cuáles son las áreas o zonas de la parcela, más perspectiva la ubicación y construcción de la obra y su análisis se describe a continuación por capas ingeniero geológicas, litológicas. (Tabla 4.8). Se confeccionó para la realización de la tabla del mapa de conveniencia, de manera que este método es de carácter criterial, el peso es dado por los elementos y criterios que da el especialista.

Tabla 4.8. Análisis de la litología por peso para la confección de la tabla de conveniencia.

Litología	1	2	3	4	5	6	peso
Calizas Margosas	x	x	x	x	x	x	6
Secuencia Olitostromas	x	x	x	x	x		5
Serpentinita	x	x	x	x			4
Calizas biodetríticas masivas	x	x	x				3
Calizas biodetríticas Carsicas	x	x					2
Arenas de Playas y sedimentos palustres.	x						1

La litología y su relación con los fenómenos geológicos y otros parámetros geotécnicos que afectan y puedan afectar la construcción de la obra, para ello se tuvo en cuenta la metodología utilizada por la Agencia de Investigaciones Regionales y aplicada con éxito en diferentes estudios a partir de las ideas conceptuales establecidas por Astraín Rodríguez y Guillarte Fernández, (1995), el cual tiene en cuenta el análisis de conveniencia constructiva para el tipo de obra que se planifica: parques eólicos; según las variables específicas por los fenómenos que afectan o pudieran afectar el área.

Para comenzar se creó una base de datos, tipo SIG, con todos los mapas temáticos y datos que intervienen con gran importancia, y que definen las áreas con mayor

prospecto a la ubicación de la obra. Esto permitió mediante una la metodología de matriz de riesgo, crear de manera sencilla la *Tabla 4.4* la cual relaciona aspectos de carácter geológico como son las formaciones presentes las litologías que presentan y el nombre del tipo ingeniero geológico al que están asociada según la interpretación realizada contra los procesos y fenómenos geológicos que se identificaron y actúan en el área. Para esto se crea una escala *Tabla 4.3* que iría del 1 al 3 asignándosele un color a cada número y a partir del criterio de experto se le asigna un número de la escala por el peso del proceso que contiene el tipo ingeniero geológico analizado, al finalizar se suman los números del peso que se dio y se sitúa en otra escala que va de 6 a 15 de la cual dependiendo del valor que resulte será su nivel de conveniencia.

Tabla 4.9. Escala para la determinación de la conveniencia constructiva.

Simbología				
	3	(13-15)	Alto	Color Rojo (Conveniencia Mala).
	2	(10-12)	Regular	Color Amarillo (Conveniencia Media).
	1	(6-10)	Bajo	Color Verde (Conveniencia Buena).

Tabla 4.10. Análisis de la conveniencia, por peso y criterio de experto mediante matriz de riesgo.

Fm. que pertenecen	Litología	Tipos Ingeniero Geológico		Procesos analizados a tener en cuenta para la ubicación del parque eólico.						Total
				Carso Intenso.	Tectónica Agrietamiento y Fallas	Características Geotécnicas	Hidrogeología	Geomorfología	Excavabilidad	
Serpentinitas.	Serpentinitas y rocas serpentinizadas. Capa de suelo con fragmentos de rocas	Tipo IG-I		1	3	1	1	1	3	10
Jc. Júcaro.	Calizas arcillosas, calcarenitas, margas, limolitas, gravas polimícticas, arcillas yesíferas	Tipo IG-II		1	1	2	1	3	1	9
Rb Rancho Bravo.	Secuencia olistostrómica conglomerados, areniscas y aleurolitas polimícticas	Tipo IG-III		1	2	2	1	1	1	8
Ja. Jaimanitas.	Calizas biodetríticas masivas, Con carso intenso carsificadas, muy fosilíferas Cavernas Oquedades y grietas	Tipos IG-IV	Subtipo IG-IV-a	3	2	1	3	1	3	13
	Calizas biodetríticas masivas, algo carsificadas, con capa de suelo		Subtipo IG-IV-b	2	1	1	3	1	2	10
m. D. Marinos.	Arenas de Playas y sedimentos palustres.	Tipo IG-V		2	1	3	3	3	1	13

A continuación, se establece una breve explicación del criterio de experto con el que se creó la tabla para la conveniencia dentro del marco geólogo - geotécnico de las litologías del área, para obtener una mayor comprensión y poder valorar desde el punto de vista ingeniero geológico constructivo y económico.

Primeramente, después de analizados todos los factores que de una forma u otra tienen importancia en la definición de la ubicación de la obra se reconoce que la litología más conveniente para construir son las rocas calizas, margosas, arcilloso-gravosas y



calcáreas arcillosas y otras combinaciones de la Fm Júcaro (*Tipo IG-II*) en primer lugar además de las cortezas de sedimentos y abundantes fragmentos olitostrómicos del centro del área de Tipo IG-III que se presentan con buenas características para la construcción, esta decisión fue tomada por la resistencia de esta capa y sus capacidades de propiedades físicas para soportar cargas.

La segunda capa más conveniente es la capa de las rocas serpentinitas de la asociación ofiolítica (*Tipo IG-I*) a pesar de estar asociadas a un gran número de fenómenos tectónicos, de cabalgamiento por encima de las rocas más jóvenes etc. Conjuntamente con esta capa se tienen las de las calizas organodetríticas masivas con fósiles, y calcarenitas dolomíticas, resistencia baja, que puede comportarse como suelo areno arcilloso de color rojo ladrillo con abundantes fragmentos de rocas caliza carsificadas la de Subtipo IG-IV-b, donde no se observan los procesos del carso, solo localmente, en pequeños sectores y se pudo comprobar durante los trabajos de campo

Le sigue en orden poco conveniente las calizas organodetríticas muy carsificadas (Subtipo IG-IV-a) pertenecientes a la Fm. Jaimanitas, con desarrollo del carso superficial y subterráneo. El subtipo IG-II-a muy poco conveniente formado por las calizas biodetríticas muy carsificadas de la misma formación geológica, donde se desarrollan amplios campos de lapiez o dientes de perro con desarrollo también del carso subterráneo con cavernas con presencia de aguas saladas, se presenta como la menos buena para las construcciones de este tipo de obras y de ser utilizada se deberá tomar medidas de construcción civil que contra resten estos procesos, además de una intensa investigación de detalle para localizar y tener conocimiento del estado en que se encuentra el proceso carsico.

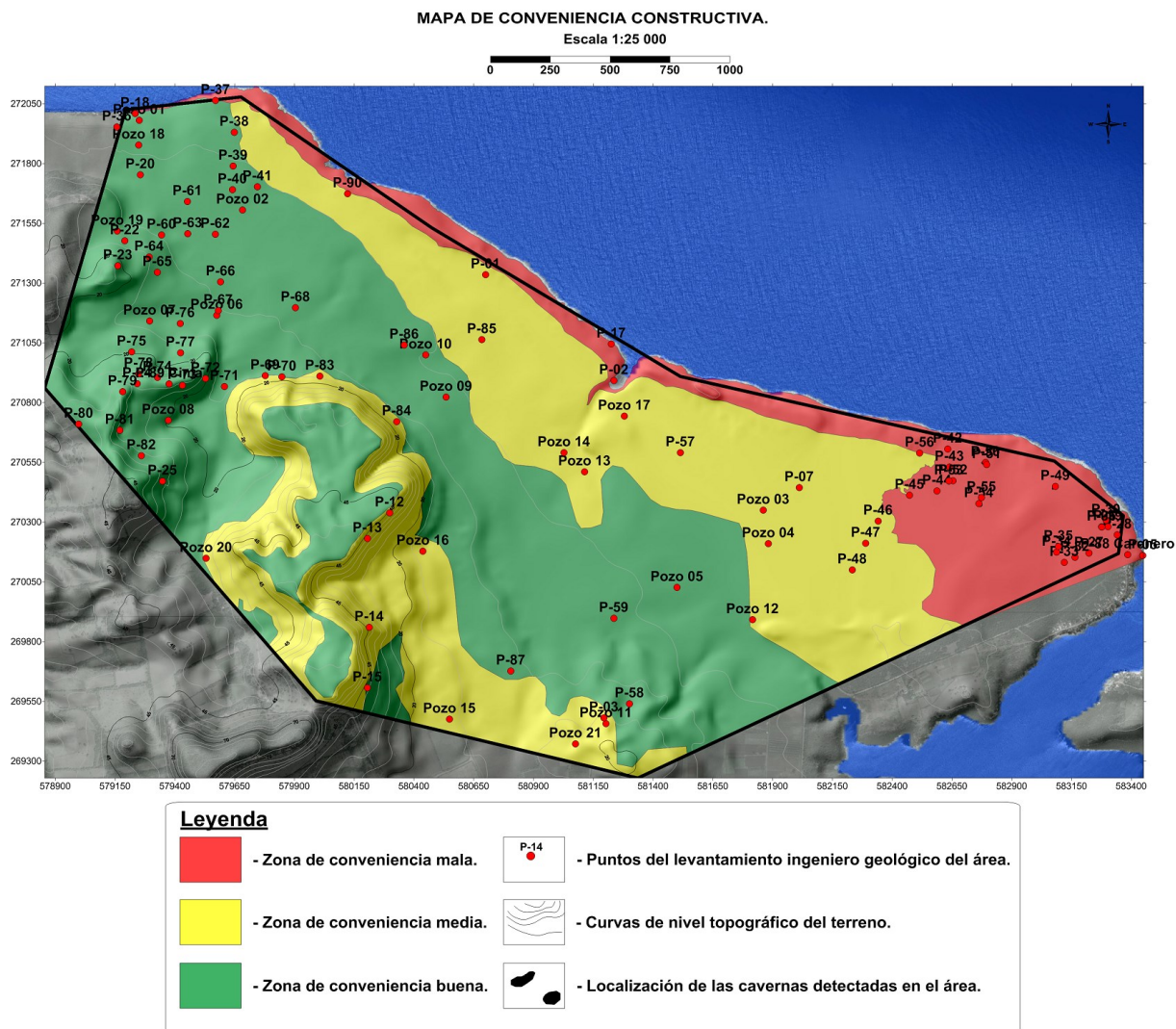


Figura 4.21. Mapa de la conveniencia constructiva o zonas más perspectivas para la ubicación del parque eólico.

CONCLUSIONES

1. En el área de estudio se identificaron 4 tipos ingeniero-geológicos de litologías y dos subtipos:
 - a) **Tipo IG-I.** Formado por las rocas serpentinitas alteradas y muy fracturadas en los primeros centímetros o metros y en ocasiones salen a la superficie las rocas sanas o frescas.
 - b) **Tipo IG-II.** Formado por las calizas arcillosas, pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, limolitas, en ocasiones con gravas polimícticas, y arcillas yesíferas que se alternan pertenecientes a la *Fm. Júcaro*.
 - c) **Tipo IG-III.** Formado por las cortezas de suelo o meteorización de la formación Rancho Bravo el suelo esta descolorado y alterado sin trazas de la estructura original y en ocasiones esta alterado en su mayoría con pequeños y ocasionales litorelictos del suelo original con escasos o nulos trozos de la estructura original.
 - d) **Tipo IG-IV.** Formado por las calizas biodetríticas con biohermos carsificadas de la *Fm. Jaimanitas*. Se puede subdividir por el grado de carsificación y composición litológica en dos subtipos ingeniero-geológicos (IG):
 - **Subtipo IG-IV-a.** Calizas biodetríticas muy carsificadas. Forman campos de lapiez o diente de perro, siendo extremadamente cavernosas o porosas por la disolución cársica. Son de bordes filosos, duras y al golpearlas el sonido es semimetálico. La resistencia al golpe de piqueta es de media a alta, la permeabilidad por el grado de carsificación muy alta y cercano al nivel freático o del nivel medio del mar, la cavernosidad cambia desde predominantemente vertical a horizontal, pudiendo formar grandes cavernas freáticas donde se mezclan las aguas subterráneas dulces y saladas del mar.
 - **Subtipo IG-IV-b.** Calizas organodetríticas masivas con fósiles, y calcarenitas dolomíticas, resistencia baja, que puede comportarse como suelo areno arcilloso de color rojo ladrillo con abundantes fragmentos de rocas caliza carsificadas en menos grado que el tipo anterior, mejor excavable, menos resistente y menos permeable, de menos espesor.



