



Informe Técnico Geológico

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO PARA EL PROYECTO
PARQUE EÓLICO TRAMONTANA POWER
CORREGIMIENTOS DE GUALACA Y HORNITO, DISTRITO DE GUALACA
PROVINCIA DE CHIRIQUÍ

Elaborado por:

Arturo Ramírez
Bella Almillátegui
Rodrigo Arrocha

República de Panamá
2020

CLIENTE

INVERLAT CORPORATION, S.A.

EQUIPO ENCARGADO DEL ESTUDIO DE GEOLOGÍA

| | |
|--------------|--------------------|
| Ing. Geólogo | Arturo Ramírez |
| Ing. Geólogo | Bella Almillátegui |
| Ing. Geólogo | Rodrigo Arrocha |

Sellos y Firmas

CAPÍTULO 7

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| SECCIÓN 7.1: CONSIDERACIONES GENERALES | 5 |
| 7.1.1. ANTECEDENTES | 5 |
| 7.1.2. JUSTIFICACIÓN | 7 |
| 7.1.3. OBJETIVOS..... | 8 |
| a. OBJETIVO GENERAL..... | 8 |
| b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 7.1.4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO | 8 |
| a. Recopilación bibliográfica | 8 |
| b. Recolección de datos de campo | 10 |
| SECCIÓN 7.2: MARCO GEOLÓGICO..... | 13 |
| 7.2.1 LOCALIZACIÓN..... | 13 |
| 7.2.2 GEOLOGÍA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO | 14 |
| a. UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES..... | 28 |
| b. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 42 |
| c. PROCESOS SUPERFICIALES..... | 45 |
| i. Meteorización..... | 45 |
| ii. Erosión..... | 51 |
| iii. Movimientos de masas suelo/roca meteorizada | 60 |
| CONCLUSIONES | 62 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 64 |
| ANEXOS | 66 |

INTRODUCCIÓN

La inspección geológica consistió en un reconocimiento previo del sitio de exploración para fines geológicos. Se coordinó la realización de la misma para el período de trabajo de lunes 19 de octubre del 2020 al día viernes 23 de octubre del 2020, con un recorrido inicial para ubicación preliminar de 21 sitios para el levantamiento geológico (ver Figura 1). Con este levantamiento se identificaron los afloramientos o áreas para realizar el muestreo geológico que permitiese reconocer los materiales predominantes del área, y las propiedades físicas, químicas y geológicas de las masas de suelo y roca.

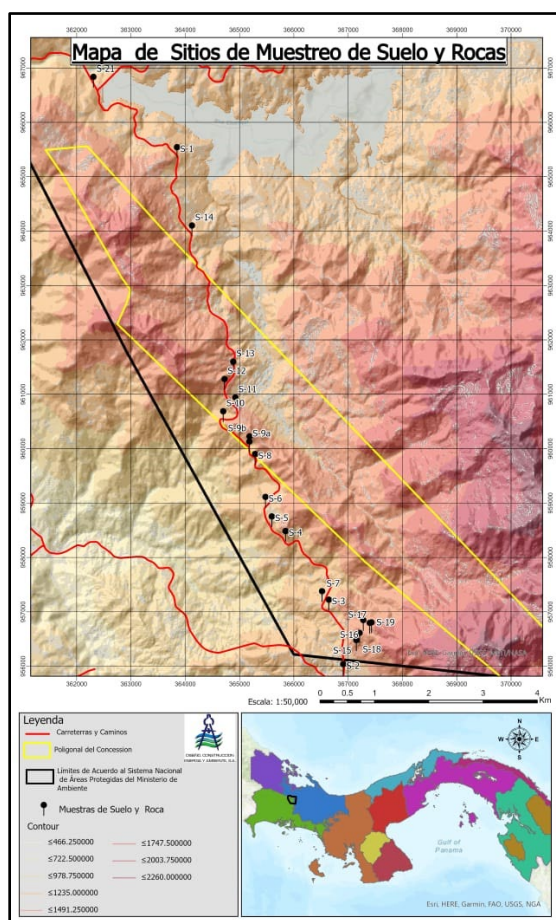


Figura 1. Ubicación de los veintiún (21) sitios de muestreo del área de interés.

Fuente: Rodrigo Arrocha (2020)

SECCIÓN 7.1: CONSIDERACIONES GENERALES

7.1.1. ANTECEDENTES

El proyecto de generación energética, *Parque Eólico Tramontana Power* está compuesto de un complejo de 34 aerogeneradores de 5 MW de potencia unitaria, con 32 unidades operativas y dos de reserva, totalizando un potencial disponible en barras de la subestación de 160.0 MW.

La ubicación definida para el proyecto está en el Corregimiento de Hornito, Distrito Gualaca, Provincia de Chiriquí, en un área de concesión de 52 hectáreas dentro de la RFF.

La crisis energética mundial refuerza el desarrollo de proyectos nacionales e internacionales de generación y abastecimiento. El alto costo de otras fuentes tales como el petróleo, asociados directamente al contraste de la alta demanda (consumo) ante las reservas existentes, coloca en riesgo la economía y el desarrollo sostenible. Panamá no cuenta con un desarrollo o explotación de fuentes naturales para la producción de hidrocarburos.

El Plan Energético Nacional 2015 – 2050 recalca la importancia de contar con un plan que genere desarrollo energético sustentable y sostenible en un largo plazo. Ante ello, el 25 de abril del 2011 se fundamenta la Ley 43 que establece la nueva organización y las funciones de la Secretaría Nacional de Energía (SNE). Se define ante todo la “prevención” ante situaciones de emergencia que requerirán mayor demanda y consumo por parte de una población en crecimiento.

El sistema energético responde a *las necesidades de la industria, del comercio, del transporte y la demanda de los ciudadanos para una vida digna. Para satisfacer estas necesidades se debe invertir en infraestructura de producción, de transporte de energía y demás equipos de consumo* (SNE).

El enfoque energético en Panamá está dirigido a ser un sistema integrado. Con el desarrollo de megaproyectos y el auge inmobiliario en varias regiones del país, se presentan alternativas energéticas provenientes de los derivados del petróleo y la fuerza hidráulica.

Una de las formas más limpias de generar electricidad es utilizar la energía eólica o conocida como la “energía del viento”. El potencial eólico en Panamá se ha estimado en 7,180 MW con un área aprovechable de 897.61 km², según estudios estimados realizados por ETESA. Entre las regiones con mayor potencial figuran las provincias de Bocas del Toro, Coclé, Colón y Veraguas con potenciales de 840 MW, 940 MW, 1,557 MW y 704 MW respectivamente (SNE).

En Panamá la generación eólica inició a finales del año 2013, con el ingreso de la planta eólica Nuevo Chagres I, ubicada en Campo Verde Penonomé, Provincia de Coclé (Fase I del Parque Eólico). Esta fase consta de 22 aerogeneradores de 2.5 MW cada uno, para completar una primera fase con una capacidad instalada de 55 MW. La construcción del parque continuó a lo largo del 2014 y 2015 instalándose las centrales de Maraón, Nuevo Chagres 2, Rosa de los Vientos 1 y 2, que sumarán en su conjunto una capacidad instalada total de 337.5 MW (estimación de PEN 2009-2023) (SNE).

Se cuenta con Ley Eólica (Ley 44 de 25 de abril de 2011 y su modificación mediante Ley 18 de 26 de marzo del 2013) que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad", propiciar la diversificación de la matriz energética, propiciar el abastecimiento con fuentes no convencionales, viabilidad financiera y técnica, entre otras obligaciones (SNE).

Para el levantamiento geológico se requirió la recopilación de información cualitativa, al margen de la obtención de datos cuantitativos obtenidos en las actividades y observaciones de campo, su análisis y referentes históricos del área de interés.

7.1.2. JUSTIFICACIÓN

El propósito principal del Levantamiento Geológico de la zona de estudio fue la recopilación de información que facilite y permita comprender las condiciones geológicas regionales correspondientes al Proyecto de Generación Energética, *Parque Eólico Tramontana Power*. El nivel alcanzado durante el reconocimiento se enfocó en los principios definidos para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) requerido.

La generación eólica como se sabe es fuertemente estacional e intermitente y aunque su aporte es aún modesto, es un complemento ideal de la generación hidroeléctrica. Los meses de mayor producción eólica se dan durante la estación seca, de menor generación hidroeléctrica, la cual comprende desde mediados de diciembre hasta principios de mayo (SNE).

Durante la exploración realizada se enfatizó en la identificación de aquellos procesos superficiales que pudiesen representar algún problema o inconveniente para el desarrollo del proyecto durante sus diferentes fases de diseño, construcción y producción. De los procesos superficiales identificados, resaltaron los siguientes: la meteorización, erosión, sedimentación y movimientos de masas suelo y roca con distintos grados de meteorización como productos de múltiples agentes naturales y antrópicos.

El alcance del Levantamiento Geológico presenta los siguientes resultados:

- a. Descripción macroscópica de los materiales geológicos
- b. Secciones geológicas transversales
- c. Investigación del terreno (Identificación Visual y Descripción)
- d. Identificación de procesos superficiales en el área de interés
- e. Identificación de mecanismos de movimientos de masa

7.1.3. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

1. Ejecución del Levantamiento Geológico de la zona correspondiente a los sitios de instalación de los 34 aerogeneradores del Proyecto de Generación Eólica Tramontana Power. Este relevamiento geológico será orientado principalmente a determinar las condiciones geológicas – estructurales del alineamiento del proyecto, mediante la ubicación de los rasgos físicos expuestos superficialmente como fallas, diaclasas, grado de meteorización y la selección de muestras de representativas de los distintos tipos de roca, características de la RFF.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocimiento de evidencias de distribución del material rocoso en el sitio.
2. Descripción litológica de las rocas identificadas en la zona del proyecto.
3. Reconocimiento de las condiciones geológicas regionales.
4. Confección de los perfiles geológicos (planta-perfil) de los sitios de varios aerogeneradores.
5. Identificación de aquellas zonas con condiciones desfavorables por movimientos de masa (deslizamientos, caída de bloques de rocas, derrumbes, volcamientos, reptaciones, etc.)
6. Evaluar la posibilidad del desarrollo del proceso de erosión durante y después de la construcción del proyecto.

7.1.4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

a. Recopilación bibliográfica

Parte de los propósitos de la revisión de las referencias bibliográficas y los datos es analizar y discernir si la teoría existente y la investigación sugieren una respuesta

(aunque sea parcial) a la pregunta o las preguntas de investigación; o bien, provee una dirección a seguir dentro del planteamiento de nuestro estudio (Danhke, 1989).

La revisión de la literatura existente implicó la detección de información útil para la generación del documento, permitiendo extraer y recopilar datos relevantes:

- a. Se revisó documentación asociada a distintas metodologías de investigación y sistemas de clasificación geológica para la generación de levantamientos geológicos dirigidos a proyectos similares.
- b. Se utilizó de referencia documentos que describían el proceso de desarrollo y construcción de proyectos energéticos, desde el punto de vista técnico – investigativo, para el reconocimiento de criterios de evaluación específicos y su metodología de investigación.
- c. Parte de la generación del documento está fundamentada en conocimiento técnico y normativas vigentes en Panamá e internacionalmente.
- d. Se evidenció que es fundamental desarrollar mayor cantidad de investigación y evaluaciones de sitio, específicamente del análisis geotécnico de cada estructura, que generen datos más ajustados a la realidad, dirigidos al diseño de las fundaciones de los aerogeneradores y los caminos de acceso.

La recopilación de documentos generó las bases investigativas del levantamiento geológico. Entre los documentos que fungieron de referencia se encuentran:

1. Gaceta Oficial Digital, martes 05 de abril de 2016. Plan Energético Nacional (2015-2050). Secretaría Nacional de Energía.
2. Comisión de Reforma Agraria. Catastro Rural de Tierras y Aguas. Volumen III. 1965-1968
3. Mapa Geológico de la República de Panamá (1991). Dirección de Recursos Minerales. Ministerio de Comercio e Industrias.
4. BGS Rock Classification Scheme Vol.1. Classification of igneous rocks. British Geological Survey. 1999.

5. EOLSS. Characterization of Geologic Materials Vol. 3. Abdul Shakoor. Environmental and Engineering Geology.
6. USGS. Volcan Baru – Eruptive History and Volcano Hazards Assessment. Report 2007-1401. Virginia, USA. 2008.
7. NCHRP - Manual on Subsurface Investigations. 2019.
8. AASHTO - Manual on Subsurface Investigations. 1988.
9. USACE - Geotechnical Investigations (USARMY). Enero, 2001.
10. Normativa y estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (siglas en inglés ASTM)
11. Referencias de la Comisión Internacional de Estratigrafía (en inglés *International Commission on Stratigraphy*)

Las cartas topográficas de referencia, con escala 1:25000, generadas por el Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” (agosto 2011 - 2012), utilizadas durante esta fase del proyecto son:

1. Cerro Pata de Macho (Serie E862, Hoja 3742 II SW),
2. Cerro Pelado (Serie E862, Hoja 3742 IV NE),
3. Paja de Sombrero (Serie E862, Hoja 3742 III SE) y
4. Valle de la Luna (Serie E862, Hoja 3741 I NW),

Adicionalmente, se revisaron documentos públicos asociados a los proyectos energéticos desarrollados en la región por organismos nacionales e internacionales, en diferentes temas de investigación.

b. Recolección de datos de campo

Este levantamiento consistió en una inspección preliminar orientada a la determinación de la accesibilidad, las condiciones del subsuelo en el lugar, las características geológicas y geomorfológicas del sitio, el posible potencial de recursos necesarios para la construcción del proyecto.

Posteriormente, se realizó un recorrido en los diferentes puntos de muestreo del área de interés (Fotografía 1), a través de la carretera principal que conecta las provincias de Chiriquí y Bocas del Toro, donde fue posible reconocer los

afloramientos de suelo y roca para identificar y estimar los espesores de los diferentes materiales geológicos, afluentes de agua, erosión, drenajes, ambientes geológicos, estructuras geológicas, geomorfología y otras características.



Fotografía 1. Logística para actividades de observación del área de interés.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

La accesibilidad a ciertas áreas del plan preliminar del proyecto es limitada y las condiciones climáticas tienen una importante influencia en los cronogramas de trabajo. La elección de estos sitios permitió generar un plan de trabajo organizado para el levantamiento de la información geológica requerida. Esta definición está directamente relacionada al alcance del estudio y la etapa de exploración geológica que compone para el estudio de impacto ambiental.

Las consideraciones de diseño o resultados concluyentes deben ser complementadas y sustentadas con una exploración geológica – geotécnica, laboratorios y la determinación de parámetros ingenieriles que permitan establecer soluciones apropiadas.

La metodología de trabajo se basa en la identificación de sitios georreferenciados (Tabla 1) que permitan realizar observaciones y muestreos representativos de la geología del área.

A continuación, se muestran los sitios y su correspondiente localización:

Tabla 1. Sitios de muestreo del área de interés.

| Sitio | Este | Norte |
|--------------|-------------|--------------|
| S-1 | 363848.0 | 965337.0 |
| S-2 | 366909.0 | 955833.0 |
| S-3 | 366643.0 | 957018.0 |
| S-4 | 365846.5 | 958280.3 |
| S-5 | 365594.0 | 958548.0 |
| S-6 | 365477.0 | 958907.0 |
| S-7 | 366519.0 | 957173.0 |
| S-8 | 365284.8 | 959695.1 |
| S-9a | 365180.7 | 959925.4 |
| S-9b | 365183.1 | 960020.6 |
| S-10 | 364699.0 | 960481.0 |
| S-11 | 364922.0 | 960737.0 |
| S-12 | 364722.0 | 961075.0 |
| S-13 | 364883.0 | 961393.0 |
| S-14 | 364123.0 | 963897.0 |
| S-15 | 367151.0 | 956274.0 |
| S-16 | 367278.0 | 956642.0 |
| S-17 | 367396.0 | 956590.0 |
| S-18 | 367211.0 | 956407.0 |
| S-19 | 367430.0 | 956600.0 |
| S-20 | 360116.0 | 966051.0 |
| S-21 | 362309.0 | 966630.0 |

SECCIÓN 7.2: MARCO GEOLÓGICO

7.2.1 LOCALIZACIÓN

El área de proyección para la ubicación del Proyecto de Generación Eólica Tramontana Power se ubica en la parte Sur – Oeste de la Reserva de Fortuna (RFF), en el Corregimiento de Hornito, Distrito de Gualaca, provincia de Chiriquí, Figura 2.

