

## APÉNDICE 3

*Overview of the Geology of the Proposed Vía Verde Natural Gas  
Pipeline, Peñuelas to San Juan, Puerto Rico*

**El documento que aparece a continuación es una traducción del que se incluyó en la DIA – P.**

**SINOPSIS DE LA GEOLOGIA  
PARA LA PROPUESTA  
TUBERÍA DE GAS NATURAL VÍA VERDE,  
PEÑUELAS A SAN JUAN, PUERTO RICO**

**Geo Cim, Inc., Proyecto Núm. 4147-10  
12 de agosto de 2010**

**1.0 INTRODUCCION**

Este informe se ha preparado a petición de “Asesores Ambientales y Educativos (AAE)”, quienes fueron contratados la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) para preparar una evaluación ambiental, asistir a la AEE en la obtención de permisos gubernamentales, y en la preparación de servicios educativos comunitarios relacionado al propuesto “Proyecto Vía Verde de Puerto Rico (Proyecto Vía Verde)”. El Proyecto Vía Verde contempla la construcción de tubería soterrada (a profundidades mínimas de 3 pies o 1 metro) para la transportación de gas natural desde las facilidades de Ecoeléctrica localizadas en la costa del Mar Caribe en Peñuelas hasta las plantas generadoras de energía de la AEE en Arecibo (Cambalache), Toa Baja (Palo Seco), y San Juan (Puerto Nuevo). La geología a lo largo de la ruta de la tubería es muy variada; la misma comprende gran parte de la historia geológica de Puerto Rico. Vía Verde cruzará dos de la tres provincias de roca ígnea que componen la Cordillera Central de la Isla, las formaciones de Calizas del sur y norte de Puerto Rico, y los llanos costeros del sur y norte, cada uno de estos con sus respectivas limitaciones geológicas **que se pueden definir por** estudios y diseños geológicos y de ingeniería.

El informe describe la geología general a lo largo de la ruta propuesta y analiza las limitaciones que la geología representa al proyecto. La descripción y discusión están basada en información geológica disponible publicada de la ruta y alrededor de 30 años de experiencia de campo evaluando condiciones geológicas para un sin número de proyectos localizados en la cercanía de la ruta y en áreas con condiciones geológicas similares. Debido a limitaciones de tiempo, no se pudo realizar un trabajo de campo extensivo; este estuvo limitado a un recorrido de un día por la ruta con personal de la AAE, y un reconocimiento de un día en las áreas montañosas de Adjuntas-Peñuelas para observar la fisiografía general y características de intemperización de la roca del área.

La principal fuente de información utilizada consiste de mapas y otros documentos publicados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (US Geological Survey, o USGS); estos se identifican en el Anejo A. La alineación de la ruta planificada cruza porciones de nueve Cuadrángulos Geológicos de 7.5 minutos publicados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos a escala de 1:20,000. AAE proveyó imágenes en formato JPG de estos mapas con la alineación de la ruta sobrepuesta a los mismos,

se incluye copias con la designación de Placas 1 al 6. La ruta sobrepuesta contiene marcadores de millas (MM) que comienzan en las facilidades de Ecoeléctrica. AAE también facilito una imagen de “Google-Earth” con la ruta sobrepuesta que fue extensamente utilizada para esta evaluación.

El resto de este informe está dividido en tres secciones: la primera y segunda describen la fisiología y geología de la ruta, y la última describe las limitaciones geológicas.

## **2.0 ESCENARIO GEOLOGICO**

Puerto Rico, sus Islas circundantes, y las Islas Vírgenes al Este son la expresión sub-aérea de pequeños bloques de la corteza localizada entre los más grandes Platos Tectónicos de América del Norte y del Caribe (Figura 1). El bloque de Puerto Rico – Islas Vírgenes (PR-IV) es parte de un viejo arco de islas volcánico que se formó durante la subducción entre márgenes de los platos de Norte América-Caribe durante el periodo del Cretáceo al Eoceno (110 a 45 millones de años antes del presente). Este arco consiste de roca volcánica, vulcano-clástica e intrusiva, con cubiertas discontinuas de calizas y sedimentos de plataformas carbonatadas del Terciario Medio,. Los márgenes del bloque son sistemas de fallas activas que forman los rasgos predominantes del fondo topográfico marino: al norte se encuentra la Trinchera de Puerto Rico, en donde el Plato de Norte América se desliza (con un componente de empujón hacia abajo) contra el bloque de PR-IV; al sur está Fosa de Muertos, que se produce cuando la corteza del Caribe se encuentra en subducción debajo del bloque de PR-IV; hacia el oeste se encuentran una serie de valles que se extienden de norte a sur que incluye el Cañón de la Mona; y, hacia el este está el Canal de Anegada con tendencia de extensión noreste, el cual consiste de una serie de valles y escarpados que aparentan haber sido creados por una combinación de fallas normales y horizontales.

La roca que se encuentra presente a lo largo de la alineación de la ruta propuesta del Proyecto Vía Verde comprende sobre 90 millones de años en la historia geológica de la Isla. La Figura 2 es una representación de un mapa geológico generalizado, según creado por el USGS. Según el punto de vista del proyecto de la tubería, las rocas de la alineación se pueden agrupar en 3 unidades básicas como siguen:

1. Rocas del Cretáceo al Eoceno: predominantemente roca volcánica y vulcanoclástica submarina que ha sido penetrada por roca plutónica, formando así el núcleo de la Isla. Al presente, estas rocas afloran a través de la Cordillera Central y al sur de sus bases montañosas. Estas están sub divididas en 2 provincias ígneas, las cuales se distinguen por criterios geoquímicos y estratigráficos, y que están separadas por la Gran Zona de Falla del Sur de Puerto Rico (GZFSPR). La alineación, de la ruta, cruza 13 diferentes unidades identificadas en mapas pertenecientes a este Antiguo Complejo. Estas rocas se encuentran plegadas y con

- fallas y localmente metamorfoseadas, típicamente en la vecindad de cuerpos mayores de roca intrusiva.
2. Plataforma de caliza y roca sedimentaria del Oligoceno al Plioceno que fue depositada en discontinuidad angular sobre el Antiguo Complejo a lo largo de la costa norte y sur de la Isla. Las que se encuentran al norte están subdivididas en 6 unidades que muestran una leve inclinación hacia el norte (buzamiento disminuyendo de unos 5° a lo largo del margen sur del afloramiento hasta 1° cerca de la costa del Océano Atlántico) y que muestran poca a ninguna deformación. En contraste, las que están al sur, han experimentado procesos de fallas normales produciendo levantamientos, bloques de rocas inclinadas en donde ahora los estratos exhiben buzamiento predominantemente hacia el sur en el rango de unos 10° a 30°. Estas están subdividida en 4 unidades en el mapa.
  3. Sedimentos de arcillas a grava de edad Cuaternario depositadas en una variedad de ambientes sedimentarios, incluyendo playas y lagunas/pantanos costeros, valles indudables y abanicos aluviales modernos a Cuaternarios, depósitos de arenas superficiales, y depósitos de deslizamientos.