2. Los procesos cársicos intensos, en las rocas de la Formación Jaimanitas, representan el principal fenómeno geológico que afecta el área de estudio. Estas zonas cársicas son de muy mala conveniencia para la ubicación del parque eólico, debido a la existencia de estas formas de relieve con estructuras muy peligrosas para la construcción de las obras, si no se toman medidas ingenieriles.
3. De acuerdo a los resultados analizados por esta investigación los tipos ingeniero geológicos más perspectivo para la ubicación del parque son Tipo IG-II, Tipo IG-III litologías más convenientes para el emplazamiento de los aerogeneradores, y en segundo lugar se determinó que las litologías Tipo IG-I y Subtipo IG-IV-b, eran de conveniencia media dentro de las litologías analizadas y el Tipo IG-V y el Subtipo IG-IV-a que son los de muy mala conveniencia constructiva para construir el parque por las características ingeniero geológicas investigadas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar en las próximas etapas en las áreas más perspectivas investigaciones geofísicas (geolectricidad y sísmica) y de perforación con recuperación de testigos, encaminados a determinar estructuras cársticas y propiedades físico-mecánicas de las rocas del cimientto.
2. Una vez delimitados las estructuras cársticas, en caso de que se encuentren algunas inevitablemente por debajo de la obra, deben tomarse medidas ingenieriles como hinca de pilotes o inyecciones de cemento.
3. Para la agresividad de las aguas marinas o salobres, es necesario la utilización de cementos especiales en la construcción de los cimientos o recubrimientos de los mismos.
4. Hacer un estudio sísmico puntual por el CENAIIS en el área de estudio, debido al incremento de la sismicidad en región oriental.
5. Recomendación para la construcción de los cimientos:

El diseño de los cimientos de un aerogenerador se debe principalmente al momento de volteo en la base de la torre, en condiciones de viento extremas. Los aerogeneradores generalmente tienen un cimiento en forma de bloque hechos de concreto armado. Los cimientos para las torres autosoportadas se dimensionan de tal manera, que se evite que el aerogenerador se voltee. El diseño del cimiento se debe basar en el conocimiento adecuado del suelo en cuestión, donde se pruebe que en el sitio elegido el suelo provea al menos la capacidad de carga mínima asumida en el diseño del aerogenerador. Si el suelo es demasiado suave, se requerirá de pilotes adicionales para la cimentación. Previo a colocar el concreto es muy importante instalar el conducto para cables y la conexión a tierra. El cimiento de un aerogenerador de 600 kW requerirá aproximadamente de 165 m³ de concreto y unas 25 toneladas de acero de refuerzo.

BIBLIOGRAFIA

- Estudio geotécnico del terreno para la construcción de un parque eólico formado por 132 aerogeneradores denominado, Eólica del sur – BII BINNIZÁ – 396 mw”. 2013, (El Espinal” y “Juchitan de Zaragoza”. Oaxaca, México.
- ARANGO ARIAS, E.D. *Análisis sismotectónico del territorio oriental de Cuba a partir de la integración del modelo de corteza 3D de datos gravimétricos con datos sismológicos y geodésicos*. Tesis Doctoral. CICESE, 2014.
- ASTRAÍN RODRÍGUEZ, P.J. y C. GUILARTE FERNÁNDEZ. Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y aplicación del análisis morfológico y morfométrico en la investigación ingeniero - geológica regional básica. EMPI - FAR. 1993.
- Sistema complejo de digitalización del relieve, análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de estructuras disyuntivas. U.C.M, GER-CITEC. Habana, 1994.
- Sistema complejo de Investigación Ingeniero-Geológica Regional Básica. 1995.
- BANDERA CUÑAT, I. *Evaluación ingeniero –geológica de la ciudad de Caimanera*. Trabajo de Diploma. ISMMM, Departamento de Geología, 2015.
- BERKEY, C. *Responsibilities of the geologist in engineering projects*. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Technical Publication, 1929, 215.
- BLANCO BLÁZQUEZ, J.L. Sistema de Información Geográfico de la Provincia Holguín. 2010.
- BRYAN, K. Geology of reservoir and dam sites, with a report on the Owyhee Irrigation Project. En. Oregón: No. 597-A, Oregón. No. 597-A. 1929.
- CARRALERO CASTRO, N. *Análisis morfotectónico de la parte noroccidental de la provincia de Holguín para el pronóstico de procesos y fenómenos físico – geológicos*. Tesis de Maestría. ISMMM, Departamento de Geología, 2006.
- CEDEÑO TEXIDO, D. *Estudio de la viabilidad de la construcción de un Parque Eólico, Herradura I*. Las Tunas. Trabajo de Diploma. ISMMM, Departamento de Geología, 2015.
- CENAI. Reportes de Investigaciones: Peligro sísmico para el Parque eólico de Gibara. Santiago de Cuba. 2006.

- CORDOVEZ, J.M. *Procesamiento de imágenes aerocósmicas con el empleo de un nuevo modelo físico matemático de los coeficientes de reflexión*. Tesis Doctoral. GEOCUBA IC 2004.
- COTILLA RODRÍQUEZ, M.O. Sismicidad y sismotectónica de Cuba. En: *Física de la Tierra*. Madrid, 1998, vol.10.
- COULOMB, C. Test on the applications of the rules of maxima and minima to some problems of statics related to architecture. *Mem. Math. Phys*, 1773, 7: 343-382.
- COULOMB, C. Test on the applications of the rules of maxima and minima to some problems of statics related to architecture. In: *Mem. Math. Phys*, 1773, vol.7, p.343-382.
- CUTIÉ, V. et. al. La sequía en Cuba. Un texto de referencia. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, Centro de Clima, 2013.
- DE MIGUEL FERNÁNDEZ, C. Hidrogeología aplicada. La Habana, 1999.
- DELGADO M, F. y J. CHAGUA. Evaluación ingeniero geológica de los deslizamientos de Chinchubamba. 2018.
- DÍAZ PÉREZ, T. Procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra. *X CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA*. La Habana, 2013.
- FOOKES, P. y P. HORSWILL. Discussion on engineering grade zones. *Proceedings of the In Situ Investigations in Soils and Rocks*. London, 1970. p. 53-57.
- GEOINTEC. Estudio geotécnico para el proyecto de una Planta Solar Fotovoltaica en Aguascalientes, México. 2014.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I.; et. al. Ingeniería geológica. Editorial Prentice Hall. Madrid. Madrid, 2002. p.716.
- I.G.P. (Instituto de Geología y Paleontología). Trabajos geofísicos en el Parque eólico de Gibara. ACC; Ciudad Habana 2006.
- Léxico Estratigráfico de Cuba. Tercera versión. La Habana, 2013.
- Colectivo de autores. *Estudios sobre Geología de Cuba*. 1997.
- Mapa Geológico Digital de Cuba. Escala 1:100 000. 2004.
- IAEG. International Association of Engineering Geology. 1992.
- IINEL. Informe Ingeniero Geológico Parque eólico de prueba 5 MW Gibara. Ingeniero Geológica Fase I Holguín, 2005.

- Informe Ingeniero Geológico Parque eólico de prueba 5 MW Gibara. Ingeniero Geológica Fase II. Holguín, 2005.
- Informe Ingeniero Geológico Parque eólico Gibara 2. Grupo Geología. Holguín, 2008.
- Informe Ingeniero Geológico Parque eólico Gibara 2. Grupo Geología. Holguín, 2009.
- INRH. Esquema regional precisado. Archivo Técnico de la EIPHH (RAUDAL). 1985.
- KIERSCH, G.A. The heritage of engineering geology: The first hundred years. In: *Geological Society of America*. 1991.
- Development of engineering geology in western United States. Engineering Geology. 2001, vol. 59(1-2). p.1-49.
- LECHA, L.; L. PAZ y B. LAPINEL. *El clima de Cuba*. Editorial Academia. La Habana, 1994.p. 186.
- LEGGET, R.F. y P.F. KARROW. Geology in Civil Engineering. In: *Geology*. 1983, vol. 960. p. 219.
- LUQUE P, G. y F. DELGADO M. Evaluación ingeniero geológica de los deslizamientos de Yauya y Tambo Real. Informe técnico del distrito de Yauya. Provincia de Carlos Fermín, Perú. 2018.
- MACDONALD, D.F. Some engineering problems of the Panama Canal in their relation to geology and topography. US Government Printing Office: US Government Printing Office, 1915.
- MOHR, O. Über die Darstellung des Spannungszustandes und des Deformationszustandes eines Korperelementes und über die Anwendung derselben in der Festigkeitslehre. Der Civilingenieur. 1882, vol. 28, p. 113-156.
- NAGY, E.; et. al. Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC, 1976.
- NAGY, E.; et. al. Contribución a la Geología de Cuba oriental. 1983.
- NC. 722:2009. Norma Cubana. Edificaciones y obras civiles. Investigaciones ingenieras aplicadas. Requisitos de alcance y contenidos de las documentaciones técnicas. Vig. desde 2009.

- ONEI. Oficina Nacional de Estadísticas e Información, República de Cuba. Anuario Estadístico de Cuba 2015. Territorio. 2016.
- PÉREZ RIVAS, G. y A. HIDALGO MAYO. Regionalización climática de la provincia de Holguín. En: *Revista Cubana de Meteorología*. 2016, vol. 22(1).
- POLANCO PERDOMO, P. *Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala*. Trabajo de Diploma. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012.
- PRANDTL, L. Theory of lifting surfaces. 1920.
- PUELL MARÍN, F. y J.A. LÓPEZ CHINARRO. Especificaciones técnicas para la solicitud de un estudio geológico-geotécnico en plantas fotovoltaicas. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente. 2016, vol. 253, p. 14-18.
- QUITAS C, F. Información oral. 2019.
- RANKINE, W. Earth pressure theory. Phil. In: *Trans. of the Royal Soc.* 1857.
- RANSOME, F.L. Geology of the Saint Francis dam site. In: *Economic Geology*. 1928, vol. 23(5), p. 553-563.
- RICARDO LABRADA, A. *Evaluación de cierre para la construcción de la presa en la cuenca del río Agabama*. Tesis de Maestría. ISMMM, Departamento de Geología. 2015.
- RODRÍGUEZ PRADO, S. *Esquema ingeniero geológico del valle de Guantánamo*. Trabajo de Diploma. ISMMM, Departamento de Geología. 1981.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, L. *Evaluación geotécnica del empleo de la Formación Jaimanitas en Cayo Guillermo, como terreno base de cimentaciones*. Tesis de Maestría. ISMMM, Departamento de Geología. 2016.
- ROMERO P, R. Campismo Silla de Gibara. Investigación ingeniero-geológica para proyecto técnica-ejecutivo. ENIA de Holguín. 1987.
- Estudio de canteras para el Vial Fray Benito – Los Bajos. ENIA de Holguín. 2002.
- Informe Ingeniero geológico para la construcción de la Sala de rehabilitación de Fray Benito. ENIA de Holguín. 2004.
- Informe Ingeniero geológico para la construcción de la policlínica Fray Benito. ENIA de Holguín. 2005.