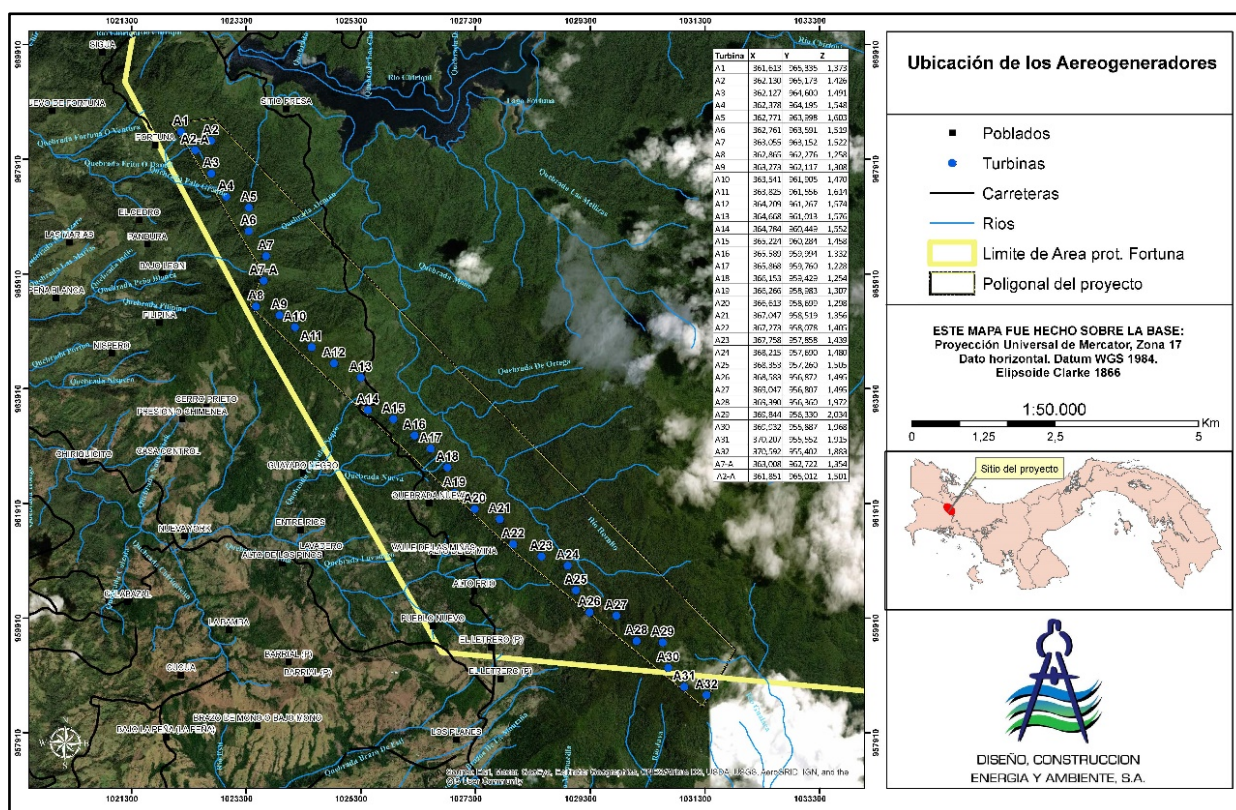


Figura 2. Localización regional del proyecto.
Fuente: Rodrigo Arrocha (2020), ArcGIS 2020

El mencionado proyecto estará compuesto por un complejo de 34 aerogeneradores de 5 MW de potencia, con 32 unidades operativas y dos de reserva.

7.2.2 GEOLOGÍA REGIONAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Centro América es una región geológica caracterizada por eventos asociados al vulcanismo y el diastrofismo, lo que es la base del marco generador de ambientes geológicos complejos.

El surgimiento y la formación del Istmo de Panamá hace aproximadamente 80 millones de años es considerado un acontecimiento geológico de escala mundial por los efectos consecutivos al mismo.

Tectonismo

El Istmo de Panamá, se encuentra ubicado en la microplaca tectónica del Bloque Panamá, rodeado por las placas del Caribe (norte), Cocos (suroeste) y Nazca (sur). Esta microplaca se conformó por el hundimiento de otras placas oceánicas durante la etapa del Cretácico al Cenozoico. Es un área tectónicamente activa.

Perteneciente a la provincia geológica y geográfica, conocida como “Costa Rica – Panamá”, la geología se caracteriza por un ambiente volcánico dominante, asociado a un activo sistema de islas volcánicas y la formación del arco volcánico que tiene gran influencia en la geomorfología y la sedimentación de los materiales que forman parte del complejo basamental. Esta provincia incluye diferentes tipos de patrones tectónicos, específicamente una curvatura de tendencia noroeste a sureste, curvándose al este en el occidente de Panamá (Comisión de Reforma Agraria de Panamá, 1966).

Vulcanismo

El primer vulcanismo, de naturaleza submarina, se presentó durante el Cretáceo. Posteriormente, durante el Mioceno, se desarrolló a nivel continental, destacándose por ser explosivo y muy activo, definiendo la Cordillera Central. Este fenómeno geológico estaba desarrollándose al mismo tiempo que los ciclos de sedimentación y sismicidad de la región, lo que generó la configuración geológica – tectónica propia del Istmo.

Estructuras y Geoformas

En la provincia de Chiriquí, se presentan importantes regiones montañosas que consisten principalmente en rocas ígneas volcánicas y plutónicas. Las regiones de cerros bajos y colinas corresponden a resultados de procesos superficiales que han generado restos de las unidades previas de mayor altura. Su composición en general está constituida por rocas sedimentarias y rocas ígneas como tobas y aglomerados, las que presentan menores resistencias comparativas con las andesitas y basaltos de la región.

Sismicidad

Las condiciones sísmicas que caracterizan la RFF, son las mismas que por su localización corresponden con las características sísmicas de la Central Hidroeléctrica Edwin Fábrega (Proyecto Fortuna)

El área de la parte sur oeste de la RFF de la Central Hidroeléctrica Edwin Fábrega que ocupa el Proyecto de generación Eólica Tramontana Power, al igual que parte del territorio de la República de Panamá, está localizada entre dos zonas sísmicamente activas, correspondiente con el comportamiento de la Zona de Fractura de Panamá, caracterizada por un sistema de fallamiento transformado dextral, que se ubica al sur de Chiriquí y es el límite oeste entre las placas Coco y Nazca y **El Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP)**, que según Stephan et al., 1988; Silver et al., 1990, se caracteriza por una ancha zona activa de pliegues y cabalgamientos, en el margen Caribe de Panamá la cual está localizada paralela a la costa desde la entrada del Golfo de Urabá en Colombia hasta el este del Valle Central de Costa Rica.

Amenaza del fenómeno sísmico en Centro América

De acuerdo al comportamiento de la actividad sísmica durante los dos últimos siglos, la zona de Centro América se ha caracterizado por la ocurrencia de una alta sismicidad con las consiguientes destrucciones producto de los reiterativos terremotos. Terremotos que ocurren con mayor frecuencia a lo largo de la zona de

subducción en el pacífico y el arco volcánico, sin pasar por alto la actividad sísmica del gran número de fallas locales como la falla Ballena Celmira o Falla de Chiriquí, cuyo trazo se proyecta desde la frontera con la República de Costa Rica hasta la margen izquierda del Río Chiriquí agua arriba del puente sobre dicho río, en la Carretera Interamericana.

Como consecuencia de los terremotos acaecidos en la región, surge la necesidad de conocer la amenaza sísmica esperada en los países centroamericanos y como proyectar este conocimiento para minimizar los efectos de la comprobada actividad sísmica en la región de Centro América.

Ante la necesidad de adquirir el conocimiento e investigación de las causas de la alta sismicidad, causante de los terremotos principalmente en Centro América, con la ayuda de la Real Embajada de Noruega acreditada en Nicaragua, y la participación de expertos europeos y centroamericanos fue posible llevar a cabo el Proyecto de Reducción del Riesgo Sísmico en Centro América. Las conclusiones y resultados del Proyecto de Reducción del Riesgo Sísmico en Centro América fueron expuestos a través de mapas, gráficos y tablas con lo que es posible valorar la amenaza sísmica del área de Centro América, Figura 4.

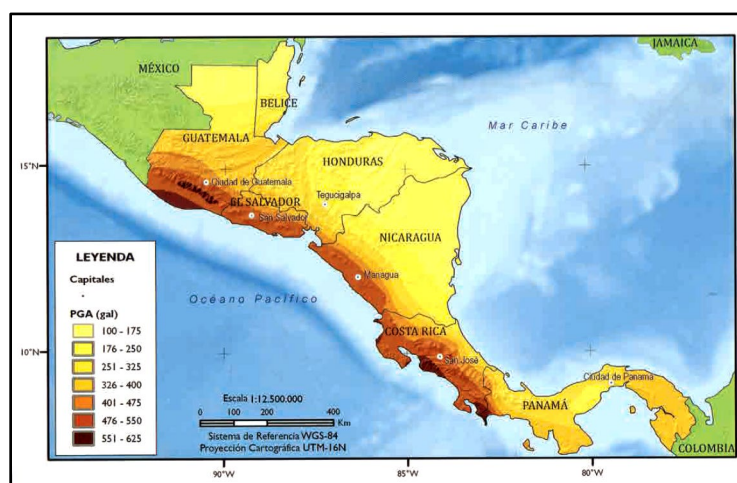


Figura 4. Mapa de la amenaza sísmica en América Central (PR 500 años)
Fuente: Estudio de Amenaza Sísmica en América Central. Proyecto RESIS II. 2009, p. 16

En los mapas de amenaza sísmica regional y local, elaborados por el *Proyecto RESIS II para Centro América*, proporcionan valiosa información para la aplicación y uso en la ingeniería como las Curvas de Amenazas Sísmicas y los respectivos gráficos de respuesta sísmica con los diferentes periodos de retorno, Figura 5.



Figura 5. Mapa de la amenaza sísmica en Panamá (PR 500 años)

Fuente: Estudio de Amenaza Sísmica en América Central. Proyecto RESIS II. 2009, p. 16

De acuerdo a este Mapa de amenaza sísmica para Panamá, elaborado por el Proyecto RESIS II se concluye lo siguiente:

- Las aceleraciones pico mayores del terreno se predicen en la zona de la cadena volcánica en la Zona de Fractura de Panamá, donde se suma la influencia de la actividad de fallamiento local junto con la Zona de Subducción.
- Los valores máximos de aceleración pico del terreno se predicen en la zona de la cadena volcánica, se dan en la zona del suroeste, alrededor de Puerto Armuelles y los valores decrecen hacia el interior del país.
- En la región más oriental, próxima a la frontera con Colombia, la amenaza vuelve crecer.

Las condiciones sísmicas que caracterizan la Reserva Forestal de la Central Hidroeléctrica Edwin Fábrega (Fortuna), son las mismas que por su localización corresponden con las características sísmicas de la Central Hidroeléctrica Edwin Fábrega (Proyecto Fortuna).

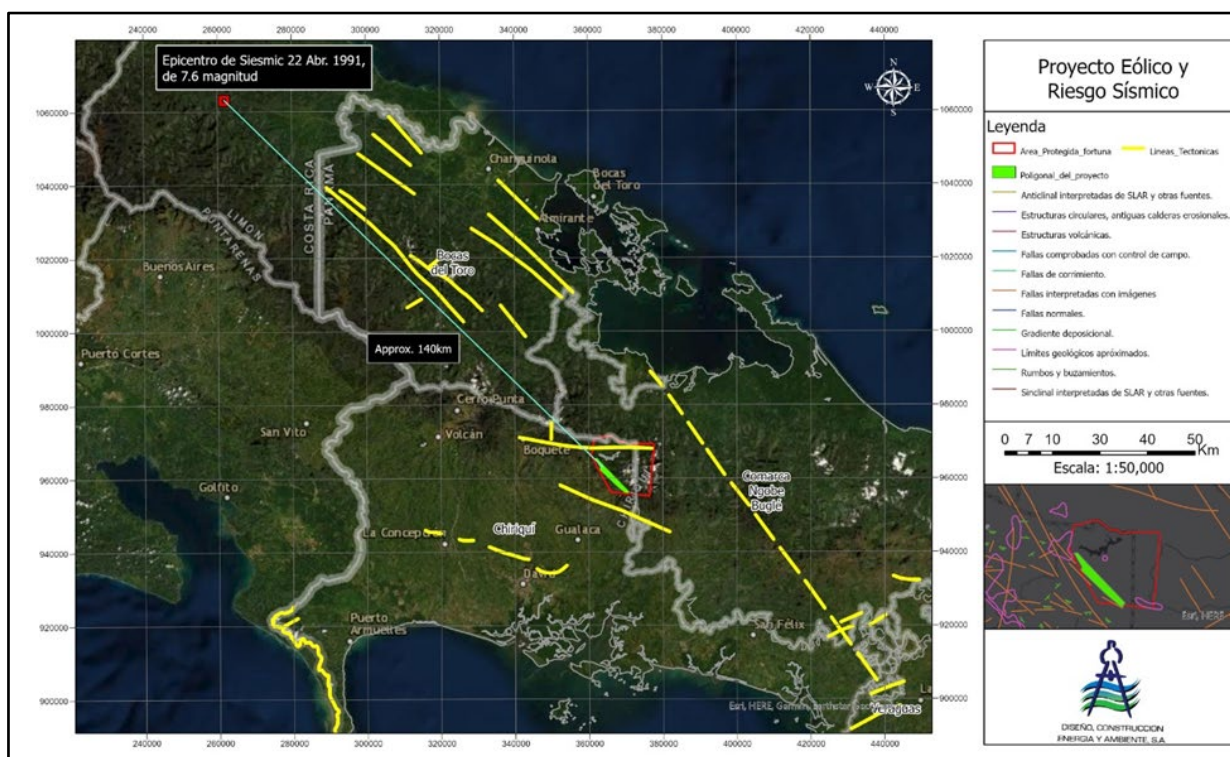


Figura 6. Mapa del Riesgo Sísmico en el proyecto Eólico

Fuente: Estudio de Amenaza Sísmica en América Central. Proyecto RESIS II. 2009, p. 16

El evento sísmico con mayor impacto en el área del proyecto Fortuna fue el terremoto del 22 de abril de 1991, cuyo epicentro, determinado por la Red Sismológica Nacional de Costa Rica, fue ubicado en las coordenadas 9:36.60 de latitud norte y 83:10.20 de longitud oeste, (ver Figura 6, con la localización del epicentro y su distancia relativa el proyecto Fortuna). La intensidad máxima alcanzada por este evento sísmico fue de IX en la escala Mercalli Modificada.

A pesar de los grandes daños materiales y pérdidas de vida en la provincia de Bocas del Toro, causados por el terremoto antes mencionado, el impacto de este sismo en las estructuras subterráneas y superficiales del proyecto Fortuna, fueron mínimos.

7.2.3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Caracterización de materiales geológicos

Los materiales geológicos son testigos de fenómenos o cambios presentados en la evolución del planeta, tienden a estar fuertemente relacionados con las variaciones físicas, químicas y/o mecánicas del subsuelo, expresándolo en la variabilidad de las características de cada uno.

Las características de los materiales geológicos reflejan los procesos y los ambientes en los que se forman. Son típicamente de composición variable y desconocida dependiendo de su extracción, ubicación y, en algunos casos, el potencial de impurezas está relacionado con fuentes o regiones específicas. Hasta condiciones específicas se entienden mejor, será difícil monitorear la variabilidad y predecir la presencia de impurezas.

Las diferencias más prácticas entre los suelos y las rocas en ingeniería funcionan en las obras de excavación, donde el proceso en el suelo es normalmente menos costoso en comparación con la roca, que puede requerir procesos más complejos como perforación y voladura en algunos casos. Debido a estas condiciones, las exploraciones geológicas – geotécnicas permiten obtener información para este tipo de decisiones de diseño y construcción.

En términos de costos, el suelo es usualmente definido como material que puede ser removido por medio de equipo mecánico (excavación mecánica). Esta analogía tiende a ser algo ambigua porque existen características asociadas de gran influencia como la dureza, el tamaño, las condiciones de los equipos, etc. que influyen fuertemente en los costos finales. En la literatura para fines ingenieriles, la roca puede ser definida como “muestras intactas con una resistencia a la compresión uniaxial de orden de 100 psi (6.8 kg/cm²) o mayor”. Esta definición no es aplicable a macizos rocosos en muchas instancias.

Consideraciones técnicas para el levantamiento de campo

Los materiales geológicos incluyen *suelos y rocas*, pero una definición estrictamente definida no existe. Sus clasificaciones geológicas e ingenieriles pueden diferenciarse en las consideraciones o parámetros definidas para su uso. Por esta condición, es importante definir los alcances y metodologías de trabajo durante el levantamiento geológico tomando como principal característica el objetivo o alcance de la investigación.

Suelos: son el producto final de la meteorización mecánica y/o química de las rocas. Son clasificados como **suelos finos** (limos y arcillas) y **suelos gruesos** (gravas y arenas), utilizando de base el tamaño de partícula (Figura 7).

Geológicamente, los suelos pueden ser agrupados o clasificados en diferentes asociaciones:

- a. *Por su origen:* residuales, sedimentarios, coluviales, aluviales, eólicos, glaciales.
- b. *Por su modo de ocurrencia:* llanuras aluviales, estuarios, marinos, morrenas, entre otros.
- c. *Por su textura:* tamaños de partícula o granulometría.
- d. *Pedología:* clima y morfología.

Desde el punto de vista ingenieril, existen dos agrupaciones en los suelos:

- a. *Base ingenieril por Clase:* consiste en agrupar los suelos por su granulometría, plasticidad, contenido orgánico, etc.
- b. *Base ingenieril por Grupo:* agrupados por sus características ingenieriles como fuerte o débil, sensible o no sensible, compresible o no compresible, hinchamiento (expansividad), permeabilidad, o agrupaciones por fenómenos físicos como erosionables, susceptibilidad a las heladas, metaestabilidad (colapsabilidad o licuefacción), con estructuras para volverse inestables bajo ciertas condiciones ambientales.






| Textura clástica Tamaño del clasto | | Nombre del sedimento | Nombre de la roca |
|---------------------------------------|---|---|-------------------|
| Grueso (más de 2 mm) |  | Grava (clastos redondeados) | Conglomerado |
| |  | Grava (clastos angulosos) | Brecha |
| Medio (de 1/16 a 2 mm) |  | Arena (Si el feldespato es abundante la roca se denomina arcosa) | Arenisca |
| Fino (de 1/16 a 1/256 mm) |  | Limo | Limolita |
| Muy fino (menos de 1/256 mm) |  | Arcilla | Lutita |

Figura 7. Nombre del sedimento según el tamaño del clasto.
Fuente: Pettijohn et al. (1987)

Basándose en su origen, los suelos pueden ser clasificados como **suelos residuales o suelos transportados**. Los suelos residuales son aquellos que se mantienen en su lugar de origen mientras que los suelos transportados son aquellos que se movilizan de su sitio de origen por agentes como la gravedad, el agua, hielo, viento, seres vivos, etc. Este último grupo se subdivide en diferentes tipos de sedimentos según las condiciones del ambiente geológico y el proceso de transporte que presentan: coluviales, aluviales, sedimentos marinos, sedimentos lacustres, sedimentos glaciales, sedimentos eólicos, sedimentos volcánicos, entre otros. Ingenierilmente, las propiedades de los suelos están fuertemente relacionadas a su origen.