Estas unidades en el mapa se describen en mayor detalle en las secciones que siguen de este reporte, en donde la alineación de la ruta ha sido subdividida en segmentos (también designadas como tramo o sección) con geología y la relacionada fisiología similar.

### **3.0 GEOLOGIA A LO LARGO DE LA ALINEACION DE LA TUBERIA DE VIA VERDE**

Los siguientes párrafos describen la geología y fisiología de la alineación de la tubería. Como mencionado anteriormente, la fuente primaria de descripciones proviene de los Cuadrángulos de Mapas Geológicos del USGS. El lector debe hacer referencia a la Placas 1 al 6 durante la lectura de esta sección. A menos que se indique, las descripciones de rocas-suelos entre comillas son citadas del Cuadrángulos de Mapas Geológicos del USGS correspondiente. Las distancias a lo largo de la alineación se expresan en metros y kilómetros, y los Marcadores de Millas<sup>1</sup> (MM) se referencian cuando aplican; las elevaciones y cambios de elevaciones son dados en metros (tal como presentado en los cuadrángulos de mapas topográficos).

#### **3.1 Suelos Cuaternarios de Las Valles Costeros del Sur y del Valle del Río Tallaboa, Barrios Tallaboa Poniente y Tallaboa Saliente (MM-0 a MM-4)**

La tubería comenzara (MM-0) en las facilidades de la planta generatriz Ecoeléctrica, localizada en la punta sur de Punta Guayanilla, un banco de arena costero bajo que separa la Bahía de Guayanilla al oeste de la Bahía de Tallaboa al este. Se extenderá hacia el noreste y

---

<sup>1</sup> Note que los puntos de millaje que se presentan al comienzo de cada sección son aproximados.

luego al nor-noreste desde el Terminal de Ecoeléctrica siguiendo el banco de arena paralelo a la carretera de acceso, terminando cerca del marcador MM-1. El banco de arena tiene hasta 10 metros de arena de playa y duna de tamaño fina a mediana, compuesta de fragmentos de roca volcánica-vulcanoclástica, caliza y conchas marinas, y lodo de color gris oscuro a negro y depósitos de arena de pantanos costeros (*Ob* en Placa 1).

Al alejarse del banco de arena, la alineación entra hacia el delta y parte baja del valle aluvial del Río Tallaboa, un área que alguna vez incluía un gran pantano, que fue rellenado durante los años 50s y 60s para la construcción de un complejo petroquímico y de refinación-manufactura de químicos. La alineación cruzará a lo largo del complejo abandonado en una trayectoria siguiendo caminos de accesos que discurren norte y este, eventualmente entrando en terreno no desarrollado a lo largo del banco oeste del Río Tallaboa en el MM-3. El suelo superficial a lo largo de este tramo incluye arena de playa (*Ob* en Placa 1) que localmente contiene guijarros, y relleno depositado por el hombre de espesor desconocido pero que probablemente varía grandemente<sup>2</sup>. El relleno se encuentra sobre aproximadamente 10 + metros de depósitos de pantano (*Os* en la Placa 1) consistente de una mezcla saturada de “arenas, arcillas, y fragmentos carbonatados”. También puede haber guijarros, gravilla, arena, arcillas y arcillas aluviales (*Oa* en Placa 1) de densidades o consistencias generalmente desconocida.

Desde MM-3, la tubería correrá hacia el sur unos 150 metros atravesando la esquina noreste del antiguo humedal para luego dirigirse hacia el este cruzando el valle aluvial del Río Tallaboa. Cruzara el río y comenzara una trayectoria zigzagueante siguiendo un camino hacia el norte que se extiende hasta al Carretera Estatal PR-127 (al norte de MM-3). La alineación cruzara la PR-127 y continuara hacia el norte en el lado este de la rivera del río, primero pasando y luego cruzando parte del viejo complejo industrial (a lo largo de carreteras existente) para interceptar la Carretera Estatal PR-385. Continuara entonces a lo largo del lado oeste de la PR-385, pasando la Carretera Estatal PR-2 hacia el centro del valle del Río Tallaba<sup>3</sup>. Aproximadamente 350 metros al sur de la intersección con la entrada de la comunidad rural de Seboruco, la alineación se desvía abruptamente al este, hacia Colinas de Seboruco que forman el lado este del valle de Tallaboa. El suelo aluvial (*Oa* en Plano 1) consiste de depósitos de guijarros, gravillas, arenas, arcillas, y arcillas arenosas que alcanzan hasta 50 metros de espesor cerca de la costa. Hacia los márgenes del valle aparecen fragmentos angulares de caliza.

---

<sup>2</sup> Mucho del relleno probablemente fue excavado de las colinas calizas de la parte noroeste del antiguo complejo industrial.

<sup>3</sup> Note que el río se encuentra en el lado oeste del valle aluvial.

### **3.2 Colinas de Seboruco de los Barrios Tallaboa Saliente y Tallaboa Alta, Peñuelas (MM-4 al MM-8)**

La tubería entrará por las Colinas de Seboruco y continuará por unos 6.5 kilómetros en una ruta zigzagueando de oeste a este y de sur a norte hacia el margen norte de las colinas, hasta un punto al este de la comunidad rural de Tallaboa Alta. Las Colinas de Seboruco consisten de caliza y sedimentos asociados con buzamiento hacia el sur del Terciario de la Caliza Ponce y la Formación Juana Díaz. La tubería atravesará tres de las cuatro unidades del mapa de la Formación de Juana Díaz, descritas luego en este informe, las cuales se repiten en la alineación, debido al buzamiento hacia el sur<sup>4</sup> de los estratos y a un aumento general en la elevación de los topes de las colinas hacia el norte, y como resultado de fallas normales que causaron que un bloque de la Formación Juana Díaz callera decenas de metros exponiendo estratos mas jóvenes en contacto lateral con capas mas viejas.

La tubería entrara a las colinas en dirección este y continuara subiendo por un valle con una quebrada intermitente sin nombre, por unos 1,500 metros, subiendo hacia la divisoria de la quebrada a unos 70 metros de altura sobre el valle de Tallaboa. Las colinas y cimas circundantes están compuestas por el Miembro de Tiza de la Formación Juana Díaz (*Tic* en Placa 1) El Miembro de Tiza consiste de “tiza arcillosa y caliza tizacea en capas”. El valle en si está cubierto por un aluvial de gravilla (no identificado en el mapa del USGS) derivado en gran parte por desprendimientos procedentes de las pendientes de las laderas de los valles.

La alineación continuara en el Miembro de Tiza mientras se dirige hacia el norte atravesando una colina, cruzando valles orientados de este a oeste y se encamina al este-noreste a lo largo de una colina pasando el MM-6 al norte de Vertedero Industrial del Valle de Peñuelas. Entonces continuará en un rumbo aproximado hacia el norte que lo llevara a los limites nortes de las colinas (norte de MM-8).