- SÁNCHEZ TORRES, G. *Esquema ingeniero geológico de Cienfuegos y los alrededores de la bahía*. Trabajo de Diploma. ISMMM, Departamento de Geología, 1978.
- SECO, R. Geomorfología. La Habana, 2004. p. 349.
- SUYO RIVERA, E.L. Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de líneas de transmisión eléctrica. En: Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 2017, vol. 19(37).
- TAPIA M, E. Breve memoria explicativa del Mapa Geológico 1:50 000 del polígono CAME IV. Holguín, 1982.
- TAXUS. Gestión Ambiental, Ecología y Calidad S.L. Estudio de impacto ambiental del proyecto de instalación del parque eólico Campón. 2018.
- TERZAGHI, C. The science of foundations—its present and future. In: *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. 1929, vol. 93(1), p. 270-301.
- VERSTAPPEN, H.T. y R.A. VAN ZUIDAM. Tire ITC System of Geomorphologic Survey. 1991
- WENTWORTH, C.K. Method of computing mechanical composition types in sediments. In: *Bulletin of the Geological Society of America*. 1929, vol. 40(4), p. 771-790.



ANEXOS

- 1- Mapa de datos reales del levantamiento de campo.
- 2- Mapa geomorfológico local.
- 3- Mapa geológico.
- 4- Mapa litológico.
- 5- Perfiles litológicos.
- 6- Mapa excavabilidad.
- 7- Mapa de nivel de aguas subterráneas y dirección del flujo.
- 8- Mapa de conveniencia constructiva.
- 9- Informe del levantamiento de campo.

1

2

3

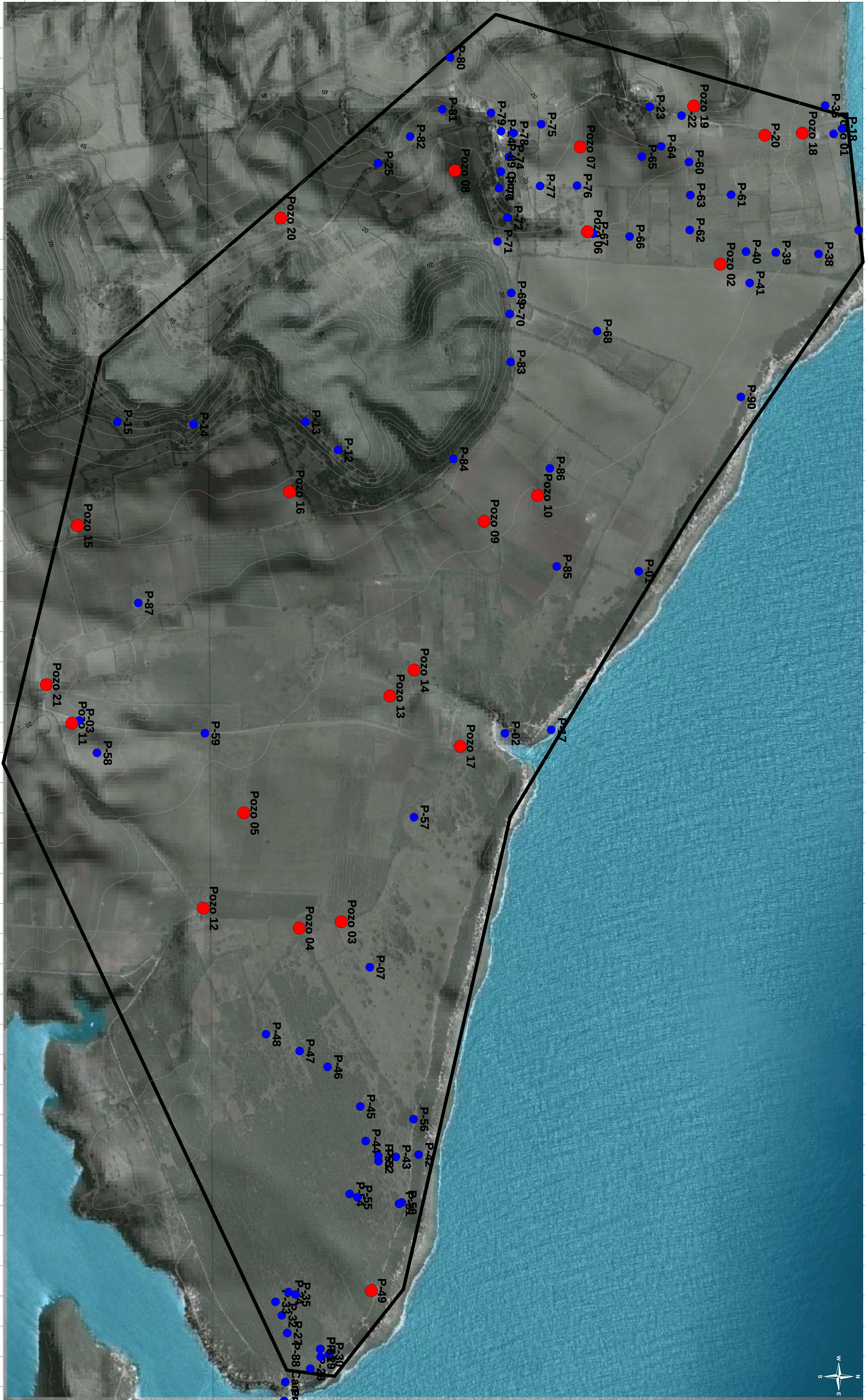
4

5

6

7

Mapa de datos reales del levantamiento en campo



Legenda

- P-20
- Pozo 12
- Puntos de afloramientos o relleno para el estudio ingeniero geológico.
- Punto de pozos tomados en el campo.
- Curvas de nivel topográfico del terreno.
- Poblados y casas dentro del área.
- Área de estudio.
- Caminos principales.
- Caminos secundarios.
- Trillos.

Escala 1:10000
0 100 200 300 400

	GRUPO EMPRESARIAL		ORIENTE NOROCC	
	OBJETO:		OBJETO:	
	Investigación ingeniero parque edificios, lugares.		Investigación ingeniero geológico.	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
	Ing. Nacional		Ing. Nacional	
REVISOR	Ing. Nacional		Ing. Nacional</	

1

2

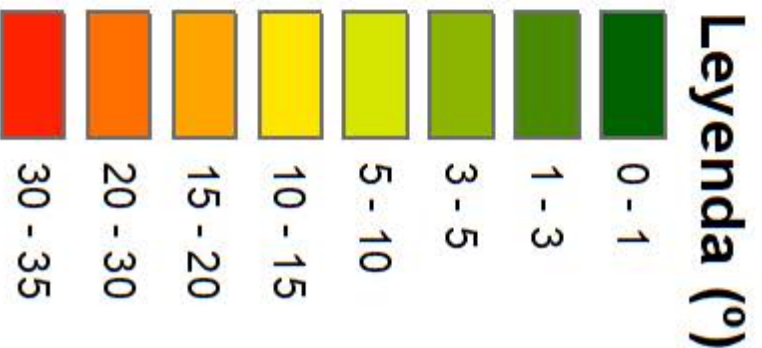
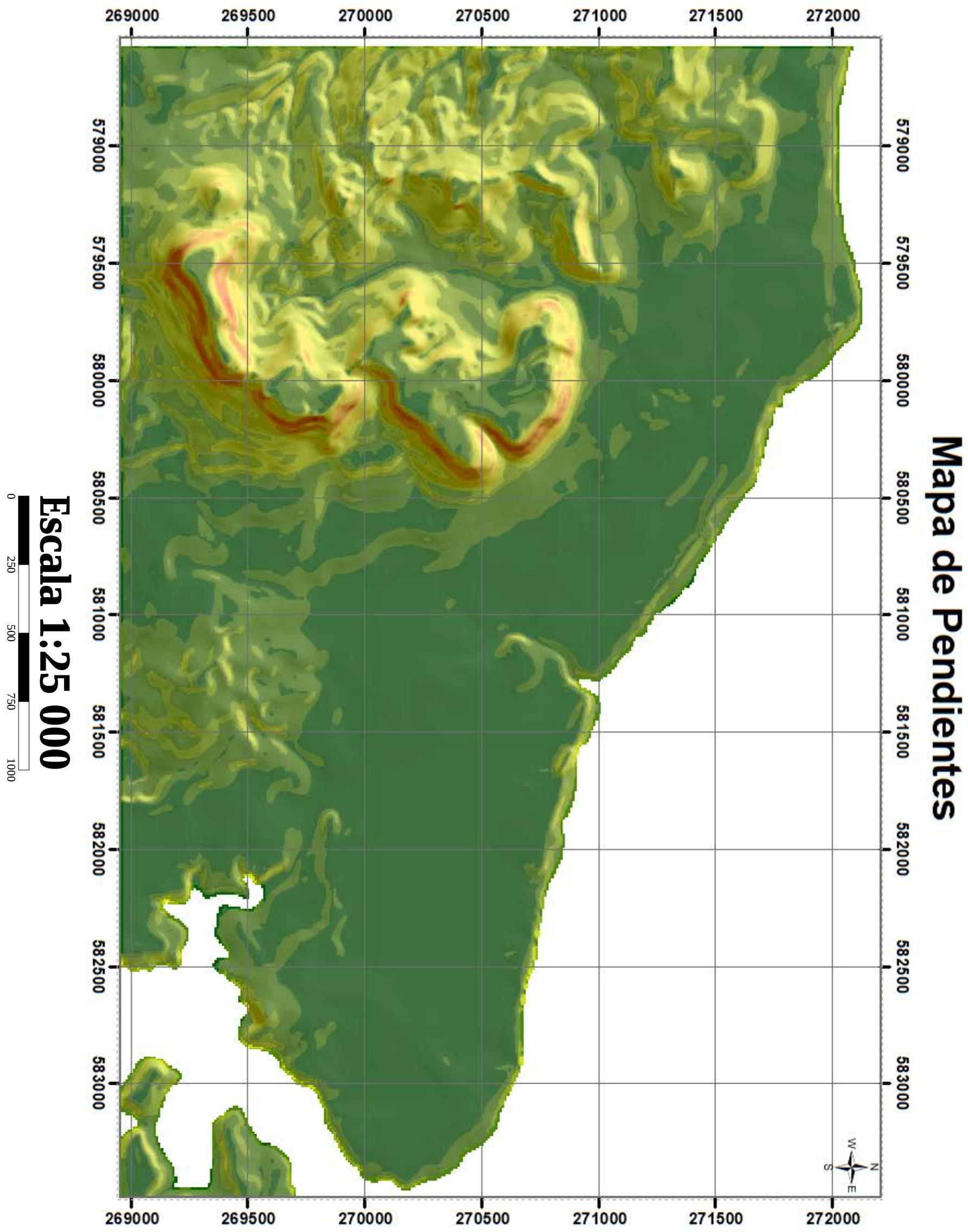
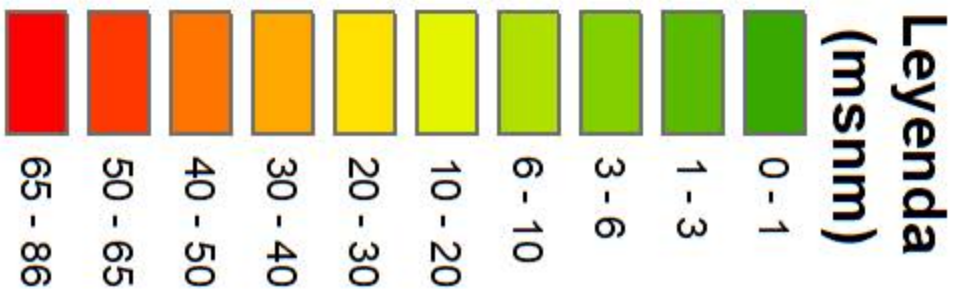
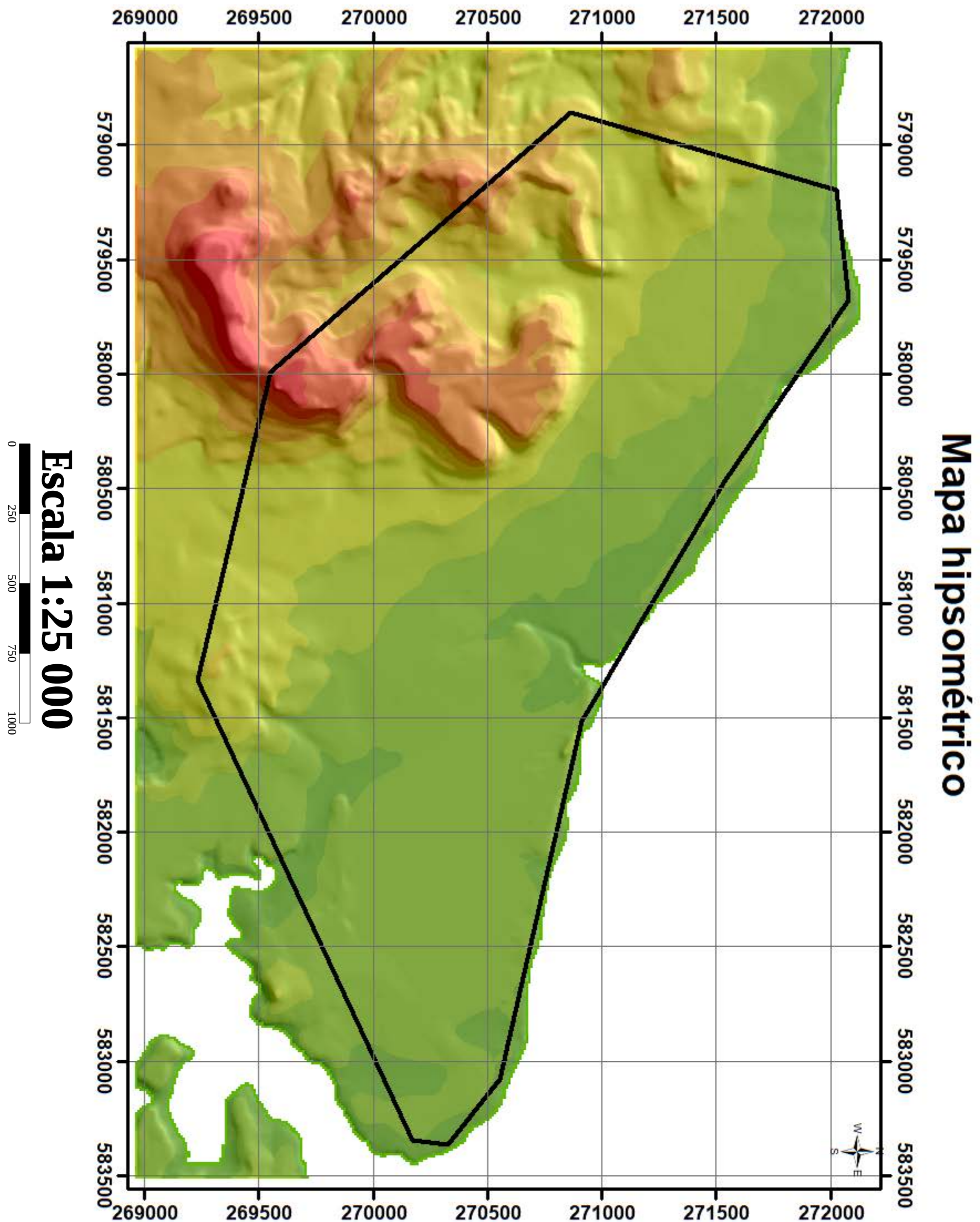
3