En el caso de los suelos residuales, se observan perfiles bien desarrollados, en los coluviales dominan los clastos o fragmentos angulares, en los aluviales dominan los clastos redondeados, generalmente estratificados y en los eólicos se presenta uniformidad en el tamaño (Figura 8).

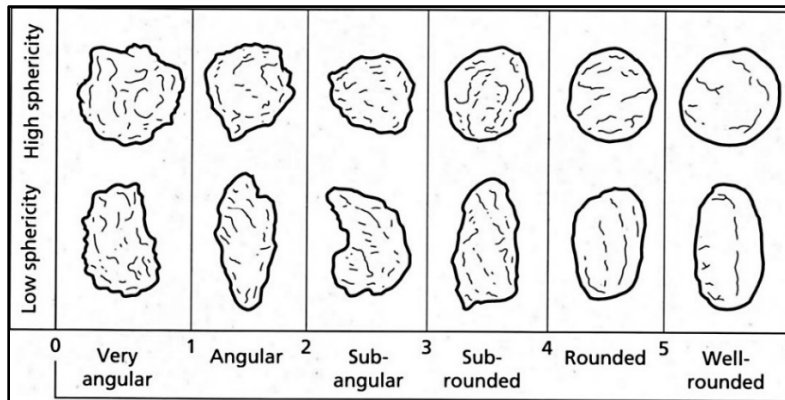


Figura 8. Categorías de redondez para clastos sedimentarios.
Fuente: Pettijohn et al. (1987)

Las *principales propiedades de los suelos utilizadas para la caracterización geológica* son el contenido de agua, la densidad, el tamaño del grano, la distribución de los granos, la plasticidad, el contenido orgánico, el grado de saturación, la porosidad, el porcentaje de vacíos, la tenacidad, la dilatancia, la textura, entre otros, conocidas en muchos casos como “propiedades índices”.

Las *principales propiedades de los suelos utilizadas para fines como el diseño geotécnico* son los parámetros de permeabilidad, el comportamiento de consolidación, las características de la compactación y la resistencia al corte.

Rocas: pueden ser definidas como el material de la corteza terrestre, compuesto de uno o más minerales fuertemente entrelazados y unidos, que pueden ser alterados por procesos superficiales como la meteorización o internos como la tectónica.

Desde el punto de vista geológico, las rocas pueden ser agrupadas respecto a su origen como **ígneas, sedimentarias o metamórficas** y clasificadas de acuerdo a sus características petrográficas que incluyen contenido mineral, textura y fábrica.

- a. Rocas ígneas: están formadas por la cristalización de los minerales componentes del magma o lava, originados en la corteza terrestre (específicamente en la litosfera), para producir una roca sólida. La roca fundida es llamada magma ocurre dentro de la litosfera y se convierte en lava cuando la roca fundida es expuesta en la superficie de la Tierra a través de

la actividad volcánica. Su clasificación está basada en atributos descriptivos, como la composición y el tamaño de grano, no en atributos interpretativos.

Las rocas ígneas se clasifican según su textura (de grano grueso o de grano fino) y sus composiciones químicas y mineralógicas. Estas características de una roca ígnea pueden darnos información sobre dónde y cómo se formó la roca. Se subdividen en **intrusivas o plutónicas y en extrusivas o volcánicas**, dentro de esta última se presentan subdivisiones como las rocas fragmentarias **volcanoclásticas**, que según el **tipo de fragmento** son definidas como **piroclásticas y epiclásticas**.

- b. Rocas sedimentarias: están formadas de sedimentos que han sido transportados y depositados, algunas veces como precipitaciones químicas o de los restos de plantas o animales que han sido litificados bajo el calor y la presión de sedimentos superiores o por reacciones químicas.
- c. Rocas metamórficas: están formadas de otras rocas que están sometidas a enormes procesos de tensión por cizallamiento, de los procesos orogénicos, que causan flujos plásticos, en combinación con calor y agua, o por el calor de roca inyectada dentro de roca contigua, causando cambios químicos y produciendo nuevos minerales.

Desde el punto de vista ingenieril, las rocas son referidas como **en sitio o intactas**.

- a. *Rocas intactas* hacen referencia a los bloques o fragmentos de roca libres de imperfecciones, como fracturas, cavidades o fallas, donde las propiedades hidráulicas y mecánicas son controladas por las características petrográficas de los materiales, ya sea en estado fresco o descompuesto. Esta clasificación es regida por la resistencia a la compresión uniaxial y la dureza.
- b. *Rocas en sitio* hacen referencia a macizos rocosos que normalmente contienen imperfecciones, como fracturas, cavidades o fallas, que separa el macizo en bloques de roca intacta, controlando a su vez las propiedades hidráulicas y mecánicas. La clasificación en este caso es por la calidad de roca, denominándola típicamente como competente o incompetente.

La caracterización se fundamentó en la identificación preliminarmente de las cualidades geológicas de las muestras obtenidas, basada en la siguiente lista de parámetros a observar:

Suelos

1. Tipo de suelo (Identificación visual usando la norma ASTM D2488)
2. Origen del material (Identificados como residuales, rellenos o sedimentos como aluviales o coluviales)
3. Color (Usando de referencia el Sistema ordenado de color Munsell)
4. Resistencia al seco (prueba manual)
5. Plasticidad (prueba manual)
6. Dilatancia (prueba manual)
7. Consistencia del material, usando de referencia la prueba del martillo de geólogo y la cuchilla: OC-1 @ OC-5
8. Contenido de agua
9. Contenido de otros materiales: restos orgánicos, asfalto, concreto, conchas, etc.

Rocas

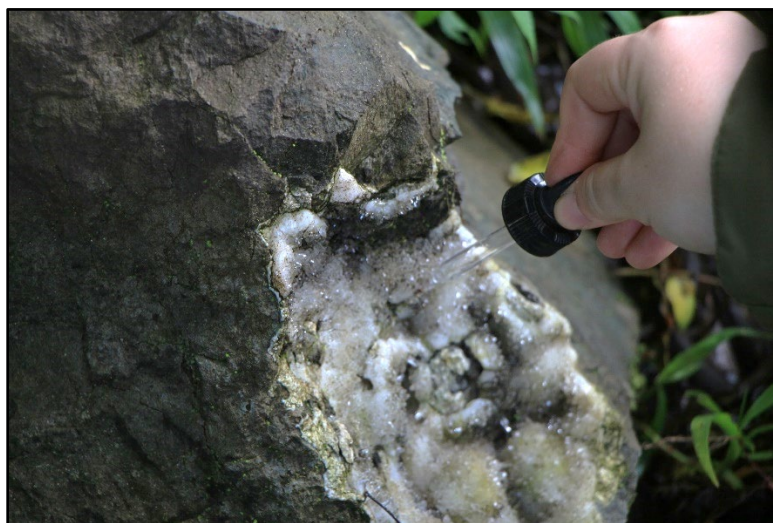
1. Tipo de roca (incluyendo contenido de minerales secundarios)
2. Dureza de las rocas, usando de referencia la prueba del martillo de geólogo y la cuchilla: RH-1 @ RH-5
3. Grado de Meteorización, identificación del tipo (ejemplo: meteorización esferoidal) y alteraciones mineralógicas
4. Grado de Fracturación
5. Estructuras: diaclasas, juntas, fallas, flujo, plegamientos, etc.
6. Estratigrafía (observable)
7. Granulometría
8. Color (Usando de referencia el Sistema ordenado de color Munsell)
9. Origen del material (identificadas las rocas como sus grupos y subgrupos principales bajo los estándares internacionales)

Se recolectaron muestras de roca y suelo para identificar preliminarmente su origen y composición mineralógica macroscópicamente (Fotografía 2).



Fotografía 2. Toma de muestra de roca meteorizada en el sitio S-15.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Se utilizó de referencia los estándares nacionales e internacionales para la definición de criterios de evaluación, aplicación de ensayos in situ para determinación de propiedades fisicoquímicas como la prueba del martillo y de efervescencia (Fotografía 3 y 4).



Fotografía 3. Empleo del ácido clorhídrico diluido al 5% para Prueba de efervescencia.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)



Fotografía 4. Prueba del martillo de geólogo.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

La provincia de Chiriquí se ubica en la región sur occidental de la República de Panamá, en los estribos sur occidentales de la conocida Cordillera Central. Los afloramientos identificados muestran rocas volcánicas y piroclásticas, intrusivas y sedimentos pliocuaternarios (Plioceno), destacando los materiales provenientes de los cuerpos volcánicos de la región, especialmente el Volcán Barú y el Volcán Colorado (Tisingal) (IRHE-BID-OLADE, 1985; Restrepo, 1987). Se observan extensiones con presencia de bloques de roca, posiblemente provenientes de la meteorización y erosión de las laderas de los cerros (Fotografía 5).



Fotografía 5. Panorámica de bloques en la ladera del Cerro Hornito.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Los relieves desarrollados en el área destacan por ser altos, con pendientes entre 15° a 35° aproximadamente, propiamente montañosos, algunos angostos y bastante verticales (Fotografía 6).

Las zonas de laderas y de montaña presentan un dominio de suelos rojizos, que componen depósitos limo – arenosos y arcillas, asociados a las emisiones volcánicas que a su vez presentan una relación con la formación de materiales aluviales, provenientes del transporte por el agua.



Fotografía 6. Panorámica de cerros y puntos altos desde Hornito.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Previamente se explicó que el área de interés está compuesta de rocas ígneas, las que sugieren un ambiente volcánico. Las rocas ígneas son reconocidas por su alta dureza y resistencia a procesos naturales de descomposición como lo es la meteorización. Adicional, se observa la alteración por fluidos hidrotermales que han rellenado fracturas y cavidades con minerales secundarios, conformando cristales de calcita, zeolita y cuarzo (Fotografía 7).

Los principales tipos de rocas identificados durante el desarrollo de este levantamiento geológico se caracterizan y destacan por ser materiales geológicos ígneos, de naturaleza volcánica dominante. No se observó durante este

levantamiento, afloramientos intrusivos (plutónicos) o de otra clasificación. Se identificaron, describieron y registraron muestras de Andesitas, Tobas finas, Tobas de Lapilli, Aglomerados y Brechas Volcánicas y Las Formaciones Geológicas identificadas en el área.



Fotografía 7. Conformación de cristales por Alteración Mineralógica.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

a. UNIDADES GEOLÓGICAS LOCALES

Según el Mapa Geológico de Panamá, escala 1:250.000, (Ministerio de Comercio e Industria, 1990), de la Región Occidental Bocas – Chiriquí, las formaciones geológicas identificadas en la región son la Formación Virigua (TM-CAvi) del Grupo Cañazas y la Formación Guayabito (TMPL-TAgy) (Figura 9).

Dentro del marco de la exploración, los materiales encontrados corresponden específicamente a la Formación Virigua, que está compuesta por rocas extrusivas volcánicas y piroclásticas, desde andesitas, basaltos, brechas volcánicas, tobas de diferentes clasificaciones, bloques subintrusivos y sedimentos volcánicos característicos.

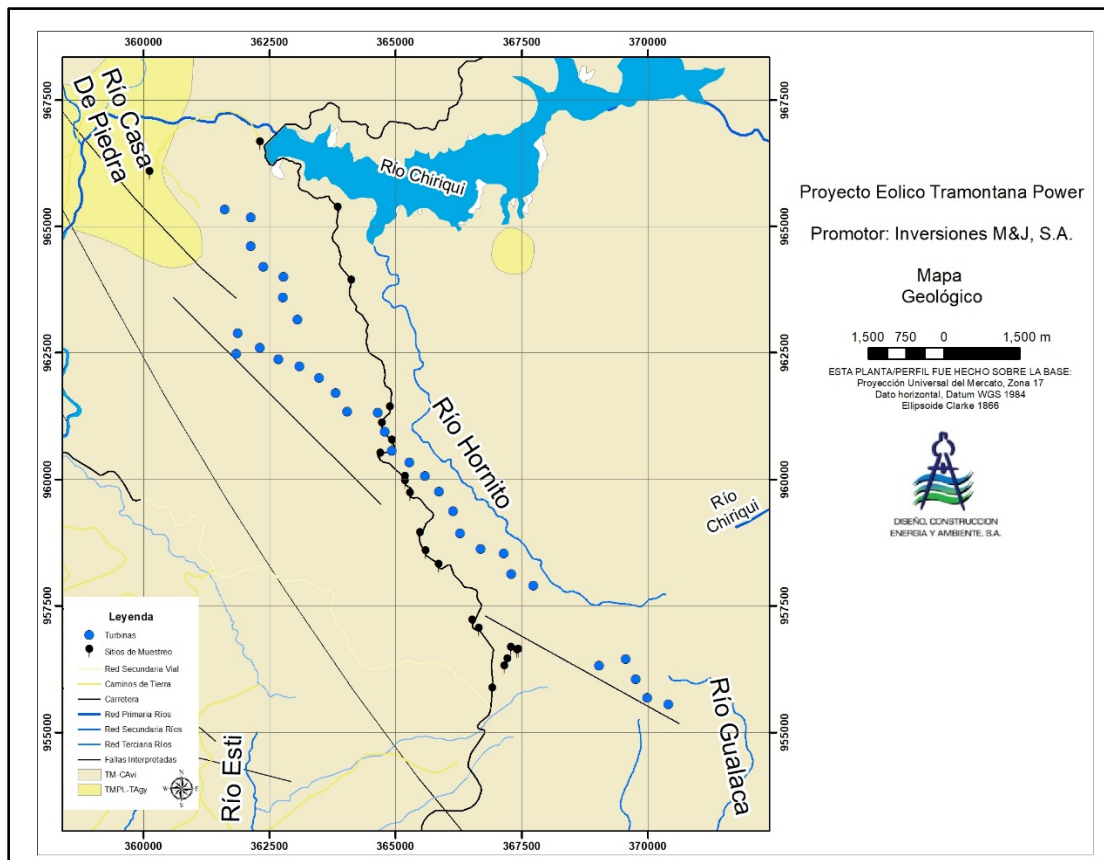


Figura 9. Geología del área de interés.

Fuente: Rodrigo Arrocha (2020), basado en Mapa Geológico de la República de Panamá (1991)

Se observaron características asociadas a fenómenos o procesos superficiales propios de las regiones tropicales, tierras altas, con características similares de temperatura, precipitación, clima, topografía, etc. Los principales procesos superficiales evaluados durante la expedición fueron la meteorización y la erosión.

El 66% de los afloramientos observados muestran un grado de meteorización de moderado a alto, acrecentados por las fracturas identificadas como fallas y diaclasas producidas por los esfuerzos tectónicos. Estas estructuras geológicas generan planos de debilidad que promueven el paso del agua a través de sus fracturas, promoviendo la meteorización de las masas rocosas (Fotografías 8 y 9). Exceptuando el sitio S-21, cuya meteorización es bastante superficial, los afloramientos observados presentaron estructuras de meteorización esferoidal conocidos como los “aros de cebolla”.



Fotografía 8. Flujos de agua en afloramientos de roca meteorizada en el sitio S-2.

Fuente: Bella Almillátegui (2020).



Fotografía 9. Estructuras geológicas en afloramientos de roca meteorizada en el sitio S-16.

Fuente: Bella Almillátegui (2020).

Tabla 2. Notas de campo de afloramientos en el área de interés.

| Sitio | # de Muestra | Este | Norte | Litología | Grado de Meteorización (si aplica) |
|-------|--------------|----------|----------|---------------------------|------------------------------------|
| S-1 | M-1 | 363848.0 | 965337.0 | Andesita | Ligeramente a sana |
| | M-2 | | | Andesita | Ligeramente a sana |
| S-2 | M-1 | 366909.0 | 955833.0 | Aglomerado | Altamente |
| S-3 | M-1 | 366643.0 | 957018.0 | Andesita | Altamente a completamente |
| | M-2 | | | Andesita | Ligeramente a sana |
| | M-3 | | | Toba | Moderadamente a altamente |
| S-4 | M-1 | 365846.5 | 958280.3 | Andesita | Moderadamente a altamente |
| | M-2 | | | Andesita | Sana |
| S-5 | M-1 | 365594.0 | 958548.0 | Toba cristalina | Moderadamente |
| S-6 | M-1 | 365477.0 | 958907.0 | Toba | Moderadamente |
| | M-2 | | | Andesita | Moderadamente a ligeramente |
| | M-3 | | | Toba cristalina | Moderadamente a altamente |
| S-7 | M-1 | 366519.0 | 957173.0 | Andesita (<i>Baked</i>) | Moderadamente a altamente |
| | M-2 | | | Andesita (<i>Baked</i>) | Completamente |
| | M-3 | | | Andesita (<i>Baked</i>) | Completamente |
| | M-4 | | | Toba (<i>Baked</i>) | Moderadamente a altamente |
| S-8 | M-1 | 365284.8 | 959695.1 | Andesita | Altamente |
| | M-2 | | | Andesita | Moderadamente a altamente |
| S-9a | M-1 | 365180.7 | 959925.4 | Andesita alterada | Moderadamente |
| | M-2 | | | Andesita alterada | Moderadamente |
| | M-3 | | | Andesita | Ligeramente a moderadamente |
| S-10 | M-1 | 364699.0 | 960481.0 | Andesita | Ligeramente a moderadamente |
| | M-2 | | | Andesita | Moderadamente |
| S-11 | M-1 | 364922.0 | 960737.0 | Toba | Ligeramente |
| S-12 | M-1 | 364722.0 | 961075.0 | Toba de Lapilli | Ligeramente a moderadamente |
| | M-2 | | | Toba | Ligeramente |
| | M-3 | | | Toba | Completamente |
| | M-4 | | | Hematita | Altamente |
| S-13 | M-1 | 364883.0 | 961393.0 | Toba cristalina | Moderadamente a altamente |
| S-14 | M-1 | 364123.0 | 963897.0 | Andesita | Altamente |
| S-15 | M-1 | 367151.0 | 956274.0 | Toba | Moderadamente a altamente |
| S-16 | M-1 | 367278.0 | 956642.0 | Andesita | Altamente |
| S-17 | M-1 | 367396.0 | 956590.0 | Saprolito | Material completamente meteorizado |
| S-18 | M-1 | 367211.0 | 956407.0 | Andesita | Moderadamente |
| S-19 | M-1 | 367430.0 | 956600.0 | Aglomerado | Moderadamente |
| | M-2 | | | Aglomerado | Moderadamente a ligeramente |
| | M-3 | | | Aglomerado | Moderadamente a ligeramente |
| | M-4 | | | Toba de Lapilli | Moderadamente |

| | | | | | |
|------|-----|----------|----------|------------|--------------------|
| S-20 | M-1 | 360116.0 | 966051.0 | Aglomerado | Ligeramente a sana |
| S-21 | M-1 | 362309.0 | 966630.0 | Andesita | Ligeramente a sana |

En regiones tropicales con alta humedad y temperatura se presenta una intensa meteorización química, que es fundamental en el desarrollo de grandes espesores de suelos residuales (Fotografía 10). En general, la composición mineralógica y geoquímica de estos materiales definen el comportamiento geotécnico de estos materiales. Con ambientes geológicos tropicales de origen volcánico se presentan características propias de complejidad alta. La deposición, las alteraciones, los procesos superficiales, los sistemas de drenaje, la expansividad, la composición magmática, el clima, la biosfera, las actividades humanas, los mecanismos de transporte, entre otros, son solo criterios que generan un modelo geológico no homogéneo en su interpretación.