Esta ruta cruza los tres miembros inferiores de la Formación Juana Díaz mientras sigue las crestas y laderas que forman las pendientes superiores, de valles secos que drena hacia el este. Comienza en el Miembro de Tiza (*Tic* en Plato 1) descrito anteriormente, para luego cruzar un afloramiento con aproximado 200 metros de ancho del Miembro de Caliza de Juana Díaz (*Til* en Plato 1), descrito como consistente de una caliza cristalina y coralina con “lentes de guijarros y lodolita arenosa con más de 10 metros en espesor”. Cruza el límite norte del afloramiento, una

---

<sup>4</sup> Los geólogos caracterizan la orientación de estructuras planares como fallas y superficies de estratificación especificando su rumbo (la orientación de líneas horizontales contenidas en el plano con relación al norte geográfico) y su buzamiento (la máxima inclinación del horizontal de la superficie). En los mapas geológicos esta orientación se representa por 2 líneas a 90 grados: la más larga apunta en la dirección del rumbo; la más corta apunta en la dirección de la inclinación, y usualmente tiene un número que indica el ángulo de inclinación.

falla normal descrita según el mapa con un levantamiento vertical de 50+ metros (lado norte hacia abajo), cruzando nuevamente el Miembro de Tiza y continua en la cima de las colinas de esta unidad por aproximadamente unos 650 metros antes de volver al Miembro de Caliza<sup>5</sup>. Luego continúa por aproximadamente unos 650 metros más en el Miembro de Caliza, antes de entrar a una sección desigual de 1 kilómetro donde las colinas están consisten de la unidad inferior (más vieja) de la Formación de Juana Días: un miembro de Lodolita y Conglomerado Basáltico (*Tid* en Placa 1). Esta unidad es descrita consistente de “arcilla calcárea, cieno a arenosa, moderadamente carbonada estratificada con arenisca”. Con “arcilla arenosa, arena y gravilla arenosa” no-calcárea presente en la parte inferior del miembro.

La alineación sale del Miembro Basáltico y luego cruza aproximadamente unos 100 metros sobre el Miembro de Caliza, seguido por otro tramo de una distancia similar en el Miembro de Basalto. Luego continua por aproximadamente 500 metros sobre el Miembro de Caliza a la cima de un escarpado orientado hacia el noroeste y de 60 metros de altura, que marca el límite norte de las Colinas de Seboruco en esta localización (elevación máxima cerca de los 250 metros en MM-8). El mapa del USGS demuestra que el escarpado consiste de estratificación del Miembro de Caliza con afloramientos del Miembro de Basalto en la parte inferior de la ladera. El límite norte de las unidades de la Formación de Juana Díaz (y las Colinas de Seboruco) ha sido puesto en el mapa como una falla normal en donde las rocas al sur (Formación de Juana Díaz) han caído desenas a cientos de metros relativas a las rocas más viejas que están por debajo del tramo siguiente de la tubería al norte.

Las cimas de las colinas se encuentran típicamente inclinadas a un ángulo moderado a empinado, afloramientos exponen estratigrafía de rocas y suelo. Estas usualmente buzando hacia el sur, que se considera la tendencia estructural en la Formación de Juana Díaz, pero que el mapa del USGS designa lugares donde la estratigrafía está buzando hacia el oeste, noroeste, y norte. Estas desviaciones de la estructura dominante, probablemente reflejan deformaciones de sedimentos blandos que ocurrieron en el antiguo fondo oceánico antes de que los sedimentos fueran cubiertos y levantados. Ángulos de buzamiento designados en el mapa geológico varían entre 5° y 43° pero que típicamente se encuentran en el rango de 10° a 25°.

### **3.3 Cerros Sureños al Pie de la Cordillera Central, Barrios Tallaboa Alta y Rucio, Peñuelas (MM-8 al MM-11)**

---

<sup>5</sup> Nótese que esta falla representa el margen sur de un bloque de la Formación Juana Díaz que ha bajado en relación a las rocas que se encuentran al norte y al sur del bloque. La falla que define el borde norte del bloque pasa por el margen norte de las Colinas de Seboruco y será cruzada por la alineación a unos 250 metros al norte de MM-8.

La alineación saldrá de las Colinas de Seboruco adentrándose hacia la base de las colinas de la Cordillera y diagonalmente hacia el escarpado del Miembro de Caliza de la Formación de Juana Díaz tendiendo en un dirección noreste y cruzando el límite de una falla normal hacia un escarpado compuesto de una de las formaciones de las rocas del Cretáceo que se encuentran debajo de la base de las colinas al frente de la Cordillera Central.

La tubería travesera tres (3) diferentes unidades geológicas del mapa durante aproximadamente los 5- kilómetros de viaje al cruzar la base de las colinas (finalizando al norte de MM-11). Las unidades, que están separadas por fallas geológicas, son la Formación de Yauco (*Ky* en Plato 1), el Miembro Pastillo de la Formación de Largo Garzas (*Kgpbl* en Plato 1), y una formación mezclada que contiene rocas típicas de las de Formación Yauco (*Ky* en Plato 1) y la del Lago Garzas (*Kgy* en Plato 1). La formación de Yauco (*Kgy*) es la más abundante, estando presente en más del 80 % de esta sección de alineación. De acuerdo al USGS, consiste en capas con un espesor bien finas (en algunos lugares laminar) a medianas compuesto de cieno y arcilla calcárea con menos cantidades de lotita y arenisca laminadas similarmente, camadas gruesas esporádicas, y poco común conglomerados intra-formacional de espesor no especificado. El USGS también ha identificado varias pequeñas áreas dentro de la Formación Yauco en que las rocas son similares a las de la Formación del Largo Garzas. La alineación cruza por una de estas y pasa cerca de dos otras; las rocas de Lago Garzas se describen a continuación.

Las rocas de la Formación Yauco se encuentran extensamente plegadas y falladas. El USGS ha identificado en el mapa varios ejes de pliegos adentro de la Unidad de Yauco que la alineación no la cruza. Orientación de capas a través del afloramiento de Yauco verían tanto en dirección y ángulo de inclinación. Ángulos de buzamiento varían entre 3° a 90° con la mayoría en el rango de los 20° a 60°; las direcciones varían de norte-sur a este-oeste, pero que la mayoría tiende a este-noreste y oeste-noroeste, siendo el anterior la tendencia de varias fallas a través del área, incluyendo seis (6) que son cruzadas por la alineación.

Desde las Colinas de Seboruco, la tubería ira al noreste siguiendo una servidumbre existente de la AEE hacia afloramiento de la Formación de Yauco. Cruzara la Carretera Estatal PR-132 hacia un valle profundo que fluye noroeste y que es tributario del Rio Tallaboa, cruza la salida del valle cerca de la elevación de los 105 metros y continuara hacia el noreste siguiendo la servidumbre de la AEE por aproximadamente unos 2.8 kilómetros, todos dentro de del afloramiento de la Formación de Yauco. Este tramo atraviesa varios montículos y valles menores y una cresta predominante (elevación de cima 210 metros) antes de bajar a una elevación de aproximadamente 150 metros dentro de una quebrada intermitente tributario del Rio Tallaboa, en el la parte sureste del Barrio Rucio. Desde una perspectiva geológica, la data de orientación de

capas, que se encuentra cerca de la alineación en él; mapa geológico exhibe las mismas variaciones descritas anteriormente. La tubería también cruza dos de las fallas geológicas más prominentes: la Falla de Tallaboa, a unos 600 metros suroeste de MM-9 y una falla sin nombre a 300 metros al norte de MM-9. La Falla de Tallaboa esta mapeada como una normal en que la roca al suroeste se ha bajado. La falla sin nombre, se demuestra que ha sido dividida en dos ramas divergentes cerca del cruce de la alineación: cada rama esta designada en el mapa como fallas normales donde el bloque intervenido ha sido bajado. Ambas fallas se extienden mas allá de la alineación al noroeste; al sur, ambas terminan abruptamente en una falla que está alineada en dirección este-oeste y que bordea las Colinas de Seboruco. Aunque ambas fallas poseen segmentos que siguen las alineaciones de valles y crestas, ninguna posee expresiones topográficas significativas.