4

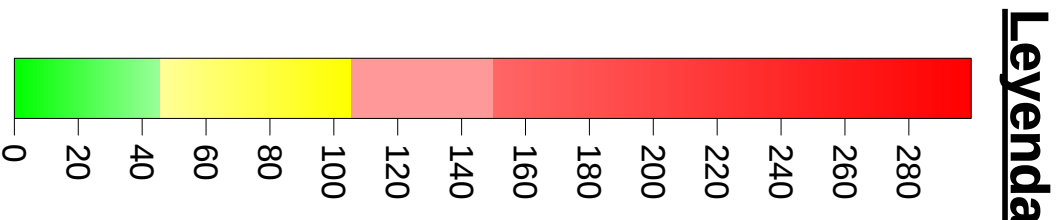
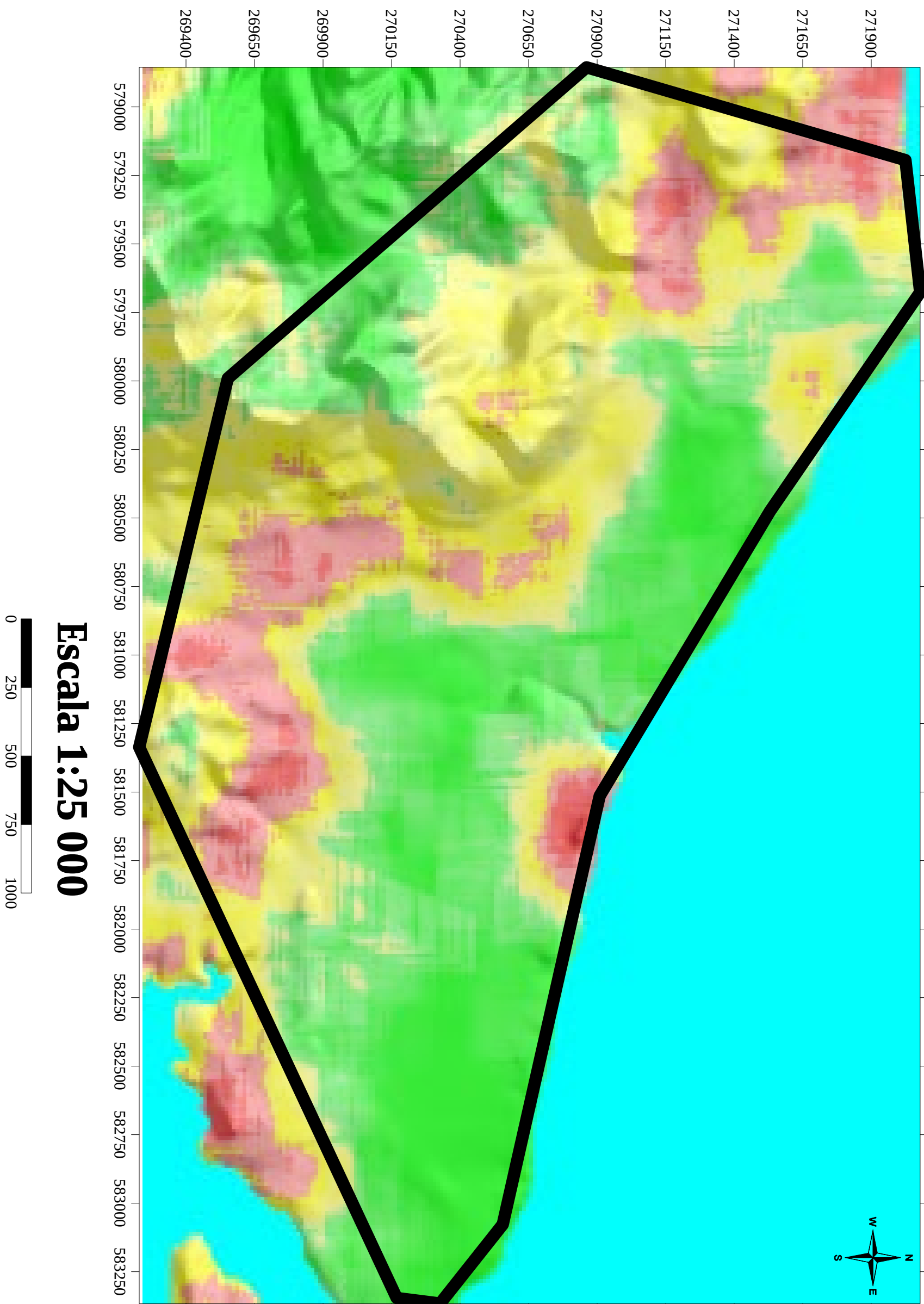
5