Fotografía 10. Panorámica de talud en la margen derecha de la Represa de Fortuna.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (volcanoclásticas) tienen propiedades diferenciadoras de los suelos provenientes de otras rocas volcánicas, específicamente por la presencia de la fracción arcillosa (menor a dos micras), que tienen comportamientos condicionados a la presencia y pérdida de agua. También

se observa una porción mayoritariamente arenosa en algunos niveles de estos suelos, indicando suelos más jóvenes. La distribución de arcillas y arenas es muy variable y está asociado a las diferentes distancias que alcanzó la deposición de los materiales en referencia al sistema volcánico.

Son materiales porosos, con buena capacidad de retención de agua. La dinámica hidrológica de los suelos depende adicionalmente del espesor de la capa depositada y su grado de consolidación. No se ha identificado propiamente que tenga una relación directa con la turbidez del agua superficial de los cuerpos de agua cercanos, a excepciones de sitios con drenajes deficientes o nulos asociados a las actividades humanas sin control de esta condición (Fotografía 11).



Fotografía 11. Drenajes deficientes en el área de Cerro Hornito.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Los depósitos de suelos dominantes en el área de estudio están relacionados al ambiente tropical de formación, presentando altos contenidos de hierro y aluminio, conformando **lateritas**. Se encontraron evidencias de dos importantes grupos de suelos provenientes en su gran mayoría de cenizas volcánicas y otras rocas ígneas como la Andesita. (1) Al tener deficiencias en los drenajes de agua, se puede desarrollar mayores niveles de suelos negros, o con alto contenido de **esmectitas** (Fotografía 12).



Fotografía 12. Suelos negros o marrones oscuros en el área del Cerro Hornito.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

(2) En sitios con drenajes de agua óptimos tenemos niveles de suelos rojos, o con alto contenido de **haloisitas**. Se prevé la presencia de haloisitas laminares por el ambiente geológico tropical de formación. Esta observación debe ser ampliada mediante ensayos de petrografía y geoquímica, incluyendo técnicas edafológicas. Geológicamente, componen masas blandas, en coloraciones entre ocre, marrón y naranja, con un contenido de agua elevado (Fotografía 13).



Fotografía 13. Suelos rojizos o marrones claros en el área de Quijada del Diablo.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

El ambiente geológico dominante es de origen volcánico, lo que caracteriza el área de interés con minerales altamente inestables frente a los procesos superficiales como la meteorización, que tienden a formar fábricas oolíticas y agregaciones arcillosas (Figura 10).

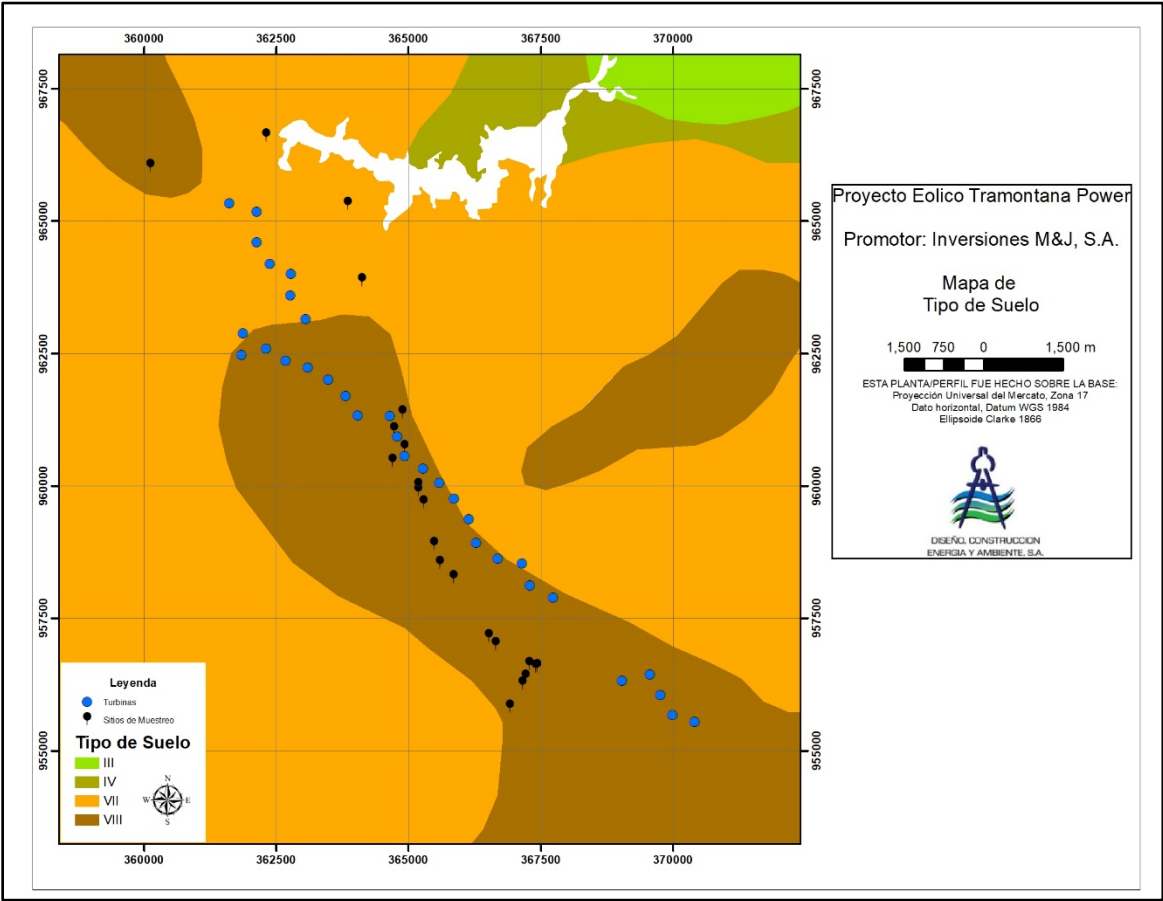














Figura 10. Tipos de suelo en el área del proyecto.
Fuente: Rodrigo Arrocha (2020), basado en la Dirección Nacional de Reforma Agraria, 1968 - 1990


| LEYENDA | TIPO III | TIPO IV | TIPO VII | TIPO VIII |
|--|---|---|---|--|
| <p>Turbinas</p> <p>Sitios de Muestreo</p> <p>Tipo de Suelo</p> <p>III</p> <p>IV</p> <p>VII</p> <p>VIII</p> <p>N</p> <p>E</p> <p>S</p> <p>W</p> | <p>Arable, severas limitaciones en la selección de las plantas.</p> | <p>Arable, muy severas limitaciones en la selección de las plantas.</p> | <p>No arable, con limitaciones muy severas.</p> | <p>No arable, con limitaciones que impiden su uso en la producción de plantas comerciales.</p> |





Tabla 3. Descripción detallada de las muestras y afloramientos por sitio del área de interés



| Sitio | Este | Norte | Descripción del Sitio | Registro Fotográfico |
|-------|----------|----------|---|---|
| S-1 | 363848.0 | 965337.0 | Andesita, RH – 3 a 4, ligeramente meteorizada a sana, textura fanerítica fina, con segunda mineralización de Carbonato de calcio (CaCo_3), reacción al HCL ligera a moderada. Se identifico un sistema de diaclasas interconectadas J1) 204/90 y J2) 295/90, planas, lisas, con presencia de agua, con patinas de oxido. Color: gris oscuro. |  |
| S-2 | 366909.0 | 955833.0 | Aglomerado, RH – 1 a 2, altamente meteorizada, matriz limo arenosa, contiene fragmentos ígneos de 6 cm de largo en promedio y bloques de hasta 90 cm de largo, sub-angulares a sub-redondeados. Color: marrón claro y ocre. |  |
| S-3 | 366643.0 | 957018.0 | Aglomerado, RH - 1 a 2, moderada a altamente meteorizada, matriz limo arenosa, contiene bloques de andesita y toba, hasta 1.50 m de largo, los bloques de andesita tienen una dureza de RH - 1 a 4, altamente a ligeramente meteorizada, textura afanítica y color gris, marrón y azulado. Por otro lado, la Toba, OC-5 a RH-1, moderada a altamente meteorizada, matriz tobácea fina, con estratificación laminar de 2 a 5 cm en espesor. Todo el sitio está influenciado por un sistema de diaclasa 020/90, y frecuencia de 2/10cm. |  |
| S-4 | 365846.5 | 958280.3 | Andesita, RH – 1 a 2, altamente meteorizada, textura fanerítica fina, fracturada, por 3 sistemas de diaclasas J1) 185/63, J2) 100/8 & J3) 20/63, con presencia de óxidos y minerales blancos. Color: gris, marrón, rojizo, naranja, negro y blanco. El afloramiento posee niveles de suelo poco potentes. 5 cm de suelo orgánico. |  |

| | | | | |
|-----|----------|----------|--|---|
| S-5 | 365594.0 | 958548.0 | Toba, OC-5 a RH-1, moderada a altamente meteorizada, matriz tobácea fina con fragmentos de toba cristalina compuesta de cristales feldespáticos, composición intermedia, altamente fracturada. J1) 125/68 – espaciado de 35 cm y frecuencia de 2/70cm, J2) 212/66 – espaciado entre 8 a 10 cm, y frecuencia de 7/60cm. Color: azul (sana) y rojizo marrón al meteorizarse. |  |
| S-6 | 365477.0 | 958907.0 | Toba, OC-5 a RH-1, moderada a altamente meteorizada, matriz tobácea fina con fragmentos de toba cristalina compuesta de cristales feldespáticos, composición intermedia, altamente fracturada, forma cuñas. F1) 145/60, desplazamiento de 20 cm, rellena de arcilla de falla de alta plasticidad, y paralelo una zona de cizalla de 3 cm de apertura. Color: rojo y púrpura, azulado con gris. En el sitio se encontró una andesita afanítica, posiblemente de origen intrusivo. |  |
| S-7 | 366519.0 | 957173.0 | Andesita, <i>baked</i> , RH – 1 a 2, completamente a altamente meteorizada. Color: negro, rojizo, gris verdoso y ocre. |  |
| S-8 | 365284.8 | 959695.1 | Andesita, RH – 2 a 3, moderada a altamente meteorizada, textura fanerítica fina, con la presencia de hornblenda y minerales blancos (calcita y sílice), habito radial y dureza de H>5.5, reacción ligera a moderada de HCL. Color: marrón, rojizo oscuro, marrón oscuro y gris. J1) 235/82 J2) 285/58 J3) 120/65 J4) 310/47 J5) 110/80 |  |

| | | | | |
|------|----------|----------|--|---|
| S-9a | 365180.7 | 959925.4 | <p>Andesita, RH – 2 a 3, moderada a altamente meteorizada, textura fanerítica fina, altamente alterada por clorita, no hay reacción al HCL.</p> <p>Color: gris intermedio, ocre, amarillo, naranja y marrón.</p> <p>J1) 115/50 J2) 160/71 F1) 050/81</p> |  |
| S-9b | 365183.1 | 960020.6 | <p>Andesita, RH – 2 a 3, moderadamente meteorizada, textura afanítica, altamente alterada por clorita, no hay reacción al HCL.</p> <p>Color: gris intermedio, ocre, amarillo, naranja y marrón.</p> <p>J1) 120/90</p> |  |
| S-10 | 364699.0 | 960481.0 | <p>Andesita, RH – 3 a 4, ligeramente meteorizada a sana, textura fanerítica fina, con segunda mineralización de Carbonato de calcio (CaCo_3), reacción al HCL ligera a moderada.</p> |  |
| S-11 | 364922.0 | 960737.0 | <p>Toba, OC-5 a RH-1, moderada a altamente meteorizada, matriz tobácea fina, composición intermedia, altamente fracturada, forma cuñas.</p> |  |

| | | | | |
|------|----------|----------|--|---|
| S-12 | 364722.0 | 961075.0 | <p>Toba lapilli, OC-5 a RH-1, ligera a altamente meteorizada, matriz tobácea fina, composición intermedia, altamente fracturada, forma cuñas, con la presencia de lapillis acrecionarios. Color: púrpura.</p> <p>F1) 018/73 – desplazamiento de 3 cm</p> <p>J1) 310/60</p> <p>J2) 280/85</p> |  |
| S-13 | 364883.0 | 961393.0 | <p>Andesita, RH – 1 a 2, moderada a altamente meteorizada, textura fanerítica fina, altamente fracturada.</p> |  |
| S-14 | 364123.0 | 963897.0 | <p>Andesita, RH – 1 a 2, moderada a altamente meteorizada, textura fanerítica fina, altamente fracturada. Color: marrón y ocre.</p> <p>J1) 98/90</p> <p>J2) 185/46</p> |  |
| S-15 | 367151.0 | 956274.0 | <p>Aglomerado, RH – 1 a 2, altamente meteorizada, matriz limo arenosa, contiene fragmentos ígneos de 6 cm de largo en promedio y bloques de hasta 90 cm de largo, sub-angulares a sub-redondeados. Color: marrón claro y ocre.</p> |  |

| | | | | |
|------|----------|----------|---|---|
| S-16 | 367278.0 | 956642.0 | Bloque de andesita, RH – 1 a 2, altamente meteorizada, textura afanítica. Color gris claro y ocre. |  |
| S-17 | 367396.0 | 956590.0 | Saprolito, limo arcilloso con fragmentos meteorizados de rocas ígneas. Color: marrón oscuro y ocre. |  |
| S-18 | 367211.0 | 956407.0 | Andesita, RH – 2 a 3, moderada a altamente meteorizada, textura fanerítica media, con la presencia de hornblenda y vesículas de minerales blancos (calcita y sílice), habito radial y dureza de H>5.5, reacción ligera a moderada de HCL. Color: marrón, rojizo oscuro, marrón oscuro y gris. |  |
| S-19 | 367430.0 | 956600.0 | Aglomerado, RH – 1 a 2, altamente meteorizada, matriz limo arenosa, contiene fragmentos ígneos de 6 cm de largo en promedio y bloques de hasta 90 cm de largo, sub-angulares a sub-redondeados. Color: marrón claro y ocre. |  |

| | | | | |
|------|----------|----------|---|---|
| S-20 | 360116.0 | 966051.0 | Bloque de andesita, RH – 3 a 4, ligeramente meteorizada a sana, textura afanítica. Color: gris oscuro. |  |
| S-21 | 362309.0 | 966630.0 | Andesita, RH – 3 a 4, ligeramente meteorizada a sana, textura fanerítica fina, con segunda mineralización de Carbonato de calcio (CaCO_3), reacción al HCL ligera a moderada. Se identificó un sistema de diaclasas interconectadas J1) 204/90 y J2) 295/90, planas, lisas, con presencia de agua, con patinas de óxido. Color: gris oscuro. |  |

Se observaron niveles de diferentes eventos volcánicos (S-12), los cuales no se discretizaron por el alcance de este estudio y el análisis del vulcanismo del área. Adicionalmente estos materiales como cenizas (tobas), conformando la matriz de estas rocas y conteniendo fragmentos de diferentes tamaños como los lapillis, o bloques de mayor tamaño (brechas), incluso bombas volcánicas (aglomerados). Estas “camadas” de material se observaron en una deposición no uniforme y en muchos casos compleja para caracterizar a simple vista (Fotografía 14).



Fotografía 14. “Depósitos” volcanoclásticos en el sitio S-12.
Fuente: Bella Almillátegui (2020).

b. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El levantamiento geológico dio como resultado la medición de 19 estructuras geológicas de las cuales 2 fueron identificadas como fallas, ver Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de mediciones

| Cantidad | Sitio | Estructura | Número | Rumbo | Buzamiento |
|----------|-------|------------|--------|-------|------------|
| 1 | S-1 | Diaclasa | 1 | 204 | 90 |
| 2 | S-1 | Diaclasa | 2 | 295 | 90 |
| 3 | S-3 | Diaclasa | 1 | 20 | 90 |
| 4 | S-4 | Diaclasa | 1 | 185 | 63 |
| 5 | S-4 | Diaclasa | 2 | 100 | 8 |
| 6 | S-4 | Diaclasa | 3 | 20 | 63 |
| 7 | S-5 | Diaclasa | 1 | 125 | 68 |
| 8 | S-5 | Diaclasa | 2 | 212 | 66 |
| 9 | S-5 | Diaclasa | 3 | 324 | 64 |
| 10 | S-6 | Falla | 1 | 145 | 60 |
| 11 | S-8 | Diaclasa | 1 | 235 | 82 |
| 12 | S-8 | Diaclasa | 2 | 285 | 58 |
| 13 | S-8 | Diaclasa | 3 | 120 | 65 |
| 14 | S-8 | Diaclasa | 4 | 310 | 47 |
| 15 | S-8 | Diaclasa | 5 | 110 | 80 |
| 16 | S-9 | Falla | 1 | 50 | 81 |
| 17 | S-9 | Diaclasa | 1 | 115 | 50 |
| 18 | S-9 | Diaclasa | 2 | 160 | 71 |
| 19 | S-9 | Diaclasa | 3 | 120 | 90 |

Los afloramientos son de moderadamente a altamente fracturados con diaclasas inclinadas o verticales, planas y otras irregulares, abiertas o rellenas de óxidos y minerales de calcita y cuarzo, persistencia de hasta 3 metros, espaciado de 8 – 35

cm y frecuencia de 2/70 cm y 7/60 cm, forman cuñas, y algunas con flujo de agua.
Ver Fotografías 15 y 16.