La tubería entonces virara al noroeste, hacia arriba de una montaña con inclinación moderada y pendientes mirando hacia el sureste, llegando a la cresta donde virara norte-noroeste y continuara pasando MM-10 en la elevación aproximadamente de 270 a 300 metros, pasando varios bultos de la roca de la Formación de Yauco mientras continua la cresta de la montañas. Luego baja aproximadamente 140 metros hacia un valle de quebrada intermitente, que también es tributario del Rio de Tallaboa, cruzando la Falla de Bartolomei hacia la roca del Miembro de Pastillo de la Formación del Largo Garzas (*Kgpbl* en Placa 1). El Miembro de Patillo consiste de unas capas densas a masivas de breccia volcánica masiva, que a su vez se encuentra “entrelazado con lavas (masiva) y roca de sedimento marino fino en pequeñas cantidades. La Falla de Bartolomei es una de desplazamiento horizontal sinistral que se une con la Falla de Lago Garzas y continúa hacia el Cuadrángulo de Adjuntas al noroeste, y termina cerca del Sector El Madrigal de Ponce hacia el sureste<sup>6</sup>.

De este punto la alineación continúa hacia el norte cruzando lateras de colinas donde cruza la Falla del Lago Garzas y entra hacia un grupo de roca mezcladas de las Formaciones de Yauco y Lago Garzas (*Kgy* en Plato 1). Esta unida esta descrita como una camada de estratos entrelazados típicos del cieno, arenisca y lotita de Yauco y una capa gruesa de arenisca volcánica del Largo Garzas. Símbolos estructurales, dentro de la unidad del afloramiento, indican que la estratigrafía tiene un buzamiento hacia el noroeste en ángulos de 17° a 36°. La falla de Largo Garzas aproximadamente se encuentra paralela a la Falla de Bartolomei y se une con esta al norte y sur. La expresión topográfica de las fallas hermanas, se encuentra mejor definida que la fallas de la Formación de Yauco hacia el sur, aun así son pobre.

---

<sup>6</sup> Nótese que de las fallas que cruza la alineación, la Falla Lago Garzas es la única que se extiende al Cuadrángulo de Adjuntas, el cual fue mapeado 10 años antes que el de Peñuelas.

Luego la tubería pasara por la ladera de una colina aproximadamente de unos 30 metros a la entrada del valle donde se encuentra con un meandro atrincherado del Rio Tallaboa. Pasando al este del rio y la Carretera Estatal PR-391 cerca de la elevación 170 metros. En el valle, se encuentra con la Falla Reconciliadora (cerca MM-11), donde se separa la unidad mezclada de Yauco-Garzas de la unidad de la Formación Yauco al este. La alineación ira paralela a la falla por aproximadamente 500 metros mientras deja el valle y comienza a ascender el flanco empinado sur de la Cordillera Central, subiendo unos 800 metros sobre una distancia horizontal de aproximadamente 4,300 metros.

### **3.4 Flanco Sur de la Cordillera Central, Barrio Rucio, Peñuelas (MP-11 a MP-14)**

La ascensión comenzara cuando la tubería sube unos 80 metros hacia una colina que está alineada hacia el sur, cruzando la Falla Reconciliadora por un tramo corto de la roca de la Formación Yauco, antes de cruzar la Falla Portugués y entrando a un aérea donde se encuentra el Miembro de la Roca vulcaniclastica y piroclástica de la Formación del Lago Garzas (*Kgps* en Plato 1). Esta unidad es descrita consistente de camadas finas a gruesas de cieno y arenisca con cantidades menores de arcilla y estratos masivos de caliza. Los símbolos de buzamiento y dirección al noreste de la alineación indican que los estratos tienen un buzamiento hacia el norte-noreste a ángulos de 23° a 35°. La Falla de Portugués es una de desplazamiento horizontal sinistral que se extiende al sureste del Cuadrángulo de Ponce donde se desaparece debajo de aluviales Cuaternarios del valle inundable del Rio Cerrillos. La dirección, de movimiento a lo largo de la Falla Reconciliadora, no está indicada en el mapa geológico. La falla termina en el valle de Rio Cañas al sureste, y se une con la Falla de Portugués justo al noroeste de donde la alineación cruza las dos fallas. Ambas fallas no poseen expresiones topográficas significativas.

La tubería bajara unos 40 metros desde la cresta de las colinas hacia un valle estrecho y lineal, tributario del Rio Tallaboa, para luego subir nuevamente cruzando la PR-391, mientras sube unas largas e irregulares montañas alineadas norte-noroeste, en el Cerrote de Peñuelas, localizadas al frente de la cresta de las montañas en la parte norte del Barrio Rucio. Continúa en la unidad *Kgps* pasando el MM-12 a una elevación de 650 metros donde cruza una falla con dirección oeste-noroeste hacia otro afloramiento del Miembro de Pastillo de la Formación del Lago Garzas (*Kgpbl* en Plato 1; ver descripción arriba). La falla sin nombre se extiende desde la Falla Portugués hacia el oeste hasta la Falla Machuelo al este y trunca la Falla Marueño que está alineada en dirección noroeste

(que se encuentra entre las Fallas de Portugués y Machuelo) justo al sureste de la intersección a la tubería. La alineación continuara hacia arriba en las espuelas de las montañas sobre las rocas del Miembro de Pastillas pasando el MM-13. Cerca de la elevación 910 esta cruzara una falla sin nombre alineada en dirección noreste y que se extiende desde la Falla de Portugués hasta la Falla Machuelo-Ciénaga que también con alineación similar noroeste, en donde la alineación cruzara unos 200 metros al este de Cerrote Peñuelas cerca de la elevación 930. La tubería continuara hacia el norte-noroeste antes de virar norte para pasar al oeste del Cerro Garrote cerca de la elevación de 1,000 metros, y dentro de la cuenca del Rio Tallaboa.

Al cruzar el Cerrote de Peñuelas hacia el Cerro Garrote (justo al sur del MM-14), la alineación deja el Cuadrángulo Topográfico de Peñuelas de 7.5' y entra el Cuadrángulo de Adjuntas. El mapa del Cuadrángulo geológico de Adjuntas subdivide la Formación del Largo Garzas en tres sub-unidades que son un poco diferentes a las identificadas en el mapa geológico de Peñuelas. Las rocas alrededor del Cerro Garrote están asignadas a una unidad sin nombre del Largo Garzas, identificad con la letra *Kgt* en el Plato 2 y que consiste de Toba Volcánica y algo de Brecha Volcánica.