6

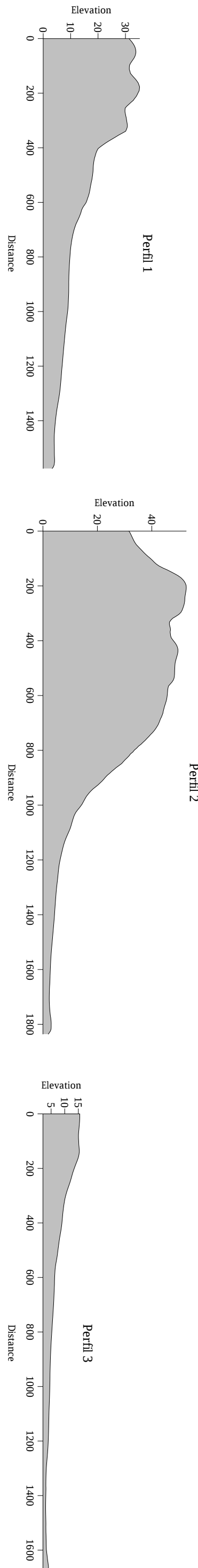
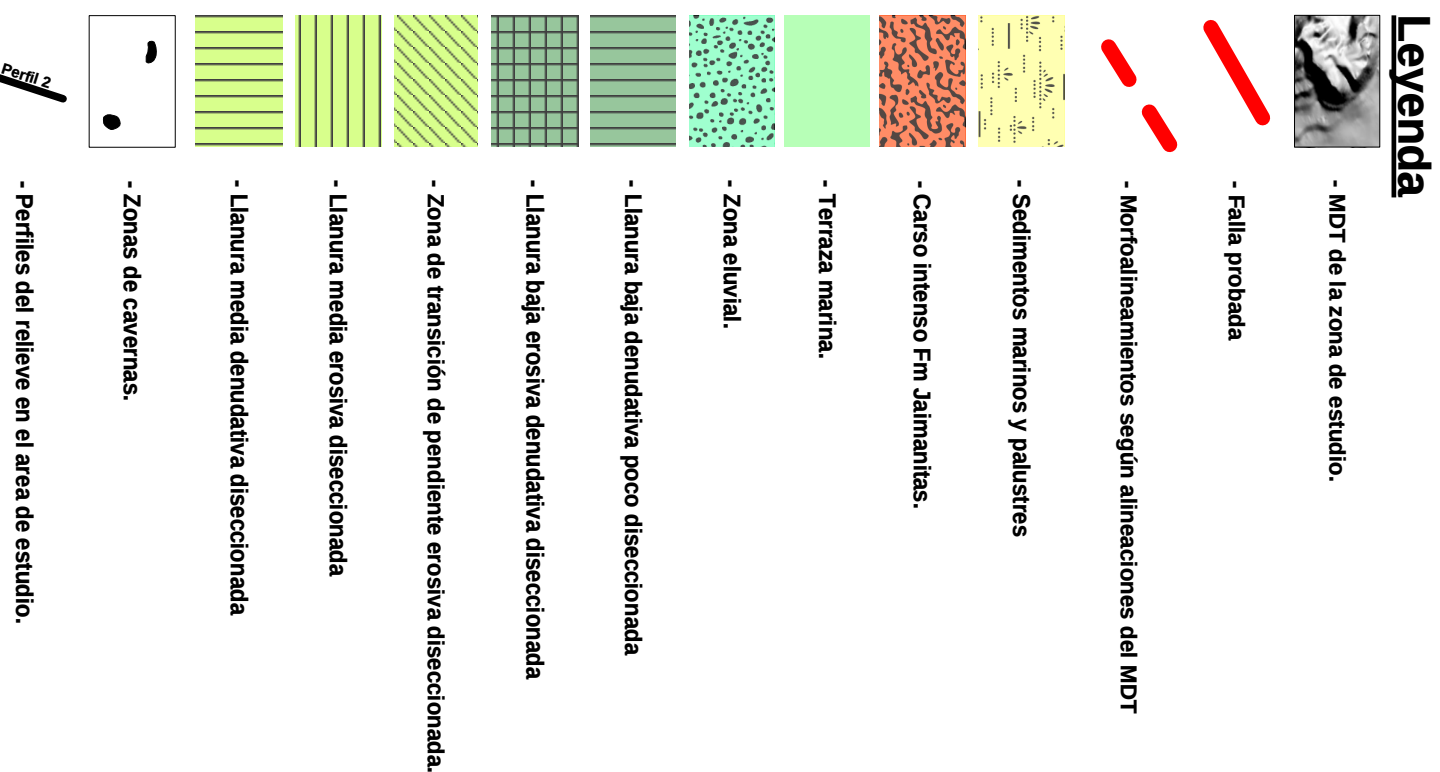
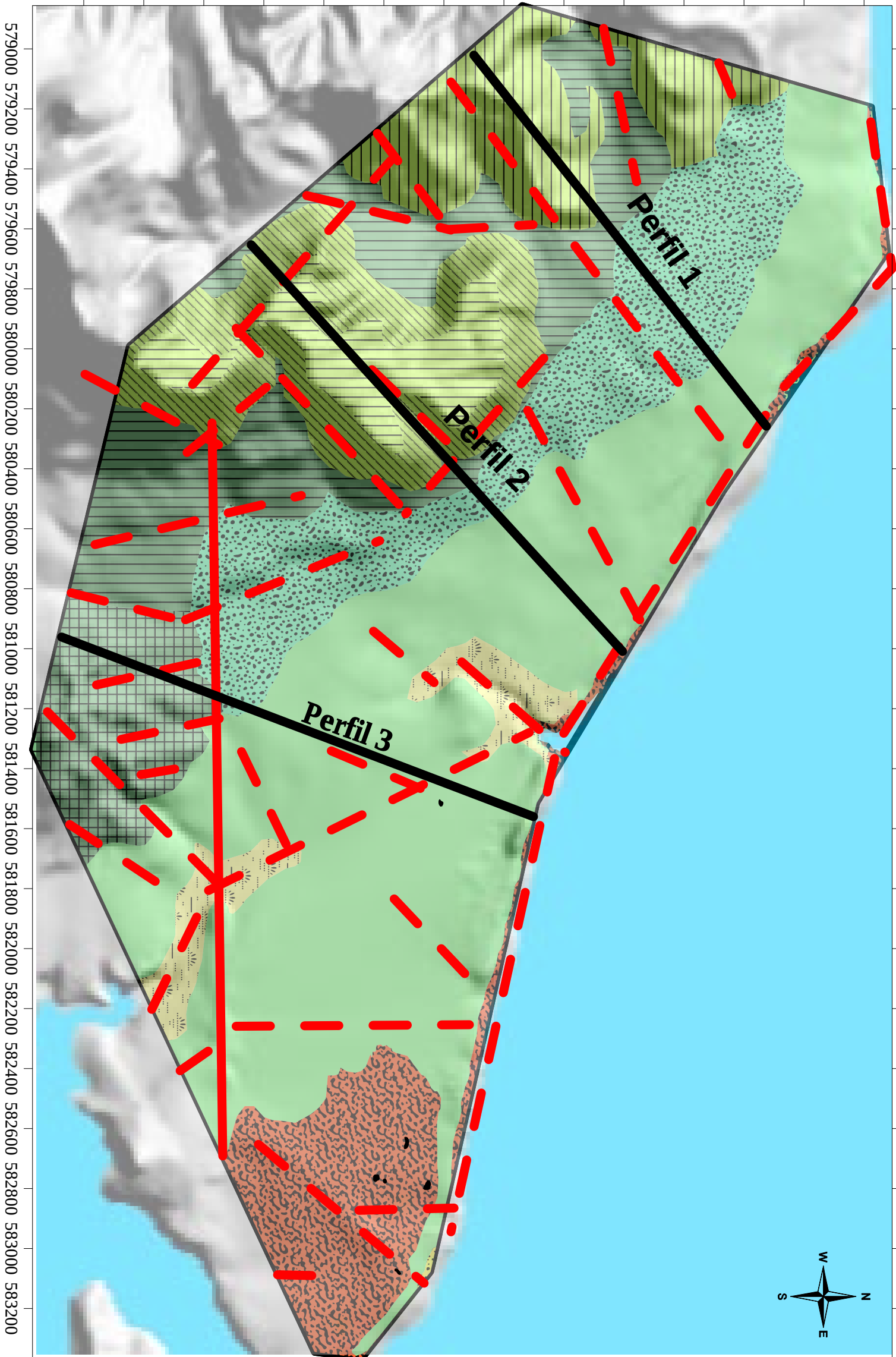
7



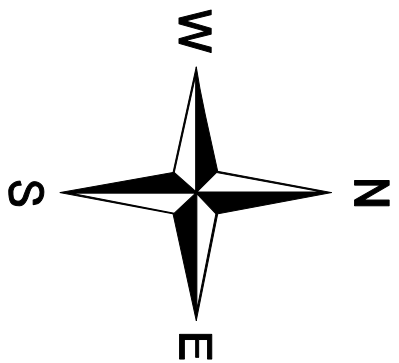
Mapa de densidad de fractura de la región



Mapa Geomorfológico Pragmático del área.

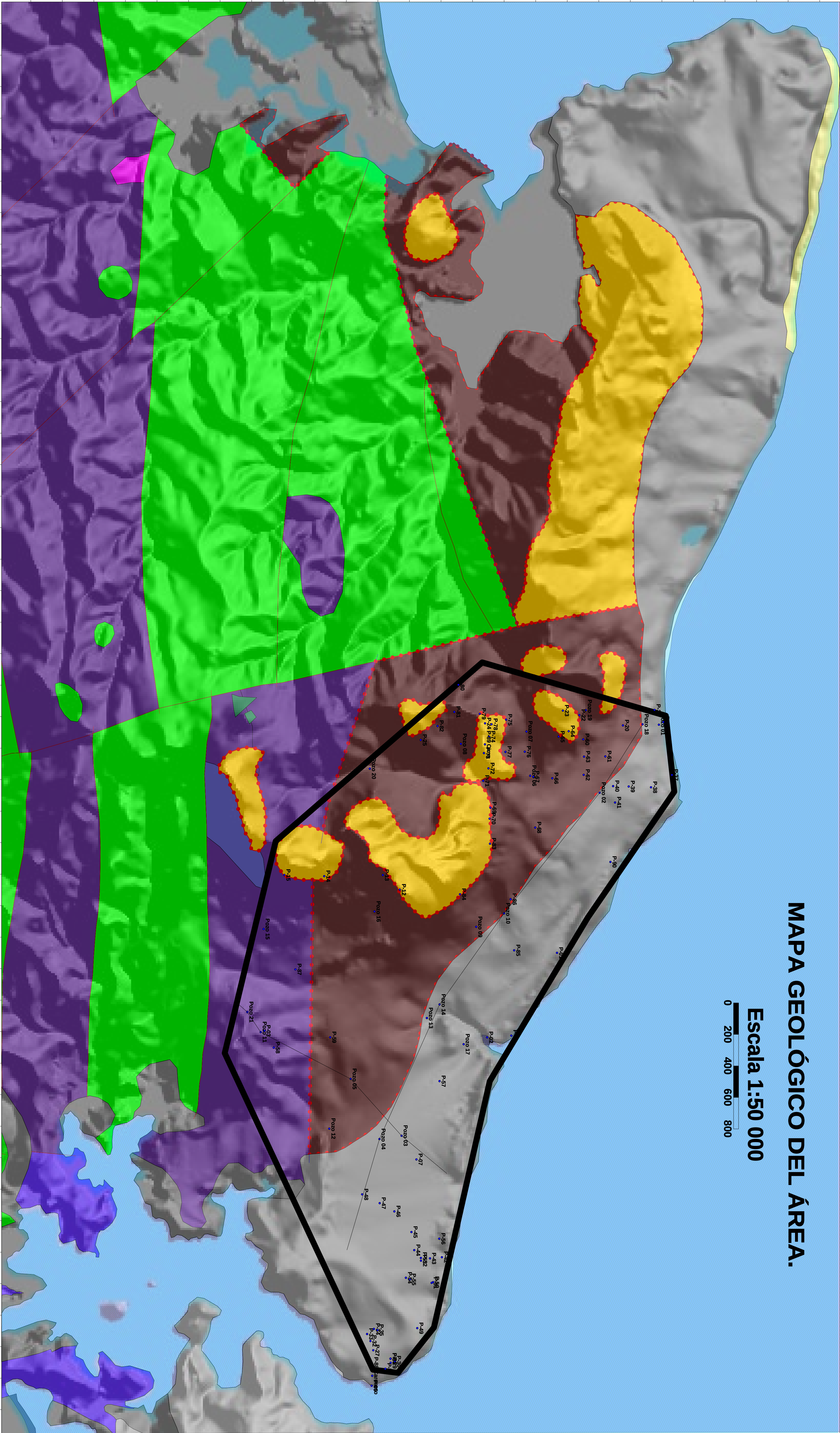


GEOCUBA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA		OBJETO: Investigación ingeniero parque ecológico Jagüeyes.		AGENCIA DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE	
ORIENTE NORTE		Escala: 1:25 000		A-1	
Escala: 1:25 000		Escala: 1:25 000		A-1	
INVESTIGADOR: Ing. Marcela Rodríguez		PÁGINA: 1		FECHA: 25-12-2016	
REVISOR: Ing. Marcela Rodríguez		Mapa Geomorfológico Pragmático y sus acompañantes.		ANEXO - 02	
APROBADO: Ing. Marcela Rodríguez					



MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA.