Fotografía 15. Andesita altamente fracturada por diaclasas verticales, ubicada en sitio S-9b.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)



Fotografía 16. Toba altamente fracturada formando cuñas, ubicada en el sitio S-6.

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Las fallas identificadas tienen un comportamiento de fallas normales de persistencia mayor a los 5 metros y ángulo de buzamiento mayor a los 60°. Específicamente la falla ubicada en el sitio 6 tiene una orientación aparente de 145/60, contiene arcilla de falla y un ancho de 3 cm, Ver Fotografía 17.



Fotografía 17. Falla normal, ubicada en el sitio S-6.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

La otra falla ubicada en sitio 9a tiene una orientación aparente de 050/81, una zona de falla de aproximadamente de 2.5 m, Ver Fotografía 18.



Fotografía 18. Falla ubicada en el sitio S-9a.
Fuente: Bella Almillátegui (2020)

c. PROCESOS SUPERFICIALES

Esta exploración involucró la identificación de procesos superficiales que pudiesen representar alguna amenaza o riesgo para el proyecto durante sus diferentes fases de exploración, construcción y operación.

Durante el levantamiento fueron identificadas (i) la meteorización, (ii) la erosión y (iii) los movimientos de masas suelo/roca meteorizada como los procesos superficiales principales, siendo influenciados por agentes naturales que pueden tener un impacto negativo a corto o largo tiempo, cuya naturaleza puede representar un riesgo o no a la actividad humana debido a su alcance e influencia en estas actividades.

Por otro lado, las construcciones y la actividad humana generan adicionalmente agentes antrópicos que impactan de forma directa los procesos superficiales naturales generando la degradación del suelo, la desestabilización de pendientes de suelo o roca y la sedimentación. Sin embargo, su impacto puede reducirse o mitigarse si se da el manejo correcto de drenajes, mantenimiento y monitoreo periódico para evitar áreas de inestabilidad y asegurarse de generar la menor intervención posible, especialmente con la generación de un plan de vigilancia de laderas y drenajes.

i. Meteorización

La meteorización bajo la definición del Instituto Americano de Geociencias o por sus siglas en inglés (AGI) es *el proceso o grupo de procesos destructivos, por el cual materiales terrosos o rocosos son expuestos a agentes atmosféricos en la superficie de la Tierra*. Cambiado su color, textura, composición, firmeza o forma, con poca o sin transporte de los materiales sueltos o alterados. Específicamente la meteorización es la desintegración física y la descomposición química de la roca del cual la misma se produce una cobertura in situ de residuos y sedimentos, que pueden ser transportados. Ver Fotografía 19.



Fotografía 19. Afloramiento de suelo y roca ubicado en el sitio S-15 (Cerro Hornito)

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Se pudo determinar que el ambiente tropical húmedo y lluvioso del sitio es la causa principal del aceleramiento de la meteorización de los materiales rocosos, que al final terminan formando grandes espesores de suelo y roca meteorizada.

Sin embargo, esta condición varía según el tipo de roca en exposición. Esto principalmente ocurre debido a que las rocas y sus minerales originalmente se forman a presiones y temperaturas muy diferentes a las que son expuestas en la atmósfera, logrando así un desequilibrio en los minerales que da como resultado su descomposición o alteración.

Como referencia al grado de meteorización se utilizó la tabla 4.4 utilizada en el *Engineering Geology Field Manual of the U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation* modificada y traducida al español por P. Franceschi, *Core Logging Standards for the Canal Area Soil and Rocks* (2001).

Tabla 5: Grado de Meteorización

| Grado de meteorización | Características causadas por la meteorización química | Características causadas por la meteorización mecánica | Textura y soluciones | Características generales |
|--|---|--|---|--|
| Roca Sana | Sin decoloración ni oxidación. | Intacta, sin separaciones | No hay cambios. No hay soluciones. | Resuena cuando se golpea con el martillo de geólogo. Excavación en roca si la roca es dura. |
| Ligeramente meteorizada a sana | | | | |
| Ligeramente meteorizada | Decoloraciones y oxidación en la superficie o hasta corta distancia de ésta. En las fracturas la decoloración puede ser completa y la mayoría está oxidada. Algunos cristales de feldespato pierden el brillo. | Sin separaciones visibles, intacta. | Preservada. Se observa lixiviación menor de algunos minerales. | Resuena cuando se golpea con el martillo de geólogo. La masa rocosa no se ha debilitado. Excavación en roca si la roca es dura. |
| Ligeramente a moderadamente meteorizada | | | | |
| Moderadamente meteorizada | La decoloración y oxidación se extienden a la masa rocosa. La superficie de todas las fracturas está decolorada y oxidada. Los minerales ferro magnesianos se oxidan y los cristales de feldespato se opacan. | Se observa la separación parcial de los límites entre los minerales. | Por lo general, la textura aún se preserva. La mayoría de los minerales solubles se han lixiviado. | El martillo no resuena al golpear la roca. La masa está un poco debilitada. Dependiendo del grado de fracturamiento, usualmente se considera excavación en roca, excepto en rocas naturalmente débiles como lutitas y esquistos. |
| Moderada a muy meteorizada | | | | |
| Muy meteorizada | Roca decolorada y oxidada. Los minerales ferro-magnesianos y los cristales de feldespatos se han alterado y transformado en arcilla parcialmente, se produce la disgregación in-situ. Todas las fracturas están oxidadas y decoloradas, las superficies son friables. | Separación parcial, la roca | La textura está alterada por la desintegración química: hidratación y arcillificación. Los minerales solubles están completamente lixiviados. | Sonido apagado cuando se golpea con el martillo, se fractura con presión manual moderada a fuerte, o con un golpe ligero del martillo sin referencia a los planos de debilidad de la masa, tales como venas, o fracturas muy finas. Usualmente excavación común. |
| Completamente meteorizada | | | | |
| Roca descompuesta | Completamente decolorada u oxidada, pero los minerales resistentes tales como el cuarzo pueden estar inalterados, todos los feldespatos y los minerales Fe-Mg están completamente alterados a minerales arcillosos. | Separación completa de los límites inter granulares (disgregación) | Suelo, se preserva parcial o totalmente la textura de la roca. Los minerales solubles se han lixiviado en su totalidad. | Se desmenuza con las manos, los minerales resistentes como el cuarzo pueden estar presentes en formas de vetillas o diques. Siempre excavación común. |

Adapted from Table 4.4 of the Engineering Geology Field Manual of the U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation by P. Franceschi for Panama Canal rocks with feldspar and mafic minerals in 2001.

Durante el levantamiento se observó que los afloramientos muestran en general un grado de meteorización moderado a alto y un alto fracturamiento como resultado de los esfuerzos tectónicos que ocurrieron en el área. Estas fracturas identificadas como fallas y diaclasas son planos de debilidad que promueven la meteorización esferoidal, Ver Fotografía 20 y 21.



Fotografía 20. Meteorización esferoidal en Andesita
Fuente: Bella Almillátegui (2020)



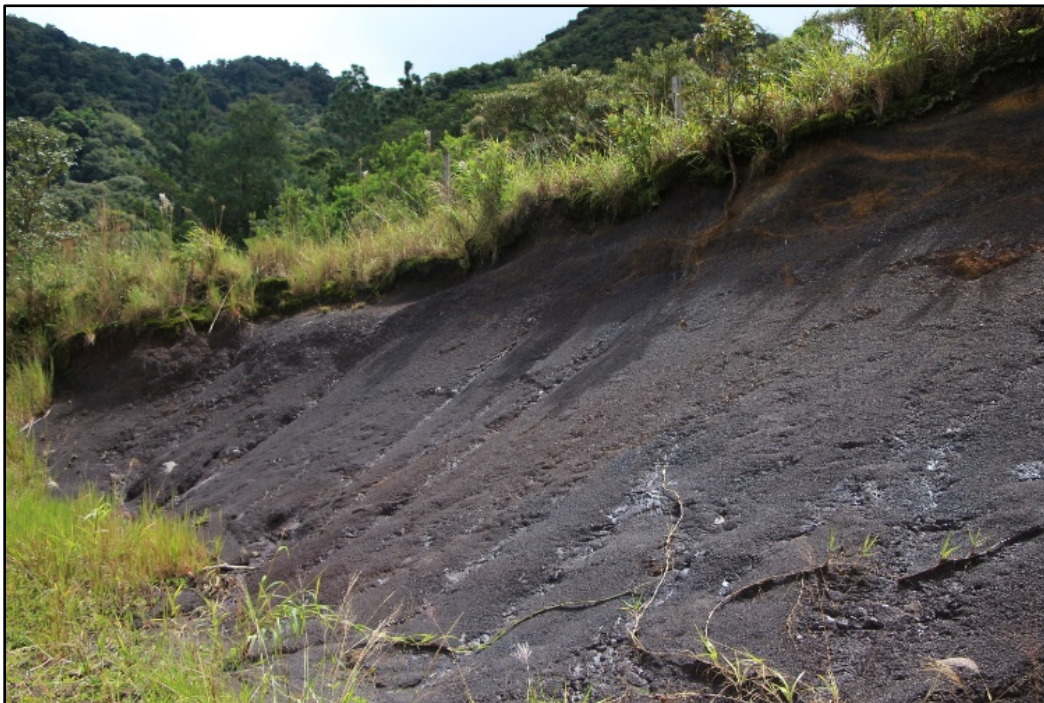
Fotografía 21. Meteorización esferoidal en Toba

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

La descamación esférica se produce a medida que los minerales de la roca se meteorizan en arcillas, aumentando su tamaño mediante la adsorción de agua en la estructura rocosa. La formación de bloques esferoidales induce la separación de la masa rocosa, desprendiendo capas externas que permiten a la meteorización química penetrar más profundamente en el macizo.

Se verificó que las tobas volcánicas son más susceptibles a la meteorización, debido a su diagénesis ígnea volcanoclástica (piroclástica), formando colinas y pendientes de menor grado y afloramientos con muy poca capa de suelo.

En cambio, las rocas ígneas volcánicas como las andesitas y aglomerados, cuyo ambiente de formación es diferente, reconocidas por su alta dureza y resistencia a procesos naturales de meteorización, tienden a formar una geomorfología destacada por grandes cerros y colinas, presentando grandes espesores de suelo y roca meteorizada. Ver Fotografía 22 y 23.



Fotografía 22. Las tobas forman taludes de pendientes bajas

Fuente: Bella Almillátegui (2020)



Fotografía 23. La andesita genera taludes verticales de roca

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Varios factores se identificaron que influyen en la velocidad en que se desarrolla la meteorización de la roca en el área:

- a. Presencia de alto grado de fracturación y diaclasamiento.
- b. Mayor fragmentación de la masa rocosa.
- c. Características de la roca: composición mineralógica, solubilidad, granulometría.
- d. Capacidad de penetración del agua en el macizo rocoso.
- e. Clima: particularmente la temperatura cálida y la humedad abundante.

Se identificó además que la meteorización no se presenta de manera uniforme en los macizos rocosos del área y está directamente relacionada con la geomorfología y la composición, preservando la roca más resistente en formas de puntas o

empinadas, generando laderas irregulares con acantilados y pendientes altas. Se puede considerar que esta meteorización diferencial por la diferenciación de formaciones rocosas variadas está presente en el área de interés.

ii. Erosión

La erosión bajo la definición del Instituto Americano de Geociencias o por sus siglas en inglés (AGI), es *el proceso general o grupo de procesos en los cuales los materiales de la corteza terrestre que están sueltos, disueltos o desgastados son simultáneamente movidos de un lugar a otro por agentes naturales, que incluye meteorización, solución, corrosión y/o transporte, pero usualmente excluyendo movimientos de masa*. Específicamente incluye la destrucción mecánica del terreno y el removimiento de los materiales por escorrentías de agua (lluvias), oleajes y corrientes, movimientos de hielo o vientos.

La velocidad de erosión varía de un lugar al otro y depende naturalmente de múltiples características del suelo como la composición mineralógica, la granulometría, así como del clima, pendientes, geomorfología y tipo de vegetación. Para determinar la erosión causada por las aguas puede estimarse las cargas de sedimento de las corrientes que drenan la región y la dirección de este transporte, Ver Fotografía 24.



Fotografía 24. Drenajes ineficientes al margen de carretera

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

En el área de interés, los afloramientos identificados presentan ausente a muy poco espesor de suelo residual, siendo previamente y visualmente identificados como limos arcillosos. El agente principal de transporte identificado es el agua, dominando la erosión hídrica, que se destaca principalmente por la remoción de las partículas de suelo por impacto o por escorrentía.

Por ejemplo, las tobas observadas en sitio S-12 presentan surcos de erosión en la masa y no en el suelo debido a su naturaleza de degradarse al ser expuesta, la cual no le permite la retención del suelo. Adicional, su composición química no permite el crecimiento de una capa vegetal, Ver Fotografía 25.



Fotografía 25. Erosión por escorrentía en las tobas en el sitio S-12

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Se identificó que los factores que influyen en la erosión hídrica son la precipitación, la topografía, la erosionabilidad y la cubierta vegetal y pese a que las condiciones climáticas no son favorables para la preservación y descomposición de las rocas, en las Fotografías 26 y 27 observamos que la masa de suelo en el embalse del Proyecto Fortuna sometida al proceso de humedad y secado durante el llenado y vaciado de los niveles del embalse y al proceso de generación eléctrica por más de 40 años, mantiene aún hoy día el mismo volumen aproximado. Esta condición comprueba la estabilidad del área al proceso de erosión de la citada masa de suelo en la **RFF**, donde se proyecta construir en la pendiente sur oeste de esta reserva, el Proyecto de Generación Eólica Tramontana Power.



Fotografía 26. Margen izquierdo y derecho de Presa Fortuna, y Fotografía 27. Margen derecho de Presa Fortuna (2020)

Fuente: Arturo Ramírez (2020)

Preliminarmente, se define que el fenómeno erosivo del área destaca por presentar un contraste ante el rápido crecimiento y recuperación de la vegetación, consecuente en la característica vegetación de la reserva y sus alrededores.

Un estado que se refleja en condiciones similares puede ser la definida “Biostasia”, que representa un equilibrio morfodinámico estable entre la vegetación, clima y el suelo, que se encuentra en la rápida compensación de los puntos destruidos por los procesos superficiales naturales. A pesar de ello, si es observable que el manejo de drenajes debe ser controlado y periódicamente monitoreado para evitar áreas de inestabilidad que puede reflejarse en movimientos de masa u otros efectos, Ver Fotografías 28 y 29.



Fotografía 28. Margen derecho de Presa Fortuna (2020)

Fuente: Bella Almillátegui (2020)



Fotografía 29. Panorámica de Presa Fortuna. Margen derecho de Presa Fortuna (2020)

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Fotografías 28 y 29 representan la vista tomada en octubre 2020 en la margen derecha de la represa de Fortuna, donde se puede observar la revegetación y la estabilidad del talud cortado en la capa de suelo hace más de 40 años durante la construcción de la represa.

Este levantamiento tomo en cuenta la ubicación de los aerogeneradores y la erosión y sedimentación que aportaría la construcción de los mismos. El área que se verá afectada es de hectáreas, la cual es un área mínima si la comparamos con el área afectada por la construcción de la Presa de Fortuna, Ver Fotografía 30.



Fotografía 30. Panorámica desde la Presa Fortuna

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

Para entender la influencia de la erosión de los sedimentos y su aporte a los ríos se procedió a construir 5 secciones geológicas que ubican la posición de los aerogeneradores y la vertiente a la que aportaría la sedimentación generada por la construcción y su intervención. Adicional, cabe mencionar que las secciones geológicas son de carácter indicativo de la estratigrafía esperada en los sitios seleccionados, ver Figura 11.