### **3.5 Cordillera Central: Cerro Garrote hasta Cuchilla de Juan González, Barrio Rucio de Peñuelas y los Barrios Saltillo, y Vega Arriba de Adjuntas (MM-14 al MM-17)**

Las tierra altas inmediatamente del Cerro Garrote se caracteriza por colinas de pendientes suaves a moderadas que incluyen las agua iniciales del Rio Saltillo, las cuales fluyen hacia el oeste-noroeste hacia Adjuntas, y del Rio Cañas y Rio Portugués que fluyen hacia el sur. La tubería abracecerá las tierras altas al norte hasta la ruta al norte-noreste sobre la roca intemperizada de la Formación del Lago Garzas<sup>7</sup>, cruza la esquina sureste del Barrio Saltillo, del Municipio de Adjuntas por una corta distancia y luego entra al Barrio Portugués de Adjuntas, mientras sigue una dirección noreste que es parte de la línea divisoria entre los drenajes de los valles de Pastillo y Portugués. Cerca de la elevación 950, se inclinara hacia noreste al drenaje del Rio Portugués, pasando el MM-15, para luego virar norte-noreste y continuar bajando en una cresta, donde cruzara una falla menor sin nombre y entra a un afloramiento de rocas de la Formación Robles.

La Formación Robles consiste de lechos medianos de arenisca y lotita laminada entrelazada con tobas y lavas. Según el mapa geológico, la data de la orientación de los lechos

---

<sup>7</sup> Nótese que el afloramiento de la Formación Lago Garzas incluye una franja compuesta por lava y lava brechada (*Kgl* en la Placa 2).

indica que los estratos se inclinan pronunciadamente y típicamente con una dirección hacia noroeste a oeste. La tubería continuara siguiendo el lecho hacia abajo en la roca Robles, cruzando la Carretera Estatal PR-123 (anteriormente PR-10) cerca de la elevación de 800 metros, antes de caer a una pendiente moderada a pronunciada en la parte superior del Valle del Rio Portugués. Cerca de la elevación de 700 metros (justo al MM-16) cruza la Falla Cerrillos que posee una dirección de noroeste, una falla normal de ángulo grande que yuxtaposición a la Formación Robles del Cretáceo al oeste con la roca más joven al este de la era del Eoceno.

Las rocas del Eoceno se extienden a través del Valle del Rio Portugués y continúan pasado las tierras altas hacia el norte de la colinas del sur del valle de Rio Pellejas, una distancia de unos 4.5 kilómetros. Son parte de una banda de roca deformada del Eoceno que se extiende desde la Central Aguirre al sureste, hasta la costa de Añasco-Rincón al noroeste, donde están mayormente rodeados por fallas de desplazamiento horizontal.

La rocas del Eoceno en el Valle de Portugués están identificadas en el mapa como la Formación Monserrate (*Tm* en Plato 2) con bandas de la Formación Anon (*Tat* en Plato 2) a lo largo de la Falla de Cerillo. La tubería entra a la Formación Anon, que se describe como una toba volcánica masiva, mientras baja a una quebrada sin nombre cerca de la elevación 680 metros del Sector de Alto de la Bandera. Luego continuara hacia arriba del valle opuesto dirigiéndose noreste cruzando hacia la Formación Monserrate. La Monserrate consiste lotita de camada laminar a mediana y arenisca volcánica y conglomerado que están altamente plegados y con fallas. Cerca de la elevación de 710 metros cambiara de dirección hacia el noroeste y cruzara la Carretera Estatal PR-10<sup>8</sup> y continuara en una pendiente parcialmente cortada y empinada hacia la Carretera Estatal PR-143 cerca de la elevación 830 metros. Cruzara la PR-143 y continuara subiendo hacia el noroeste, cruzando una colina que drena al sureste y al este mientras sube a la esquina este de la cresta de Cuchilla de Juan González cerca de la elevación de 900 metros.

De acuerdo al mapa geológico, la alineación pasa sobre varios ejes de plegamientos y la unión de dos fallas normales secundarias en su ruta a través del afloramiento de Monserrate. La pequeña falla se dirige al noroeste, la más grande hacia el este-oeste. Los ejes de los plegamientos tienden, y tiene una caída hacia el noroeste. Capas, en la vecindad del la alineación, están alineadas en dirección noroeste con un buzamiento moderado a empinado hacia el suroeste y noreste.

Una de las características distintivas de este tramo, es la incidencia de suelo residual profundo a lo largo de la alineación, en contraste con las laderas de las áreas secas hacia el sur,

---

<sup>8</sup> Nótese que los mapas que incluimos en este informe no muestran la Carretera Estatal PR-10, la cual se construyó después de su publicación.

donde el suelo residual cubre es típicamente delgado e erosionado relativamente a la roca fresca ocurriendo en la superficie o a poca profundidad. Suelos residuales profundos serán la norma a través del cruce remanente de la Cordillera Central.

### **3.6 Cordillera Central: Cuchilla de Juan González al Margen Norte del Valle del Rio Pellejas, Barrios Vegas Arriba, Vegas Abajo, y Pellejas de Adjuntas (MM-17 al MM-21)**

Al norte de la Cuchilla de Juan González, la tubería entrara a la cuenca de drenaje del Rio Pellejas, luego lo cruzara al oeste de las laderas del valle con una tendencia paralela al rio. La bajada a través de las pendientes moderadas ha localmente empinadas de las agua iniciales del rio, comienzan en la Formación Monserrate pero que cerca del MM-17 entra a un afloramiento de roca tufacea volcánica de la Formación Anon (*Tat* en Plato 2). La alineación inicialmente seguirá las laderas naturales que siguen una dirección norte-noroeste a noroeste, pero cerca de la elevación 730 metros virara hacia el norte-noreste y continuara descendiendo a un ángulo al contorno topográfico. Luego de cruzar la Carretera Estatal PR-521, cerca de la elevación 700 (entre MM-17 al MM-18), doblara norte y continuara su curso relativo en dirección más cerca a las laderas bajando a una elevación de 560 metros, donde alcanza un rio perenne sin nombre, tributario del Rio Pellejas. Cruzara un rio que posee una tendencia de norte-noroeste y pasara sobre una ladera de unos 50 metros (en MM-18) hacia otro rio sin nombre par luego cruzar una falla normal con una dirección de este-oeste.

La tubería luego continuara al norte-noroeste sobre unos serie de valles con ríos parraleros que fluyen al noreste hacia el Rio Pellejas. Elevaciones en los cruces de los valles fluctúan entre los 10 a 80 metros, con el mayor ocurriendo entre el MM-19 y el MM-20, donde la alineación va paralela al Rio Pellejas llegando a donde el rio fluye por unos meandros. Aproximadamente 500 metros al norte de MM-19 cruza una falla normal con una dirección noroeste y entra a una zona donde la roca Anon han sido alteradas hidrotermalmente. Aproximadamente 300 metros al sureste de MM-20 entra una franja estrecha, con dirección oeste-noroeste de la Formación Monserrate (*Tm* en Plato 2), pasando el MM-20 a la orilla del valle aluvial del Rio Pellejas, cerca de la elevación 360 metros.