Escala 1:50 000



LEYENDA DEL MAPA GEOLOGICO DEL POLIGONO CAME IV-HOL GUIN 1:50 000

Cuaternario (Q).

m - Qiv

m- Arenas calcáreas de las playas.

pa - Qiv

pa- Depósitos pantanosos (Arcillas y Aleurolitas).

Ja

Ja- Formación Jaimanitas (Calizas, calcarenitas, margas calcáreas y calcarenitas domíticas).

Neógeno (N).

Jc
N₁ - N₂

Jc- Formación Júcaro (Calizas, margas brechosas).

Rb - P₂

Rb- Formación Rancho bravo (Conglomerados, brechas, areniscas y aleurolitas).

Cretácico (K).

Tn
K₂^{CP-m}

Tn- Formación Tinajitas (Calizas arrecifales).

Ib
K₁^A - K₂^{CP}

Ib- Formación Iberia (Lavas, piroclastitas y sedimentos vulcanocéntricos de composición medio básica, silicíticas, calizas pelágicas).

Asociación Ofilítica Aloctona.

- Serpentinitas

- Ultrabasitas

- Doleritas (Diabasas).

- Área de estudio.

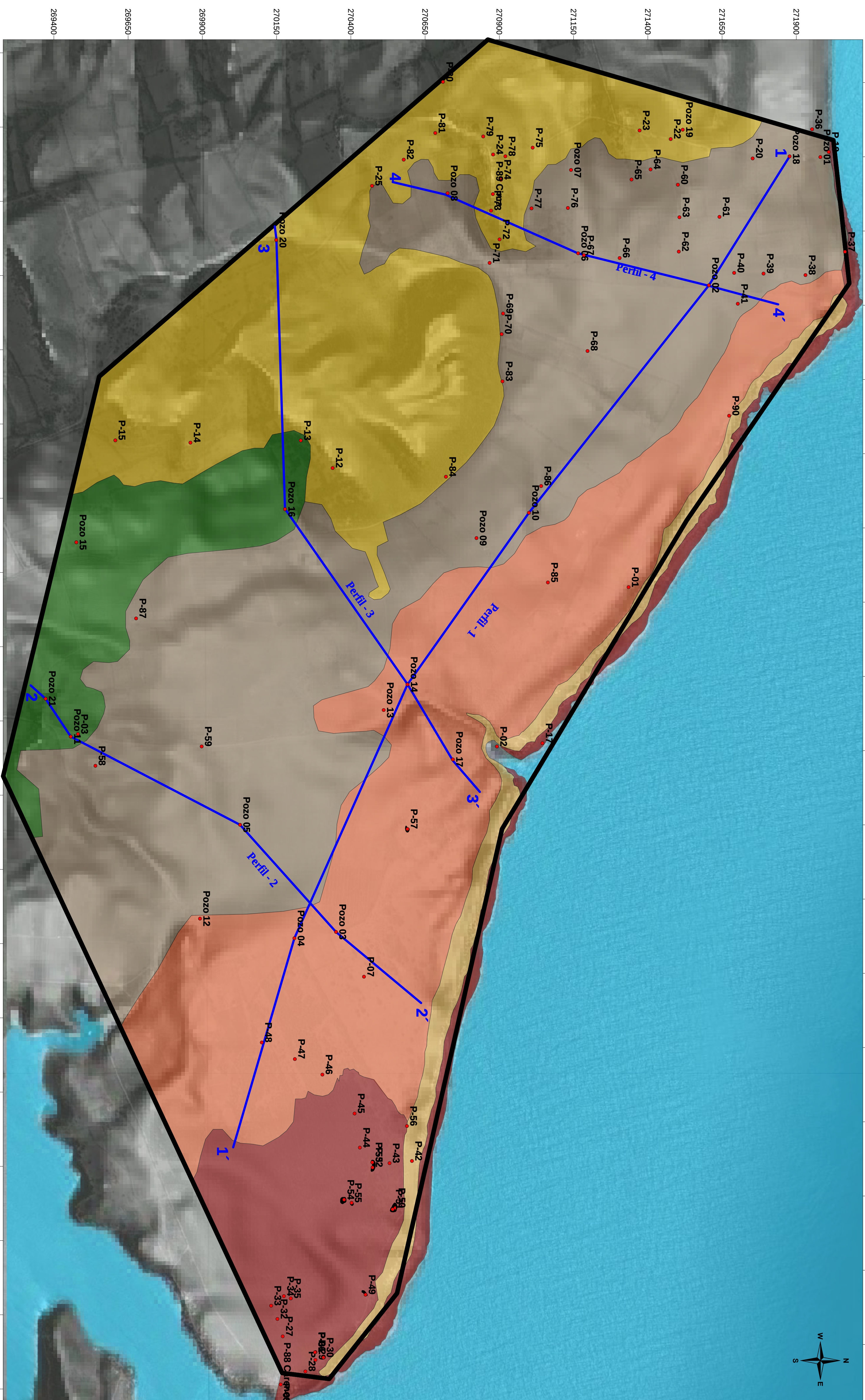
- Falla comprobada

- Falla supuesta

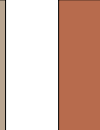
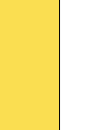
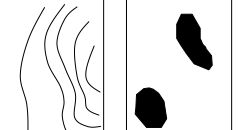
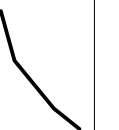
- Cabalgamiento

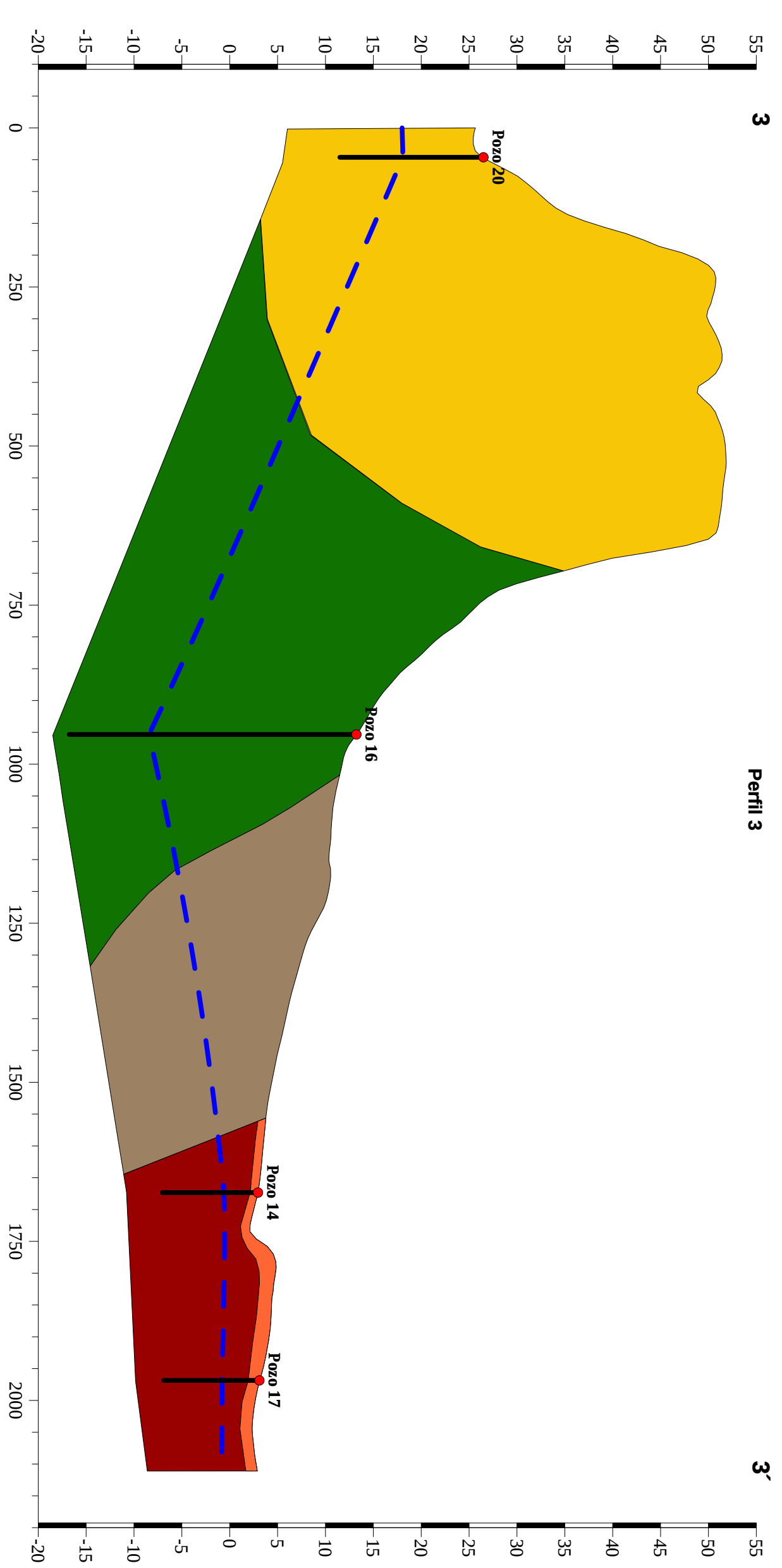
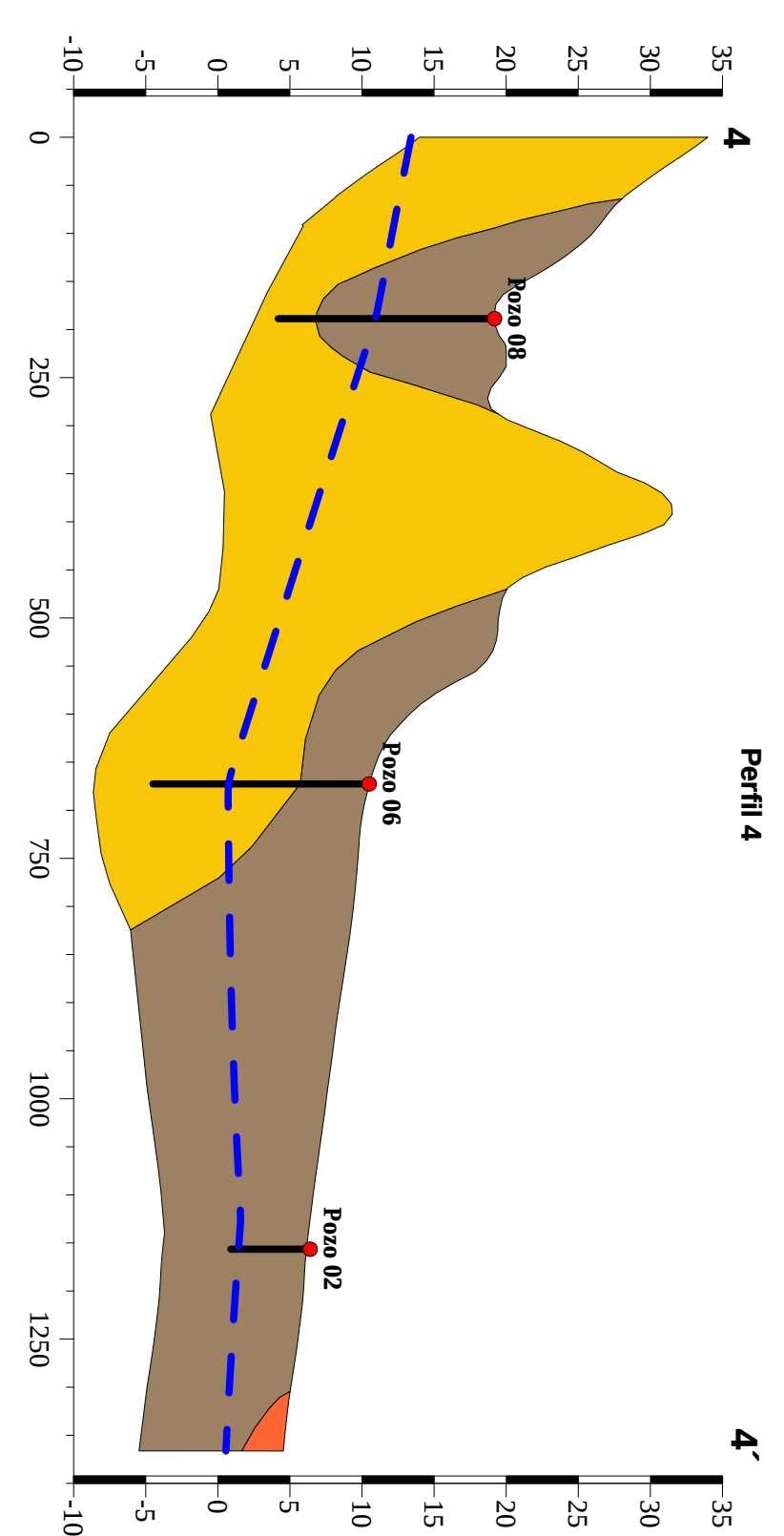
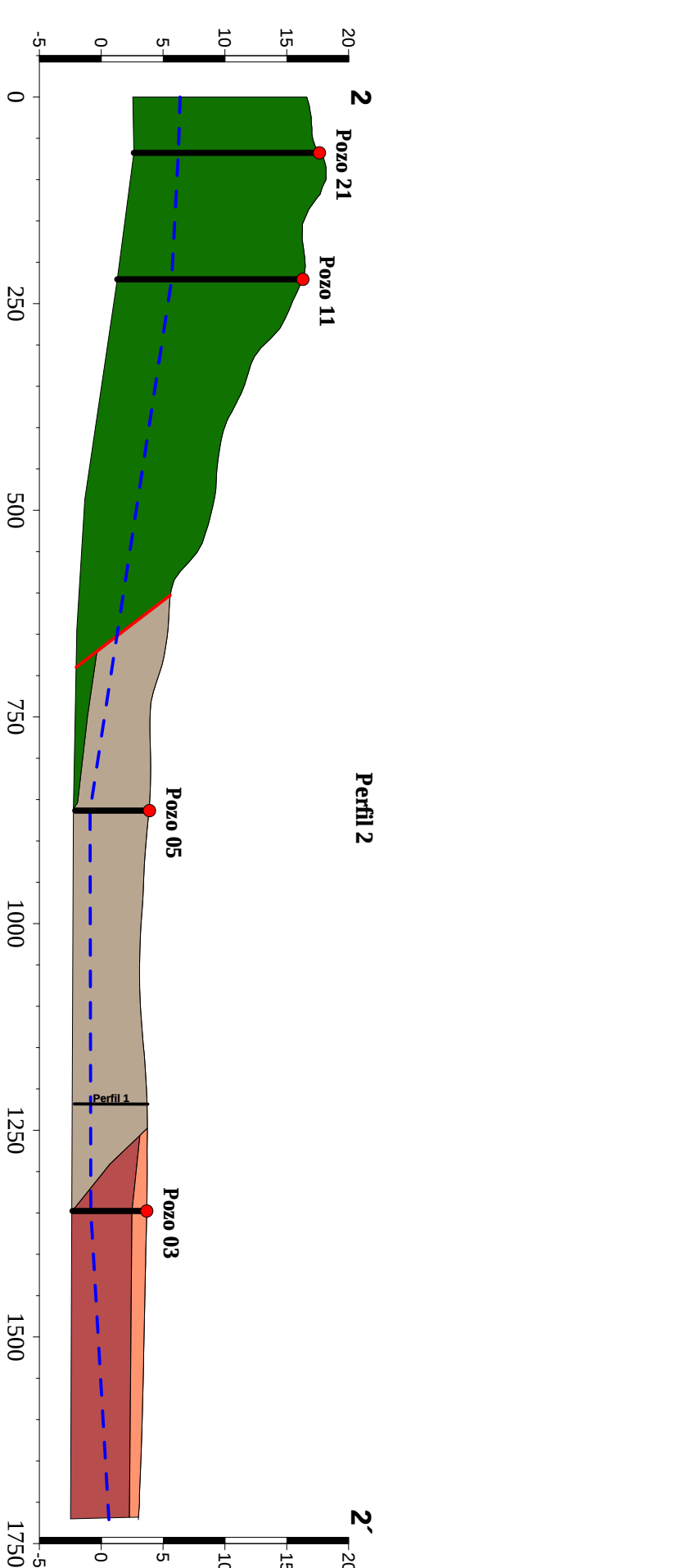
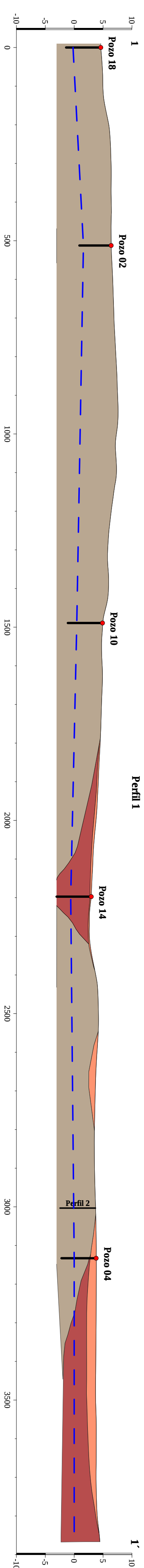
		GEOCUBA		INVESTIGACIÓN Ingiero parque		AGENCIA DE SERVICIOS	
GRUPO EMPRESARIAL		ORIENTE NORTE		OBJETO		ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE	
ESP. PRINCIPAL		Ing. Marcel		ETAPA		ESCALA	
INVESTIGADOR		Ing. Marcel		IC		1:50 000	
REVISOR		Ing. Marcel		FECHA		A.1	
Aprobado		Ing. Marcel		Mapa geológico del área		25-12-2018	
						ANEJO - 03	