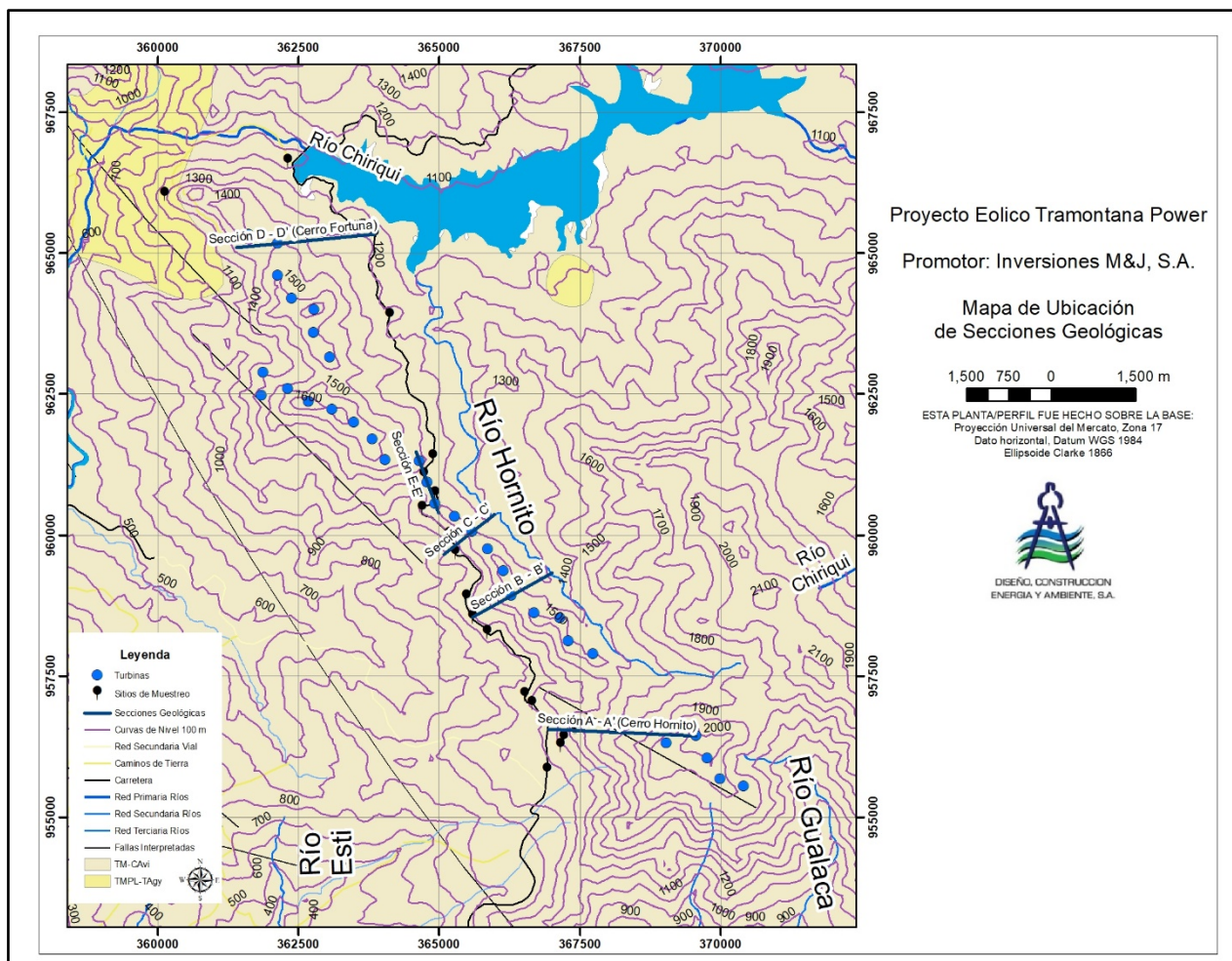


Figura 11. Localización de las secciones geológicas

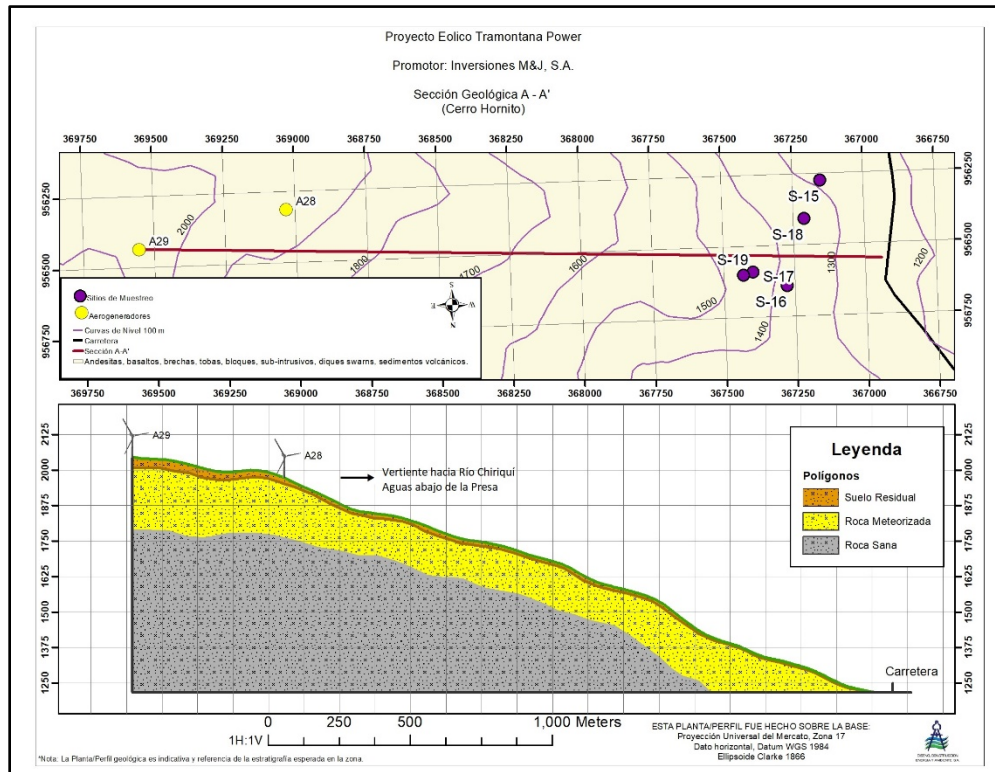
Fuente: Rodrigo Arrocha (2020)

Para referencia de la simbología de los polígonos ver **Tabla 6**.

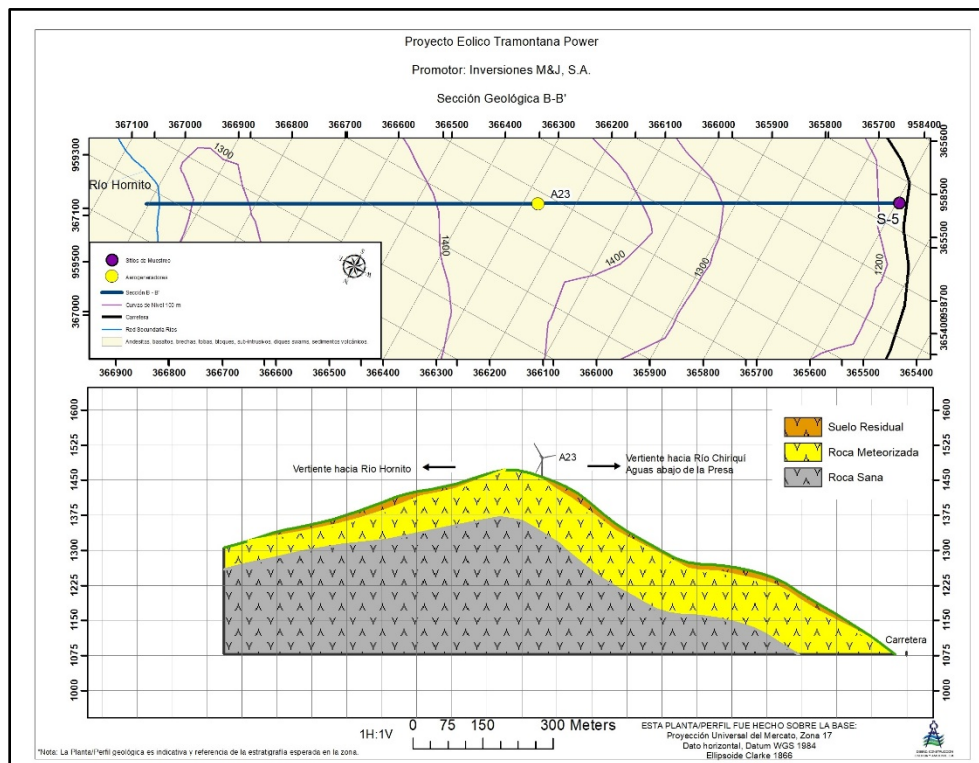
Tabla 6: Referencia de simbología con litología

| | |
|--|------------|
| | Aglomerado |
| | Toba |
| | Andesita |

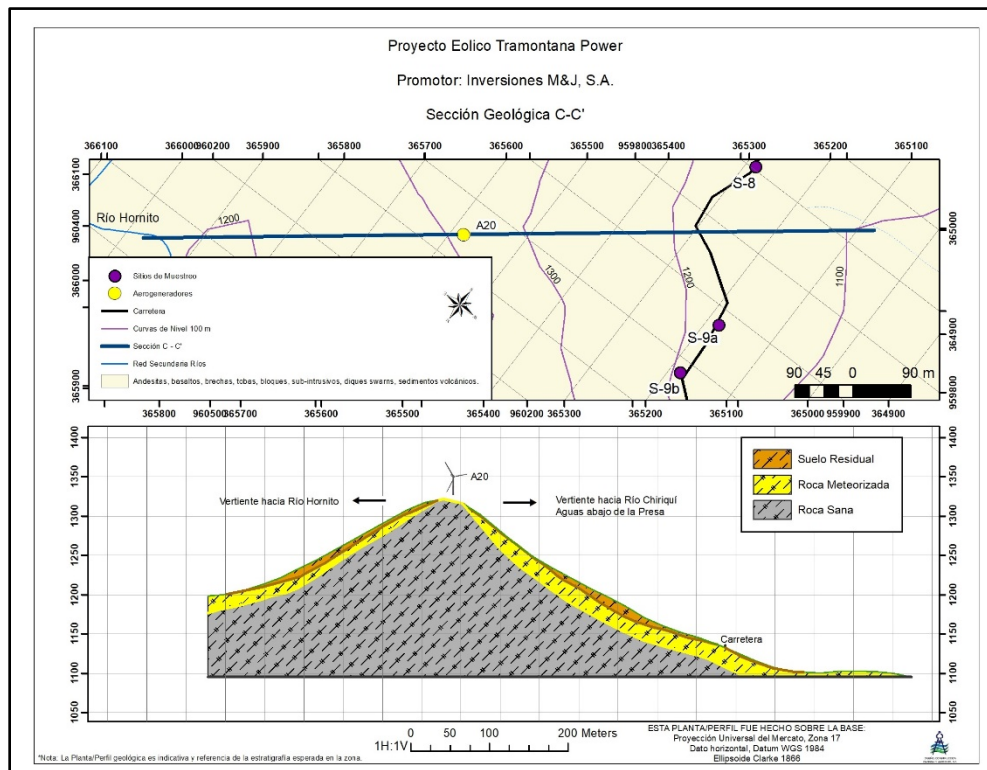
Sección A – A' (Cerro Hornito)



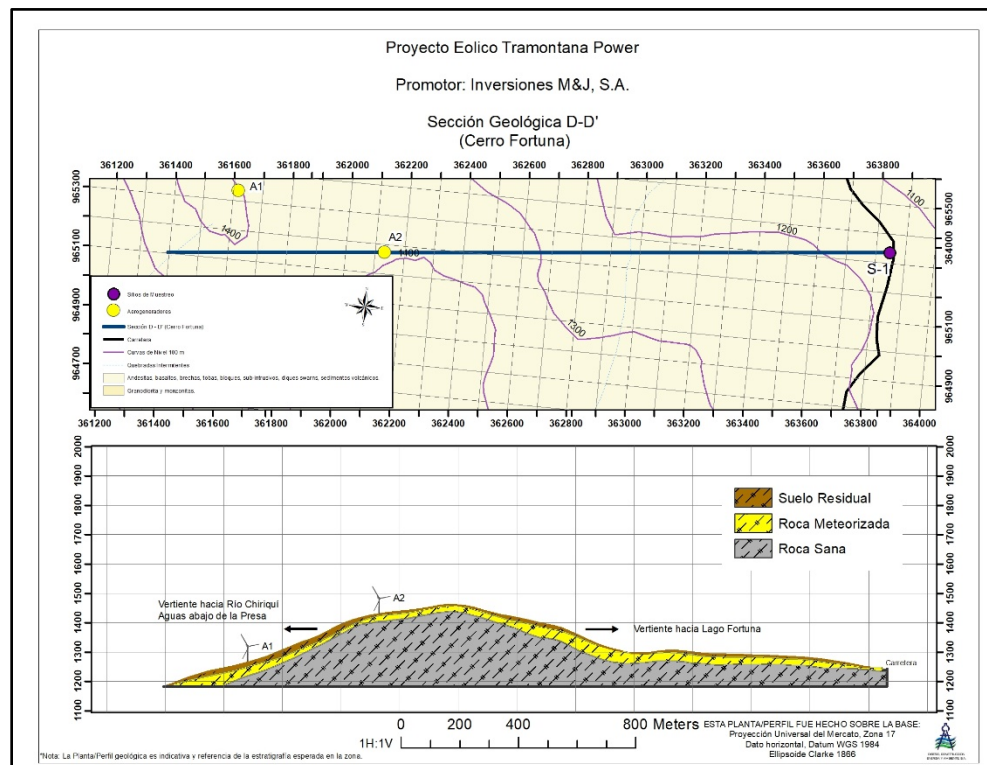
Sección B – B'



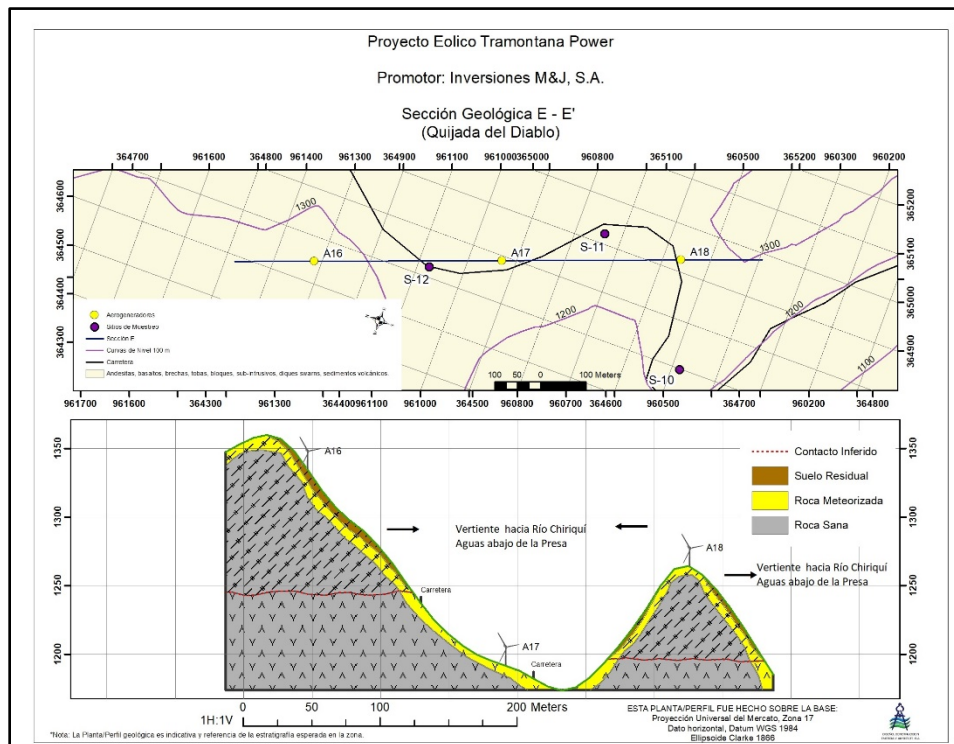
Sección C – C'



Sección D – D' (Cerro Fortuna)



Sección E – E' (Quijada del Diablo)



Este análisis nos muestra que no hay influencia o aporte al volumen de los sedimentos captados por el río hornito que alimenta el lago fortuna, durante la construcción del Proyecto de Generación Eólica Tramontana Power. Ya que las aguas captadas terminaran en la vertiente aguas Presa abajo del río Chiriquí.

iii. Movimientos de masas suelo/roca meteorizada

Esta investigación pudo identificar movimientos de masa suelo/roca meteorizada localizados y de poco riesgo, ver Fotografía 31. Los movimientos de masa bajo la definición del Instituto Americano de Geociencias o por sus siglas en inglés (AGI), son en término general *el desplazamiento y el transporte vertical de materiales como suelo y/o roca, bajo la aplicación directa de tensiones corporales gravitacionales*. Se diferencia de otros procesos como la erosión, debido a que los escombros removidos por movimientos de masa no requieren ni se transportan dentro, sobre o debajo de otro medio, Ver Fotografías 31 y 32.



Fotografía 31. Deslizamiento localizado en sitio S-12

Fuente: Bella Almillátegui (2020)



Fotografía 32. Desprendimientos de vegetación al margen de la carretera

Fuente: Bella Almillátegui (2020)

CONCLUSIONES

- a. Los afloramientos muestran en general un grado de meteorización de moderada a alta y un alto fracturamiento (diaclasamiento).
- b. Las tobas volcánicas son más débiles y susceptibles a la meteorización y terminan formando colinas y pendientes de menor grado y afloramientos con muy poco espesor de suelo.
- c. Las andesitas y aglomerados tienen una alta dureza y resistencia a procesos naturales de meteorización, forman una geomorfología destacada por grandes cerros y colinas, que forman grandes espesores de suelo y roca meteorizada.
- d. El agente principal de transporte identificado de la erosión es el agua, siendo la erosión hídrica el tipo más observado.
- e. El área de estudio presenta suelos donde se puede mitigar/evitar la erosión o la pérdida de suelo a largo plazo si se da el manejo correcto de mantenimiento y monitoreo periódico de drenajes.
- f. Existe una rápida compensación o recuperación vegetal en los puntos destruidos por los procesos superficiales naturales o antrópicos.
- g. La ubicación actual del proyecto y las estructuras de los Aerogeneradores no tiene influencia o aporte al volumen de los sedimentos captados por el Río Hornito que alimenta el lago fortuna.
- h. Los Aerogeneradores están ubicados en la vertiente del Río Chiriquí, aguas debajo de la Presa.
- i. La probabilidad de movimientos de masa es típico de las regiones montañosas tropicales como la que caracteriza los ambientes geológicos del área de interés. Es observable que uno de los principales mecanismos de activación está asociada al agua. En ese sentido, el manejo de drenajes debe ser controlado y periódicamente monitoreado para evitar áreas de inestabilidad que puede reflejarse en movimientos de masa u otros efectos que sean de un riesgo mayor, como se ha observado recién en las tormentas Eta e Iota.

RECOMENDACIONES

- a. El manejo de drenajes debe ser controlado y periódicamente monitoreado para evitar áreas de inestabilidad que puede reflejarse en movimientos de masa u otros efectos.
- b. Se observó que la escasa o ausente gestión de mantenimiento de estructuras actualmente existente como carreteras, drenajes, viviendas, pueden generar obstrucciones de drenajes y acumulación de flujos de agua y sedimentos que son factores de inestabilidad en las laderas.
- c. La investigación realizada generó un estudio preliminar del sitio que permita tener una idea más clara de la distribución de los materiales geológicos (suelo y roca) para futuras estimaciones de exploración y explotación.
- d. Esta etapa denotará estimaciones que deberán ser llevadas a detalles con una campaña de investigación geológica – geotécnica, en base a lo que se concluya del Levantamiento Geológico y las consideraciones de diseño de las estructuras de los Aerogeneradores.
- e. Para amplificar la caracterización mineralógica se recomienda (en caso de considerarse) realizar ensayos de petrografías y geoquímica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Neuendorf, K. Glossary of Geology, Fifth Edition (revised) (5ta ed.). American Geosciences Institute. 2005.