La alineación cruza la esquina suroeste de los terrenos bajos, donde los sedimentos aluviales un contacto entre las rocas de las Formaciones Monserrate y Robles (*Kr* en Plato 2). La tubería entonces pasara sobre la nariz de una espuela de las rocas del Robles y regresa a los aluviales de la tierras bajas, donde cruzara a un rio sin nombre que entra el valle desde el suroeste, para subir sobre el margen de dos espuelas de un valle (elevación máxima de unos 390

metros) que está compuesto por roca diorítica intrusiva del Eoceno (*Tp* en Plato 2). Luego continuara noroeste cruzando un río sin nombre y la Carretera Estatal PR-524 cerca de la elevación 360 metros, donde pasa cerca de la intersección de fallas con direcciones este-oeste y noroeste, donde la anterior separa la roca diorítica de la Formación Robles en el norte. La falla con dirección noroeste, que se encuentra totalmente en la roca Robles, se encuentra cubierta por arcilla aluvial, arena, y gravilla colocada en el mapa como depósitos de las Terrazas Cuaternarias (*Qt* en Placa 2). La alineación continuara hacia arriba hacia el pico de una suave pendiente con elevación de unos 395 metros, donde entra a un afloramiento de Robles (*Kr* en Plato 2), luego continua al pico de una pendiente de elevación 430 metros (cerca MM-21 donde se encuentra con un contacto intrusivo entre la roca Robles y la roca intrusiva del margen sur del Plutón Utuado (*TKg* en Plato2).

### **3.7 Cordillera Central: las Tierras Altas del Margen Suroeste del Plutón de Utuado, Barrio Pellejas de Adjuntas y Barrio Arenas de Utuado (MM-21 al MM-25)**

El Plutón de Utuado es una masa de roca intrusiva del Cretáceo al Terciario Bajo que cubre aproximadamente 150 kilómetros en los Municipios de Adjuntas, Jayuya, Lares, y Utuado. Durante los siguientes 6.5 kilómetros, la alineación pasara por la porción suroeste del Plutón, excepto por un tramo corto en MM-21 y MM-22, donde cruza un afloramiento de la roca Formación Robles.

La ruta comienza en la unidad del mapa *TKg* (Plato 2), descrito como una diorita de cuarzo, con granos medianos, y una granodiorita. Mientras la alineación buza sobre las laderas bajas y entra a las colinas escabrosas al norte de las tierras bajas de Pellejas. La tubería se dirigirá al norte y luego hacia el norte-noreste entre las elevaciones 350 y 400 metros a lo largo de una ladera en forma de anfiteatro que sube al oeste del Río Pellejas. Luego, mientras comienza a subir, hacia una cresta con dirección noroeste (elevación pico de unos 430 metros) cruza la Falla Patricio, con una dirección noroeste y continua sobre la roca de la Formación Robles, cruzando la colindancia Adjuntas-Utuado cerca de la cresta de la montaña.

La tubería luego continuara hacia el norte, hacia bajando el lado de una montaña con pendiente empinada a moderada al lado del Río Pellejas cerca de la elevación 280 (justo al norte de MM-22), cruzando un contacto intrusivo hacia la roca Plutónica a unos 100 metros sobre el río. Cruzara entonces una falla sin nombre de tipo no definida para luego subir 60 metros sobre la nariz de un monte empinado que sube al este, cruza un tributario sin nombre del Río Pellejas (cerca elevación 250 metros), y luego continua hacia arriba sobre una montaña que mira hacia el sur y con pendientes moderada a empinada. A una elevación de unos 350 metros, doblara hacia

el norte-noroeste y continuara al lado de las montañas cruzando varios valles laterales y sale en la elevación a un rango de 330 a 420 metros. Aproximadamente a unos 900 metros al sureste de MM-23, entra a un afloramiento más joven de roca intrusiva (*TKm* en Plato 2) cerca de la elevación 390 metros. Descrito como una monzonita de cuarzo y granodiorita, esta unidad se meteoriza para producir una topografía que es menos abrupta que la unidad del afloramiento *Tkg*. La tubería entonces subirá unos 2° metros sobre la cresta de la montaña y comenzara a descender a lo largo de un espuelón con una dirección norte-noroeste, pasando MM-23 a aproximadamente 330 metros, a un río con flujo hacia el oeste, cruzándolo cerca de la elevación 190 metros. Luego tomara una ruta hacia el norte cruzando unas montañas bajas que se descansan entre los valles del Río Grande de Arecibo al oeste y la Quebrada Arenas al este, cruzando varias laderas de valles, pero que generalmente siguen la sima de las montañas (relieve total de unos 40 metros a lo largo de este segmento).

### **3.8 Cordillera Central: Parte Norte de Utuado y del Río Grande de Arecibo en Utuado, Barrios Arenas, Salto Arriba, y Salto Abajo, Utuado (MM-25 al MM-27)**

Este tramo atraviesa la parte norte del Plutón de Utuado con dos pequeños pasos a través de sedimentos aluviales del Terciario al Cuaternario (*Otd* en Plato 3), donde cruza el Río Grande de Arecibo, el cual ha escavado un valle inundable estrecho que se ensancha al norte de su confluencia con el Río Viví, para luego ensancharse a un cañón rocoso al norte del centro urbano de Utuado. El aluvial y las laderas del valle tienen debajo roca plutónica consistente de granodiorita masiva con pequeñas áreas de diorita, y un gabro (*Tku* en Plato 3). Los sedimentos aluviales están dominados por arenas y gravillas sueltas.

Justo al norte del MM-25, la tubería doblara hacia el noroeste, cruzando la Carretera Estatal PR-123 y entra valle inundable del Río Grande de Arecibo, cruzando el canal del río cerca de la elevación 140 metros. Luego subirá a las partes bajas de las montañas plutónicas al oeste del valle, donde cruzara el lado oeste de la carretera Estatal PR-10 cerca de la elevación 160 metros. La alineación continuara en la servidumbre de la PR-10, en un curso en dirección norte-noreste a norte al lado lateral de la parte baja del valle sobre el valle indudable por aproximadamente unos 3 kilómetros, cruzando la Carretera Estatal PR-111 cerca del MM-26. Aproximadamente 400 metros norte del MM-27 cruzara al lado este de la PR-10 y se desviara al noreste y bajara unos 30 metros debajo de la punta de la esquina norte de la sección del valle aluvial de Utuado en el Río Grande de Arecibo., cruzando la PR-123 cerca de la elevación 130, luego cruzando el río cerca de la elevación 120 metros justo al sur del margen norte del Plutón.