MAPA LITOLÓGICO Y PERFILES DEL ÁREA

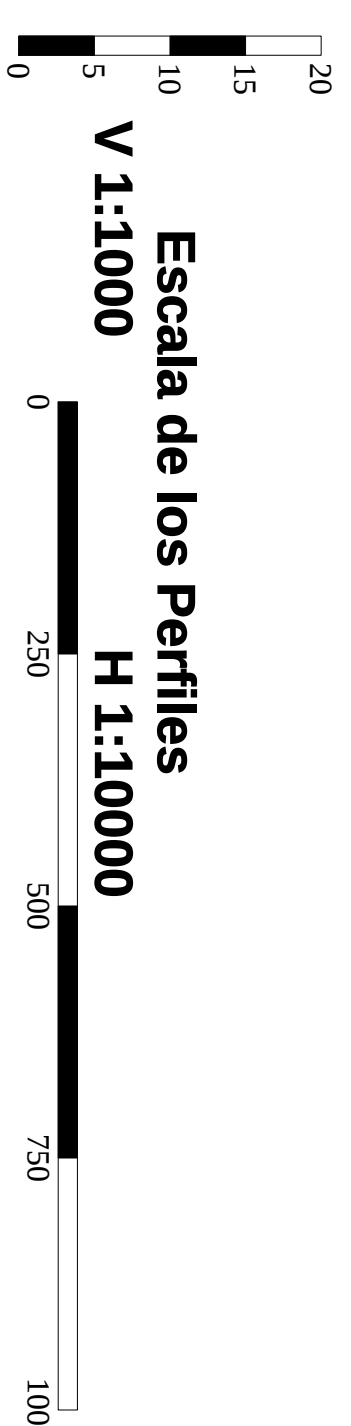


Leyenda

- | | |
|---|---|
|  | -Tipo IG-V
Capa litológica de arenas de calcláreas de diámetros variables y abundantes fragmentos de roca calizas carbonatadas. |
|  | -Tipo IG-IV se subdivide en 2 Subtipos:
-Subtipo IG-IV-a
Capa litológica de rocas calcláreas muy carbonatadas en ocasiones grandes cavernas vacías, oquedades rellenas y campos de lapiz. |
|  | -Subtipo IG-IV-b
Capa litológica de corteza meteorizada color ladrillo sobre rocas calcláreas carbonatadas de poco espesor, con variados fragmentos de estas rocas. |
|  | -Tipo IG-III
Capa litológica de corteza de suelo color pardo variado de gran espesor. |
|  | -Tipo IG-II
Capa litológica de rocas calcláreas con pequeños espesores de suelo y diferentes rocas calizas en ocasiones matizías, magras y sus combinaciones. |
|  | -Tipo IG-I
Capa litológica de rocas alteradas y fracturadas de corteza serpentinitica que en ocasiones afloran sanas. |
|  | -Puntos del levantamiento ingeniero geológico del área. |
|  | -Localización de las cavernas detectadas en el área. |
|  | -Curvas de nivel topográfico del terreno. |
|  | -Perfiles litológico del terreno. |



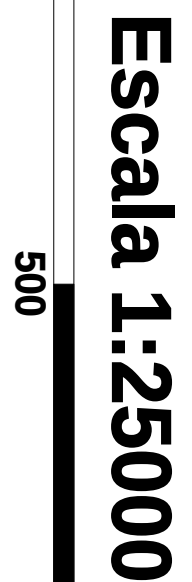
Escala de los Perfiles
V 1:1000 **H 1:1000**



	ORIENTE NOROCCIDENTE		ORIENTE NOROCCIDENTE	
	ESP. PRINCIPAL INGENIERIA CIVIL INGENIERIA DE OBRAS DE CONCRETO INGENIERIA DE MATERIAS C.	PLANO: Mapa topográfica y perfiles.	OBJETO: Investigador ingeniero geodesta.	OBJETO: Investigador ingeniero geodesta.
	INVESTIGADOR Mac.C. y Figueroa G.			
	REMO Mac.C. Ramirez D.			
	APROBADO			
AGENCIA DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE		ESCALA 1:25 000	ESCALA 1:25 000	ESCALA 1:25 000
FECHA 26-12-2006		FECHA 26-12-2006	FECHA 26-12-2006	FECHA 26-12-2006
ANEXO - 04 y 05		ANEXO - 04 y 05		