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. Engineering Geology Field Manual. 2001.

Autoridad del Canal de Panamá. P. Franceschi. Core Logging Standard. 2001.

Gaceta Oficial Digital, martes 05 de abril de 2016. Plan Energético Nacional (2015-2050). Secretaría Nacional de Energía.

Comisión de Reforma Agraria. Catastro Rural de Tierras y Aguas. Volumen III. 1965-1968.

Ministerio de Comercio e Industrias (MICI). Mapa Geológico de la República de Panamá. Dirección de Recursos Minerales. 1991.

British Geological Survey BGS Rock Classification Scheme Vol.1. Classification of igneous rocks. 1999.

EOLSS. Characterization of Geologic Materials Vol. 3. Abdul Shakoor. Environmental and Engineering Geology.

USGS. Volcan Baru – Eruptive History and Volcano Hazards Assessment. Report 2007-1401. Virginia, USA. 2008.

NCHRP. Manual on Subsurface Investigations. 2019.

AASHTO. Manual on Subsurface Investigations. 1988.

USACE. Geotechnical Investigations (USARMY). 2001.

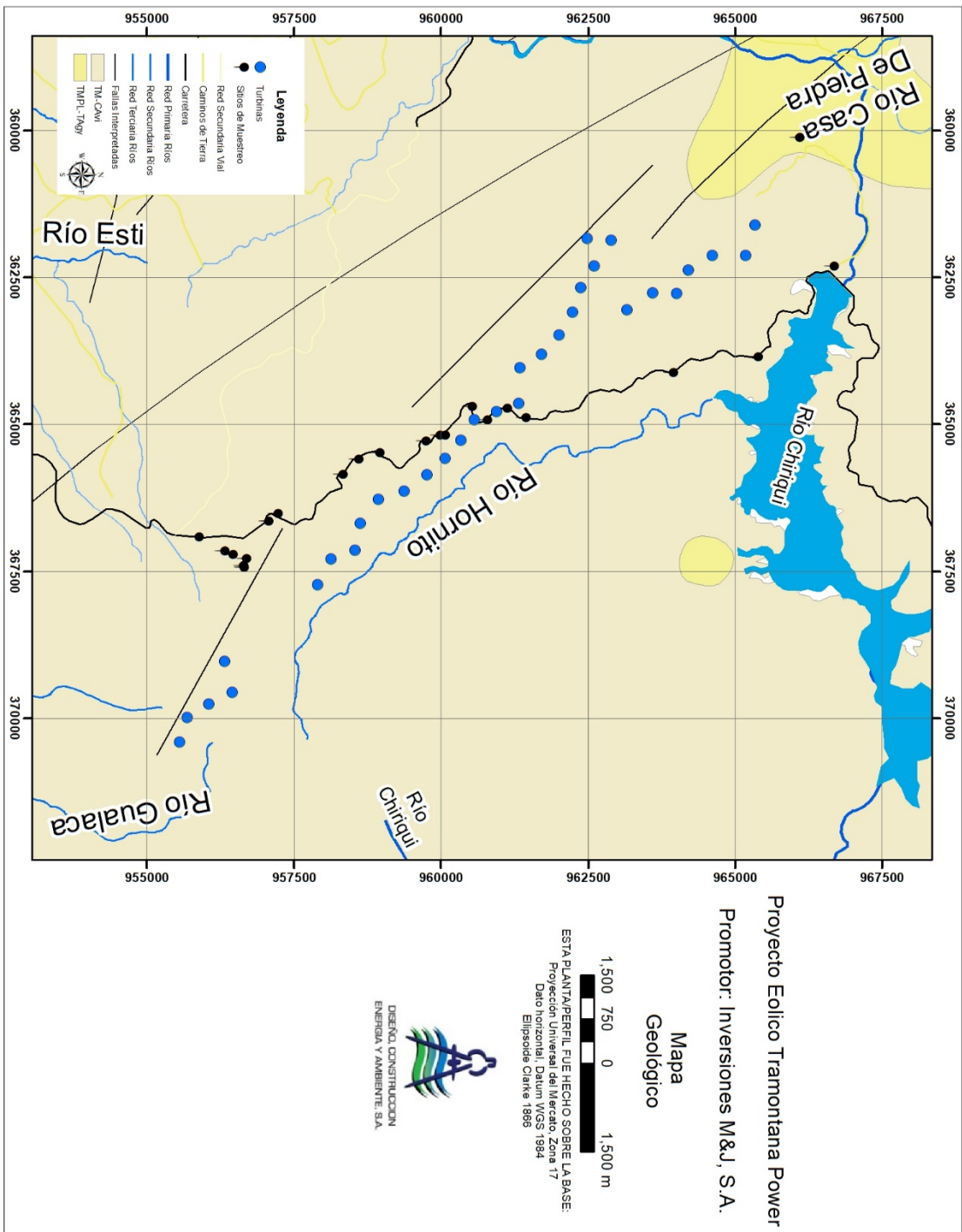
Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, New York, 251 p. 1989.

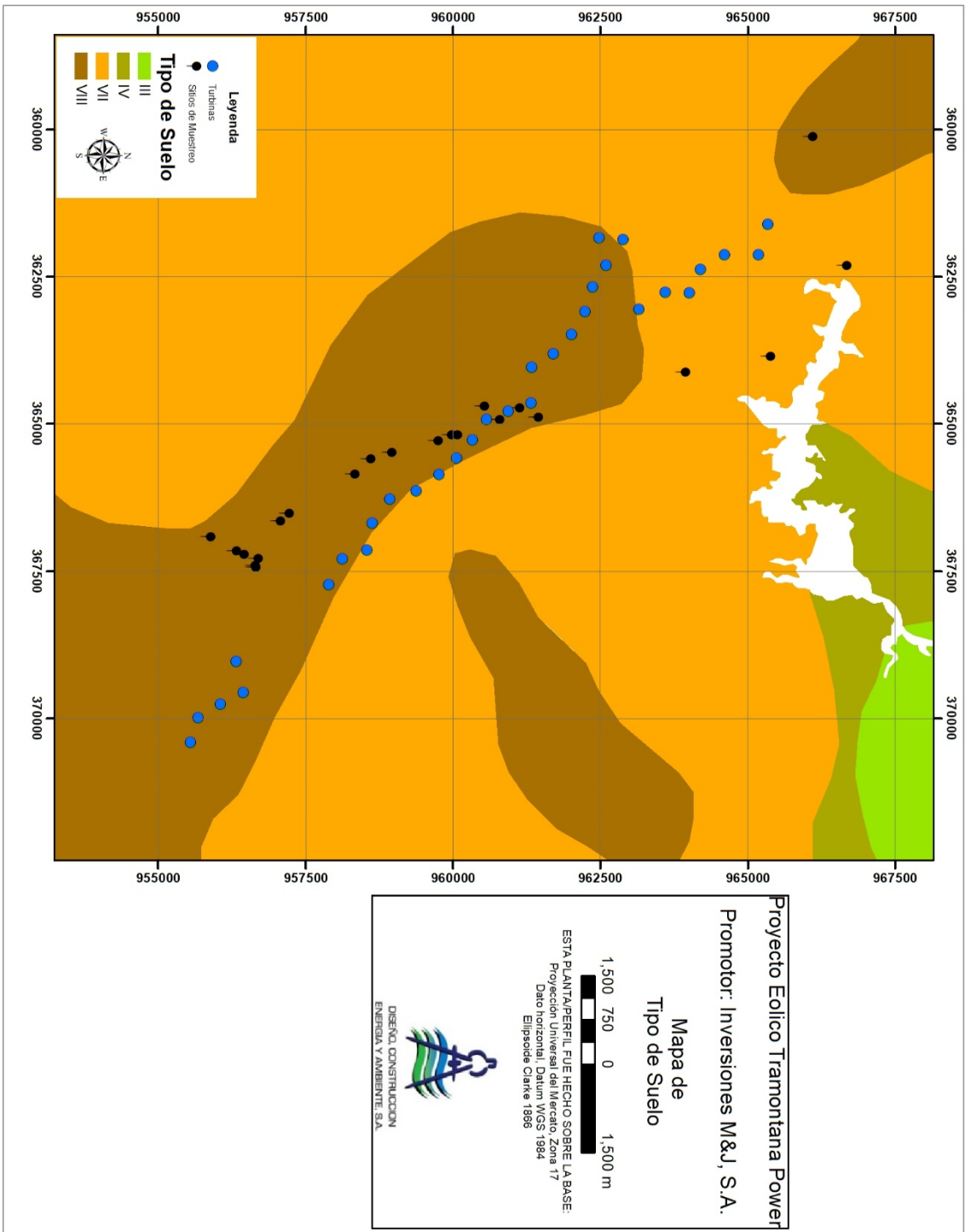
International Association of Engineering Geology (IAEG). Rock and soil description and classification for engineering geological mapping report. IAEG Commission on Engineering Geological Mapping, International Association of Engineering Geology Bulletin, No. 24, pp. 235-274. 1981.

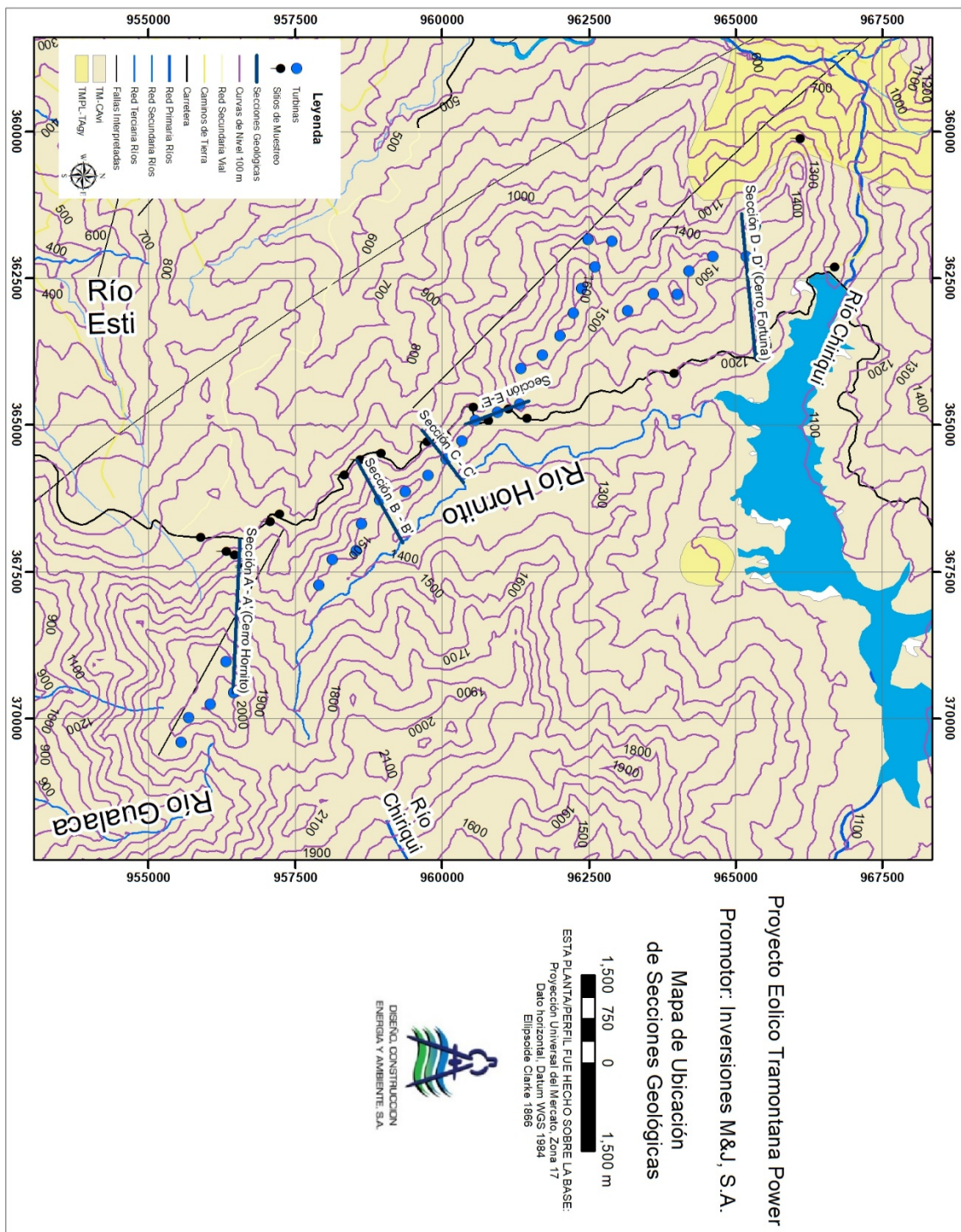
R.B. and DeGraff J.V. Principles of Engineering Geology. John Wiley & Sons, New York, 497 p. 1988.

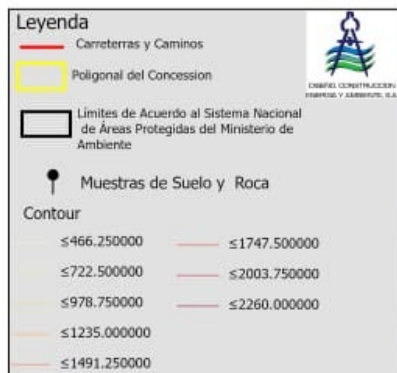
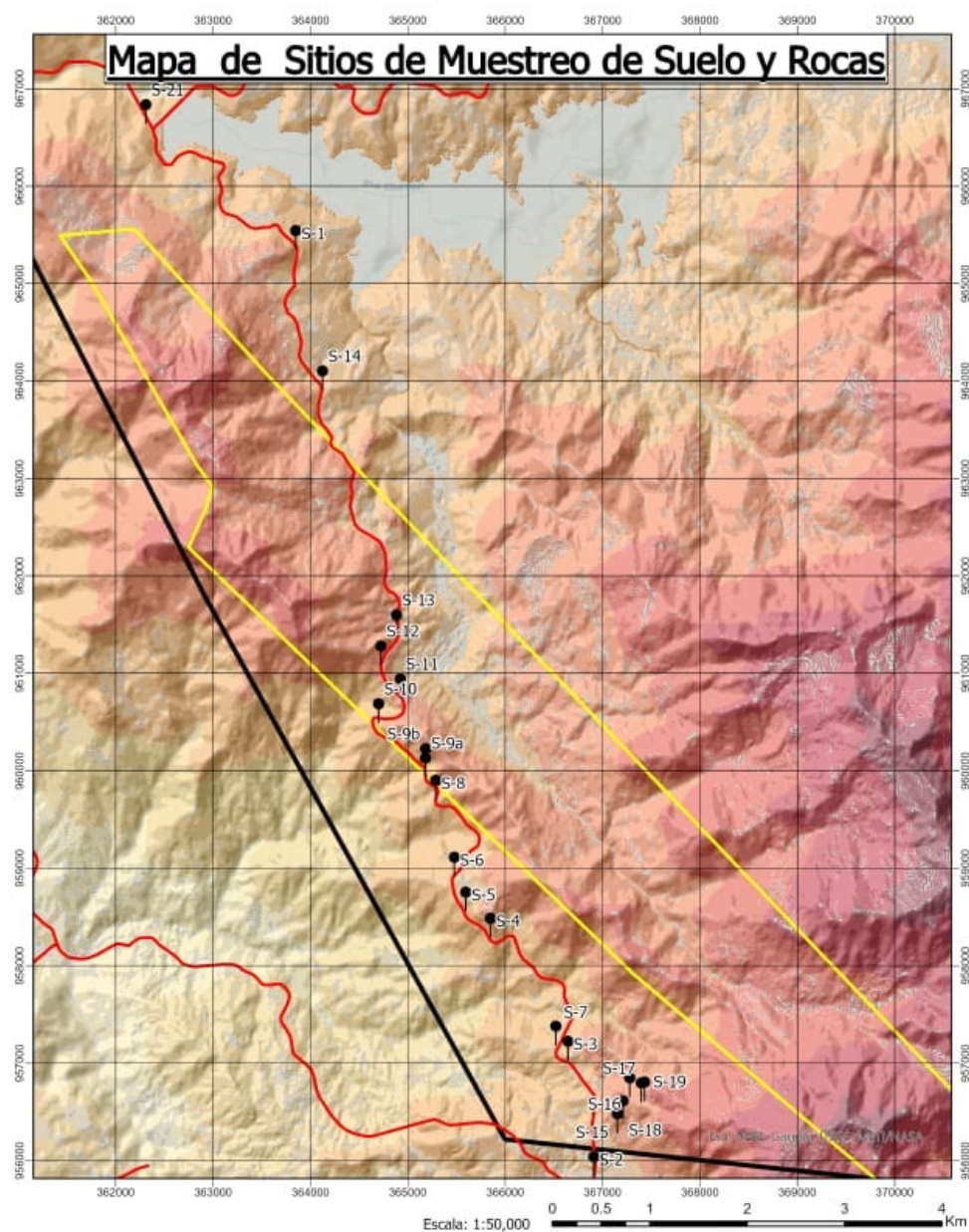
West T.R. Geology Applied to Engineering. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 560 p. 1995.