**3.9 Esquina Norte de la Cordillera Centra: Margen del Plutón hasta el límite Norte del Karso de Puerto Rico, Barios Salto Abajo, Sabana Grande, y Rio Debajo de Utuado (MM-27 al MM-30)**

La alineación tomara un curso noreste hacia a la pared empinada a moderada del valle que cruza el margen del Plutón cerca de la elevación 170 metros. Aquí entra a un afloramiento rocoso de la Formación Tetuán (*Kt* en Plato 3), que se encuentra debajo de las montañas altas que forman la pared sur del Rio Grande de Arecibo mientras fluye este-noreste hacia el Embalse de la Represa de Dos Bocas. La Tetuán consiste de una capa fina a espesa de toba volcánica entrelazada con brecha volcánica lenticular y lava que ha sufrido cambios menores metamórficos y mineralización cerca del Plutón. Las capas están plegadas en un sinclinal cuyo eje toma una trayectoria espinosa del este al oeste a través de las montañas. La mayoría de los símbolos de orientación de las capas en el mapa, están orientados hacia el noroeste al noreste con buzamientos moderados a graves hacia el oeste.

La tubería subirá sobre la pendiente de la Tetuán a la cresta superior de la elevación de 250 metros. Continuará en una ruta general al este-noreste a lo largo del flanco norte de la montaña, pasando el eje del pliego, MM-28, y MM-29 mientras gradualmente desciende la pendiente, subiendo y bajando hasta 40 metros mientras cruza varias espuelas y laderas laterales de los valles que drenan hacia el Rio Grande de Arecibo. Aproximadamente a 500 metros este-noreste del MM-29 virará hacia el norte y bajará 60 metros a los límites del Embalse de la Represa de Dos Bocas, cerca de la elevación 90 metros.

Luego cruzará el rio hacia el afloramiento rocoso de la Formación Yunes, que se encuentra debajo de la pared empinada del norte del valle (*Ty* en Placa 3). La Yunes consiste de capas finas a espesas de toba volcánica, buzando norte a noroeste a un ángulo moderado a empinado. La alineación cruzará la PR-123 y el MM-30 mientras sube la PR-10 en la base del Escarpado de Lares cerca de la elevación 330 metros.

**3.10 Karso del Norte de Puerto Rico: Margen Oeste del Valle del Río Grande de Arecibo, Barrio Rio Abajo de Utuado y Barrio Hato Viejo de Arecibo (MM-30 al MM-36)**

El Escarpado de Lares es un pared formada en respuesta a erosión diferencial en donde la roca volcánica y volcanoclástica de las tierras interiores se degrada y erosionan más rápidas que la caliza del Terciario medio de la Región del Karso, produciendo un escarpado que mira hacia el sur y que se extiende más o menos continuo desde Aguadilla a Corozal, marcando el límite sur del Karso. Las rocas que se encuentran en el Karso consisten de capas calizas y sedimentos silicios de suelo-a-rocas que están inclinación suavemente hacia el norte, efectivamente formando

un afloramiento con un patrón consistente a bandas de rocas en dirección este a oeste y suelos progresivamente más jóvenes hacia el norte (ver Figura 2). Los estratos siliciclásticos han sido agrupados en 6 unidades o formaciones en el mapa, las cuales están piladas secuencialmente una sobre la otra. En orden de edad descendiente, estas son: la Formación San Sebastián, la Caliza Lares, la Formación Cibao, la Caliza Aguada (los Puertos), la Caliza Aymamon, y la Formación Camuy (Caliza Quebradillas)<sup>9</sup>. Excepto por un tramo aproximado de 800 metros en MM-31, la distancia remanente de la tubería pasara por una de estas unidades o depósitos de suelos Cuaternarios en su superficie. Comienza con una ruta de alrededor de 10.5 kilómetros hacia el norte a través de terreno escarpado a lo largo de la servidumbre de la PR-10.

Este tramo comienza en una área cortada, que ha expuesto la punta de la esquina este, de la franja de lotita calcárea perteneciente a la Formación San Sebastián, la cual no está enseñada en el mapa. Se encaminara hacia el norte-noreste entre el escarpado de la Caliza de Lares (*Tl* en Plato 3) tapado por el Miembro de Caliza Montebello perteneciente a la Formación Cibao (*Tcm* Placa 3). La Caliza de Lares consiste de una capa fina, de caliza mayormente dura que forma crestas empinada en dirección noroeste separadas por valles alongados con sumideros. Saldrá por el valle interior hacia afloramientos de la Formación de Jobos (*Tj* en Plato 3) por donde fluye la Quebrada de Jobos hacia el lago de Dos Bocas al este. La Formación de Jobos se describe como un lecho masivo de brecha volcánica, arenisca volcánica, y lava inclinada hacia el norte al noroeste a ángulos moderados. Cruzara luego la quebrada y seguirá los bajos entre las crestas de la caliza de Lares-Montebello, con el piso formado de la roca de la Formación de Jobos.

Aproximadamente 200 metros al norte de MM-31, la alineación saldrá del afloramiento de Jobos hacia el Karso, donde el escarpado de caliza consiste de la Caliza Montebello (*Tcm* en Plato 3) y la Caliza de Lares ocurre en la base del escarpado, luego progresivamente más bajo en la topografía local mientras la alineación continua norte, eventualmente desapareciendo de bajo del paisaje donde la Caliza de Montebello se encuentra debajo de la superficie. El afloramiento del sur de Montebello (la parte inferior de la formación) consiste de “fragmentos de caliza tizaría” pero que más al norte consiste de una caliza muy pura, masiva de capas intercaladas y tiza granular, donde la topografía se caracteriza por grandes sumideros, de formas irregulares y lados empinados separados por escarpados. La tubería cruza este paisaje a lo largo de la PR-10, que generalmente sigue los bajos y sumideros<sup>10</sup> entre los escarpados que frecuentemente corta por los escarpados de la caliza.

---

<sup>9</sup> Algunas de las formaciones calizas tienen nombres alternos usados por distintos investigadores. En este informe usamos los nombres usados en los mapas de cuadrángulo geológico publicados por el USGS; los nombres alternos se proveen en paréntesis.

<sup>10</sup> Los sumideros presentes a lo largo de la alineación se rellenaron cuando se construyó la carretera en los años 90s.

Entre el MM-34 y MM-35 la topografía de los escarpados-sumideros escabrosos continua mientras la alineación entra al afloramiento de la parte superior de la Formación Cibao y de la Caliza Aguada (Tc y Ta en Plato 3, respectivamente). La anterior consiste de una tiza masiva de capa gruesa, marga, y caliza de granos finos. Se encuentra subyacente de los escarpados bajos y sumideros, muchos de los cuales todavía se encuentran en la Caliza Montebello. La Caliza Aguada consiste de una Caliza de grano fino a mediano y ocasionalmente capas gruesas de tiza y marga. La Aguada aparece en la cresta del escarpado, pero gradualmente se hace cada vez mas parte del escarpado. Aproximadamente 600 metros al norte de MM-35, PR-10 se dirige a la margen del Karzo escabroso cerca de la cresta de la pared oeste del valle del Rio Grande de Arecibo donde entra nuevamente el afloramiento de Montebello. Continua con una tendencia hacia el norte-noroeste a lo largo del escarpado del valle, pasando cerca de las cresta de un desprendimientos Cuaternario (*Ql* en Plato 3) justo al sur de MP-36.