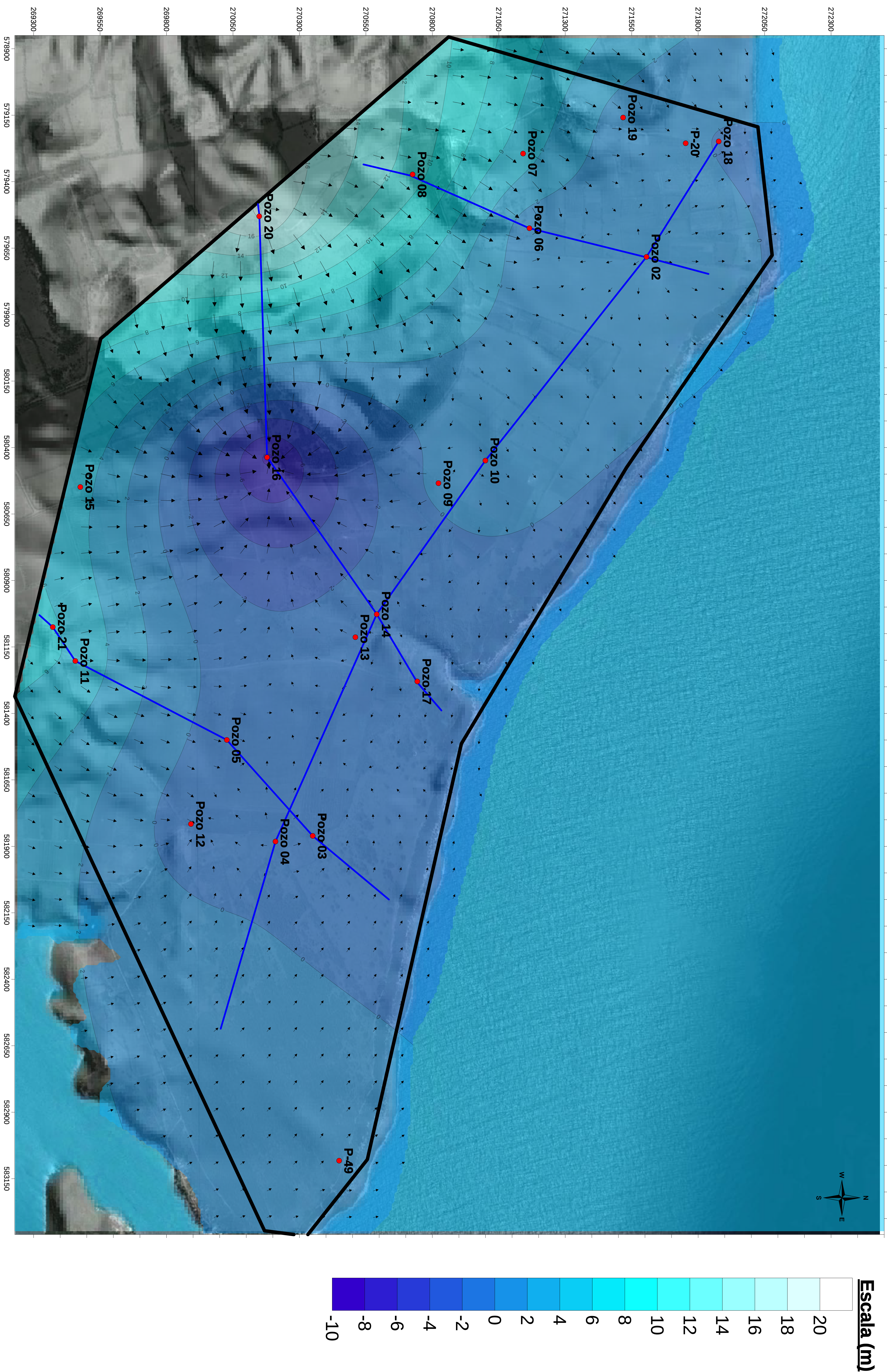
The map displays the study area with various sampling points and water quality parameters. The area is divided into three main regions: a central green region, a yellow region to the north and west, and a red region to the south. The map includes a compass rose in the top right corner indicating North (N), South (S), East (E), and West (W). The following table lists the sampling points and their corresponding water quality parameters:

Sampling Point	Water Quality Parameter
P-01	Temperature
P-02	Temperature
P-03	Temperature
P-04	Temperature
P-05	Temperature
P-06	Temperature
P-07	Temperature
P-08	Temperature
P-09	Temperature
P-10	Temperature
P-11	Temperature
P-12	Temperature
P-13	Temperature
P-14	Temperature
P-15	Temperature
P-16	Temperature
P-17	Temperature
P-18	Temperature
P-19	Temperature
P-20	Temperature
P-21	Temperature
P-22	Temperature
P-23	Temperature
P-24	Temperature
P-25	Temperature
P-26	Temperature
P-27	Temperature
P-28	Temperature
P-29	Temperature
P-30	Temperature
P-31	Temperature
P-32	Temperature
P-33	Temperature
P-34	Temperature
P-35	Temperature
P-36	Temperature
P-37	Temperature
P-38	Temperature
P-39	Temperature
P-40	Temperature
P-41	Temperature
P-42	Temperature
P-43	Temperature
P-44	Temperature
P-45	Temperature
P-46	Temperature
P-47	Temperature
P-48	Temperature
P-49	Temperature
P-50	Temperature
P-51	Temperature
P-52	Temperature
P-53	Temperature
P-54	Temperature
P-55	Temperature
P-56	Temperature
P-57	Temperature
P-58	Temperature
P-59	Temperature
P-60	Temperature
P-61	Temperature
P-62	Temperature
P-63	Temperature
P-64	Temperature
P-65	Temperature
P-66	Temperature
P-67	Temperature
P-68	Temperature
P-69	Temperature
P-70	Temperature
P-71	Temperature
P-72	Temperature
P-73	Temperature
P-74	Temperature
P-75	Temperature
P-76	Temperature
P-77	Temperature
P-78	Temperature
P-79	Temperature
P-80	Temperature
P-81	Temperature
P-82	Temperature
P-83	Temperature
P-84	Temperature
P-85	Temperature
P-86	Temperature
P-87	Temperature
P-88	Temperature
P-89	Temperature
P-90	Temperature



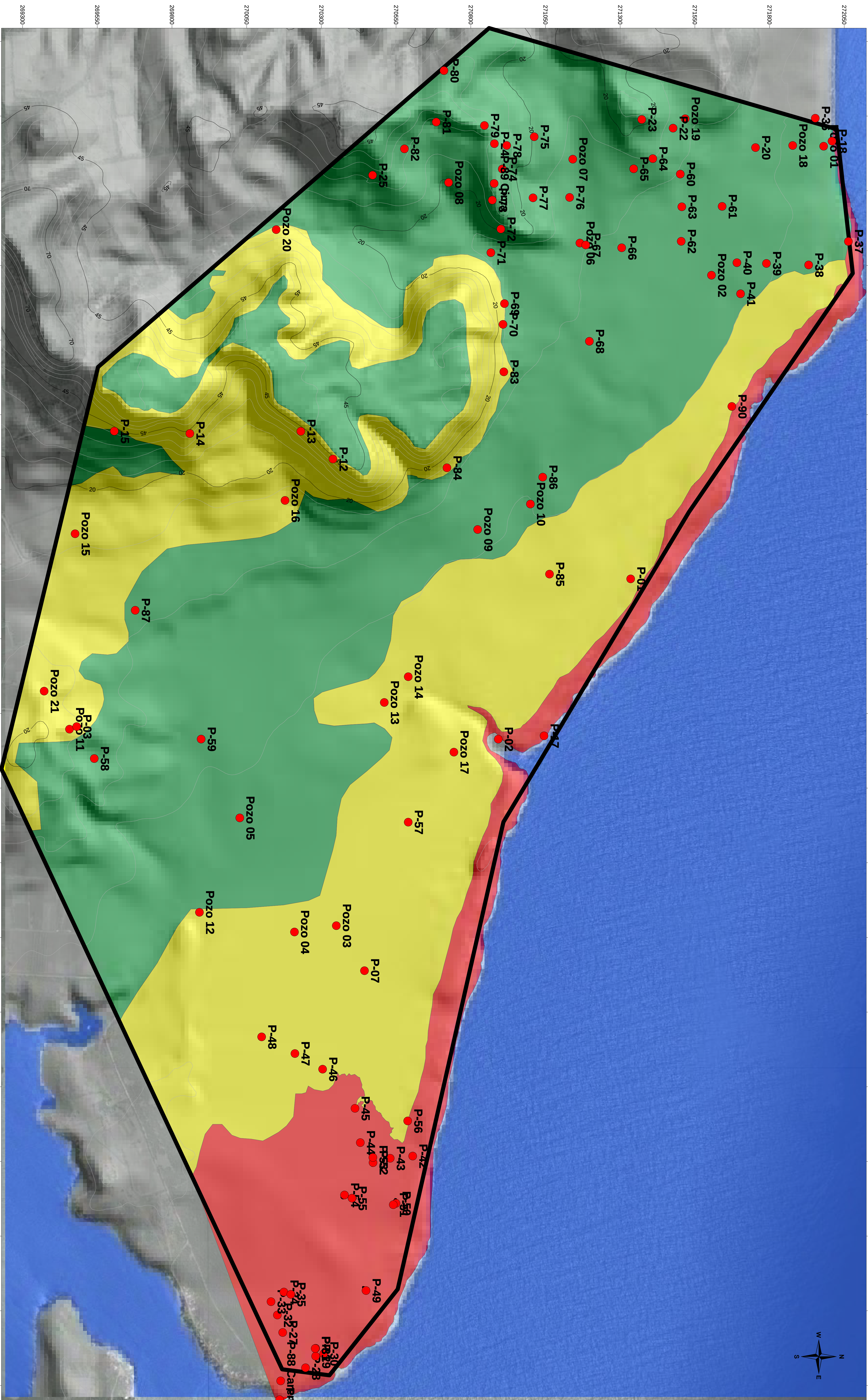
 GEOCURIA SISTEMA DE SUPERFACIAL	ORIENTE NOROCCIDENTAL		OBJETO: Investigación Ingeniero parque ecológico Jagüeyes.	AGENCIA DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE
	ESP. PRINCIPAL: Martínez G. M. A.	OBJETO: Investigación ingeniero geológica.		
	ESP. SECUNDARIO: Martínez G. M. A.	OBJETO: Investigación ingeniero geológica.		
	INVESTIGADOR: Martínez G. M. A.	OBJETO: Investigación ingeniero geológica.		
	REVISOR: Martínez G. M. A.	OBJETO: Investigación ingeniero geológica.		
PROYECTO: Mapa de Excavabilidad.	FECHA: 25-12-2016	ANEXO - 06		

Mapa nivel freático y dirección de flujo subterráneo.



 GEOCUCIA  UNIVERSIDAD	ORIENTE NORTE			
	ESP. PRINCIPAL	Investigación Ing. Hidráulica y Ecológica		
	INVESTIGADOR	Ing. M. C. Ramírez D		
	ASISTENTE	Ing. M. C. Ramírez D		
OBJET.	Investigación ingeniero parque edico Jaquyes.			
OBJETO:	Investigación ingeniero geológica.			
PLANOS	Mapa de nivel (retrato y dirección de flujo de agua subterránea).			
		AGENCIA DE SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE	ESCALA	ESCALA
			ETAPA	TRABAJO
		ICA	1:25 000	IMPRESIÓN
			A.1	
		FECHA	25-12-2016	
		ANEXO - 07		

MAPA DE CONVENIENCIA CONSTRUCTIVA.



Legenda

- Zona de conveniencia mala.
- Zona de conveniencia media.
- Zona de conveniencia buena.
- Puntos del levantamiento ingeniero geológico del área.
- Curvas de nivel topográfico del terreno.
- Localización de las cavernas detectadas en el área.

Escala 1:25 000

GeocubidA Oriente Norte GRUPO EMPRESARIAL ING. MARCELO MARTINEZ C. INVESTIGADOR REVISOR APROBADO		Objeto: Investigación ingeniero parque		Agencia de servicios: ESPECIALIZADOS Y MEDIO AMBIENTE	
Objeto: Investigación ingeniero geológica.		Plano: Mapa de conveniencia constructiva.		Fecha: 25-12-2015	
Escala: 1:25 000		Formato: A4		Proyecto: ANEXO - 08	