ANEXOS

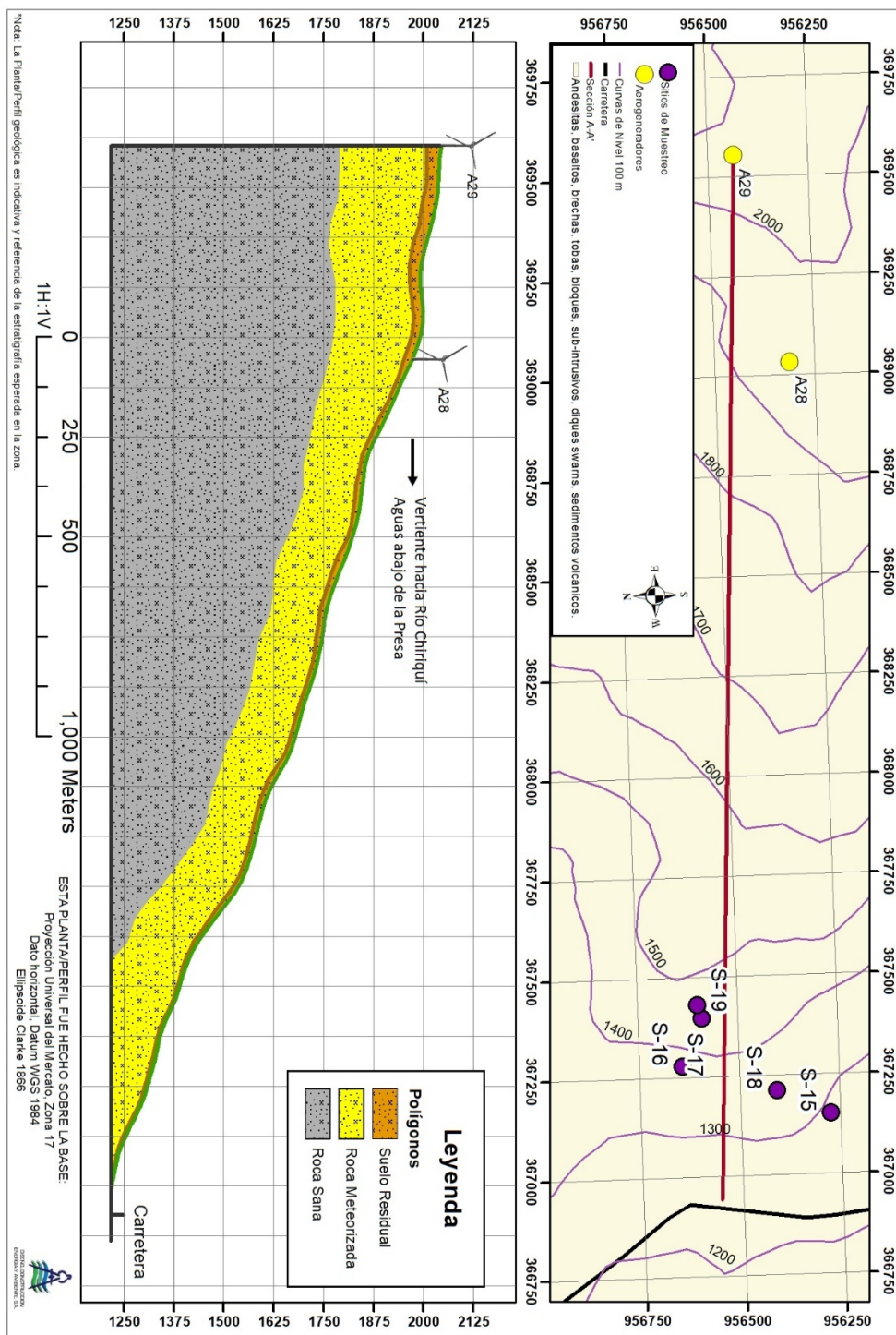






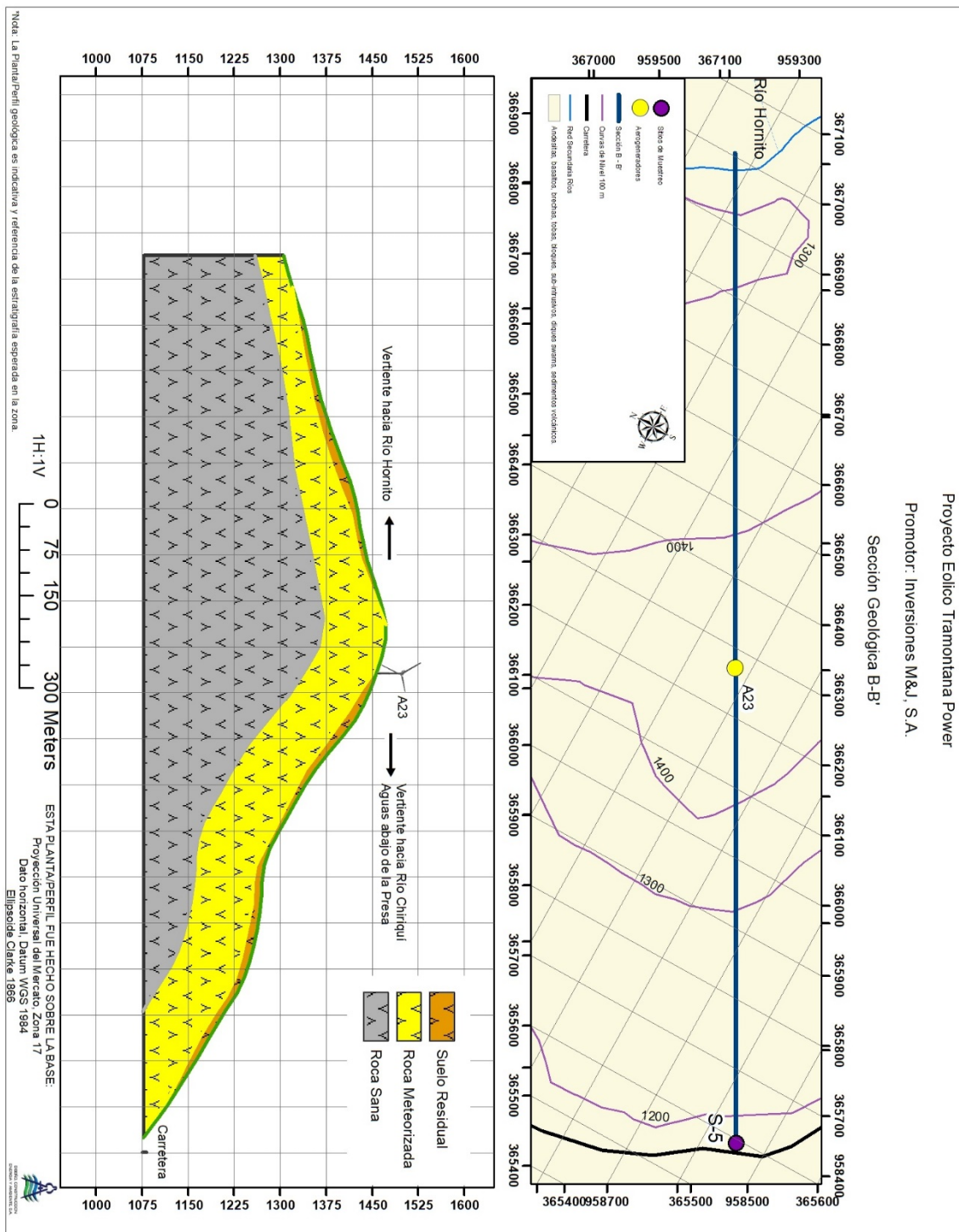


Proyecto Eólico Tramontana Power
 Promotor: Inversiones M&J, S.A.
 Sección Geológica A - A'
 (Cerro Hornito)



Proyecto Eólico Tramontana Power
 Promotor: Inversiones M&J, S.A.

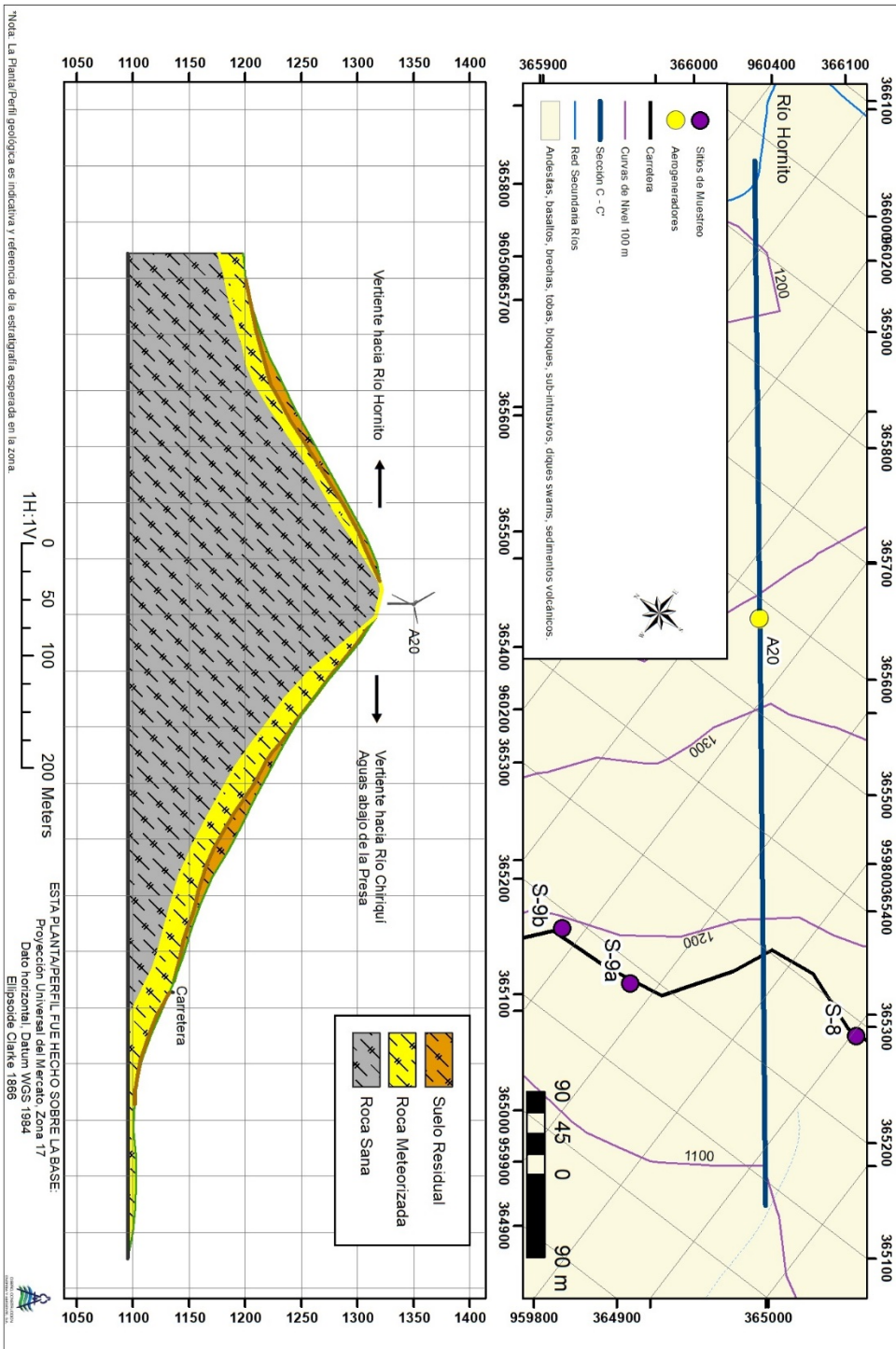
Sección Geológica B-B'



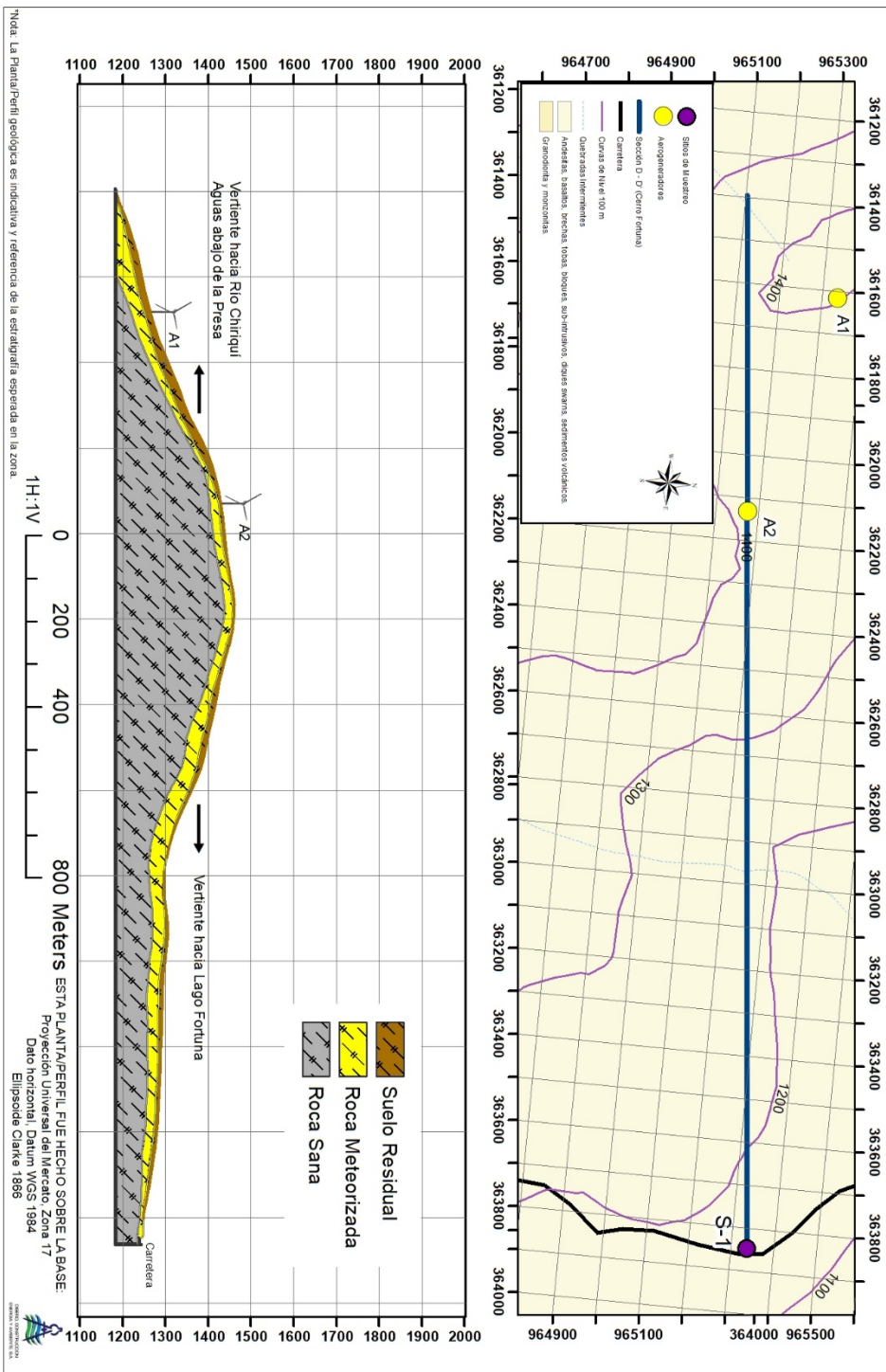
Proyecto Eólico Tramontana Power

Promotor: Inversiones M&J, S.A.

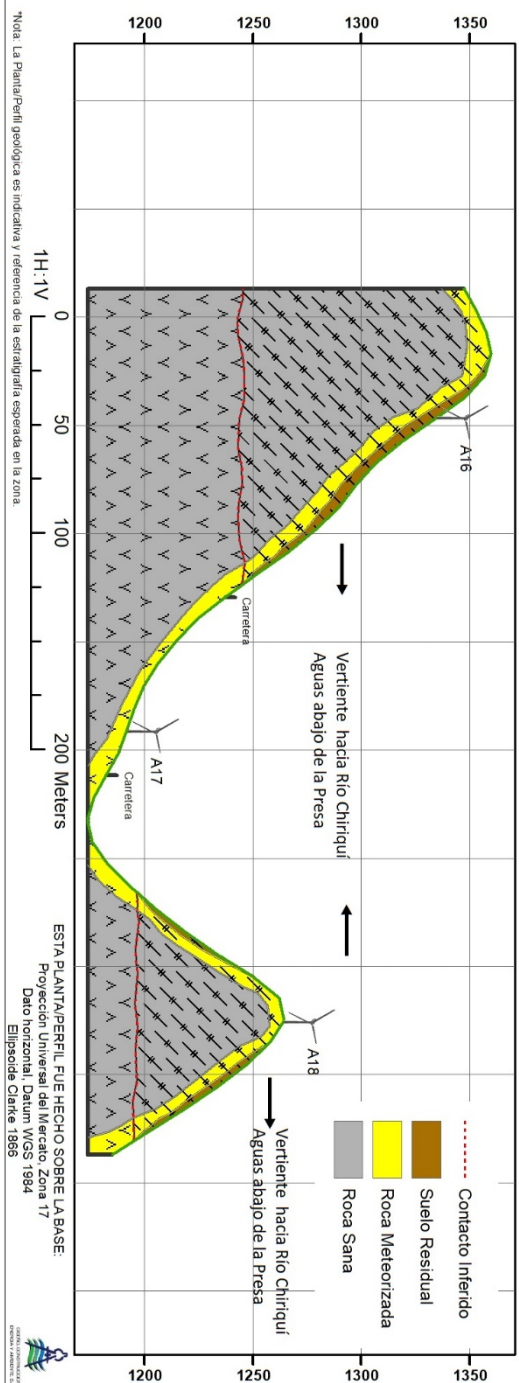
Sección Geológica C-C'



Proyecto Eólico Tramontana Power
Promotor: Inversiones M&J, S.A.
Sección Geológica D-D'
(Cerro Fortuna)



Promotor: Inversiones M&J, S.A.



*Nota: La Planta/Perfil geológica es indicativa y referencia de la estratigrafía esperada en la zona.

ESTA PLANTA/PERFIL FUE HECHO SOBRE LA BASE:

Proyección Universal del Mercado, Zona 17
Data horizontal Datum WGS 1984

Dato horizontal, Datum WGS
Ellipsoide Clarke 1866