Aproximadamente a 1 kilometro al norte del MM-36, la tubería dejara la servidumbre de la carretera doblando hacia el este-noreste hacia debajo de una pared empinada del valle aluvial del Rio Grande de Arecibo, para nuevamente cruzar la PR-123 antes de llegar al relativamente plano valle inundable a una elevación de aproximadamente 15 metros.

### **3.11 Valle del Rio Grande de Arecibo y la Llanura de la Costa Norte: Valle Inundable del Rio Grande de Arecibo, Barrios Carreras, Tanama, Cambalache y Santana de Arecibo (MM-37 al MM-44)**

Los próximos 11 kilómetros de la lineación cruzara el valle inundable del Rio Grande de Arecibo. El aluvión del valle inundable consiste de “arena, gravilla, cieno, y arcillas” estratificada de sobre 70 metros en profundidad (*Qa* en Plato 4) y depósitos de “arcillas, arcillas arenosas, y arcillas con cieno” ricas en contenido orgánico (*Qs* en Plato 4) depositados en canales de rio abandonados.

Luego de bajar al valle inundable, la tubería cruzara el rio y continuara a través del valle inundable a unos 330 metros (parcialmente a lo largo del canal abandonado del rio) antes de doblar hacia el norte-noreste (justo antes MM-37). Continuara esta ruta, paralela al rio, por aproximadamente un kilometro, entrando a una porción más ancha del valle aluvial. Doblara hacia el oeste-noroeste por unos 1.5 kilómetros al lado oeste del valle inundable, nuevamente cruzando el Rio Grande de Arecibo y un canal de una quebrada abandonado. De este punto continuara hacia el norte por unos 6 kilómetros, cruzando el Rio Tanama, el Rio grande de Arecibo y varios de sus canales abandonados, y pasando debajo de la Carretera Estatal PR-22 cerca del MM-41.

Luego continuara hacia el norte-noreste, para nuevamente cruzar el canal activo y abandonado del Rio Grande de Arecibo. /justo al norte de MM-42 doblara hacia el noreste, cruzara la Carretera Estatal PR-2 y luego se dirigiría al norte-noreste hacia un punto aproximadamente 300 metros al sur de la planta de energía de Cambalache, donde doblara hacia el sureste y continuara sobre el valle inundable por unos 1.3 kilómetros. Doblara al este por unos 700 metros, cruzando el Cañon de Vieques y continuar hacia el margen noreste del valle aluvial, justo al este de MM-44 y al norte del Aeropuerto Municipal de Arecibo.

### **3.12 Llanura Costera del Norte: Arecibo a Barceloneta, Barrios Santana, Factor, y Garróchales de Arecibo y Barrio Garróchales de Barceloneta (MM-44 al MM-53)**

Alejándose del valle inundable de Arecibo, la tubería continuara al este a lo largo del margen sur del Caño Tiburones y las colinas redondeadas de la caliza de los Barrios Santana, Factor, y Garróchales hasta el límite oeste del valle aluvial del Rio Grande de Manatí, aproximadamente a 300 metros del MM-53. Esta sección pasara al sur del Vertedero Municipal de Barceloneta (cerca de MM-48) y cruzara varias veces el Canal de Drenaje de Garróchales. Los terrenos bajos están compuestos por suelos de 30 metros de espesor compuesto del manto de las calizas de la Formación de Camuy (*Tca* en Plato 4) y la Caliza Aymamón (*Tay* en Plato 4), que forma las colinas hacia el sur. Los suelos incluyen: depósitos de lagunas que consisten de arcillas saturadas, blandas ricas en orgánicos, arcillas con cieno, y arcillas arenosas (*Qs* en Plato 4) y “turba y turba sucio” (*Qsp* en Plato 4); y depósitos de superficiales consistentes de arena de cuarzo (*Qt* en Plato 4) y arena de cuarzo arcillosa mayormente bien densa y arcillas arenosas (*QTb* en Plato 4). El relieve total a lo largo de esta ruta se encuentra en el orden de 5 metros.

### **3.13 Llanuras Costera del Norte: Valle Inundable del Rio Grande de Manatí, Barrios Palmas Alta, y Rio Arriba Poniente de Barceloneta y Barrios Tierras Nuevas Poniente y Bajura Afuera de Manatí (MM-53 al MM-59)**

La tubería cruzará el valle inundable del Rio Grande de Manatí, comenzando cerca de la elevación de 2 metros hacia el este, pasando hacia el norte de los Diques de Control de Inundaciones de Barceloneta y la vieja central de azúcar de Plazuela. Vira al sureste pasando el MM-54 y sigue una trayectoria de unos 8 kilómetros de largo, zigzagueando una ruta hacia arriba del valle que cruza el canal del rio actual en tres lugares diferentes y termina en la elevación 10 metros cerca del MM-59, en el margen este del valle inundable, al sur de la zona urbana de Manatí. Esta sección de la tubería también cruzara la Carretera Estatal PR-2 y PR-22 en varios canales abandonados del Rio Grande de Manatí.

Los suelos del valle inundable están subdivididos en dos unidades del mapa. La gran parte del valle está formada por aluviales de valles inundables (*Qa* en Plato 4 y 5), consistente de una acumulación estratigráfica de grava, arena, cieno, y arcillas de sobre 80 metros en espesor en la parte central del valle. La segunda unidad del mapa, consiste blanda y saturadas arcillas, y cieno a arcillas arenosas que se acumulan en bancos abandonados del Rio Grande de Manatí (*Qs* en Plato 4); estos depósitos se han reportados en tener hasta 3 o más metros de espesor.

### **3.14 Colinas Escabrosas del Karso al sur del centro Urbano de Manatí, Barrio Coto Sur de Manatí (MM-59 al MM-61)**

La alineación subirá por las paredes empinadas al este del valle, sobre las rocas de la Caliza de Aguada (*Ta* en Plato 5). La Aguada es descrita consistente de “una capa gruesa...de calcarenitas alternando con tiza y caliza brechada. Durante el acenso, la tubería pasara la Carretera Estatal PR-6685 cerca de la elevación de 30 metros, luego continuara hacia arriba de la pendiente hacia un badén cerca de la elevación 40 metros, donde pasara por debajo de la base de un viejo desprendimiento (*Ql* en Plato 5). A poca distancia doblara al este –sureste y continuara la subida por el borde de la Caliza Aguada hacia la Carretera Estatal PR-149. Cruzara la carretera cerca de la elevación de 110 metros y luego entrara a una sección con colinas escabrosas de Karso, al sur del centro urbano de Manatí en dirección este-sureste.

La sección de colinas de Karso está caracterizada por escarpados empinados de hasta 100 metros en altura, separados de grandes sumideros los cuales son irregulares y hasta 70 metros en profundidad. Los escarpados están subyacentes por los estratos de la Formación Aymamon (*Tay* en Plato 5), descritos como “calizas fosilíferas muy puras masivas y de capas finas, generalmente endurecida por cementación secundaria a una fina cristalina muy densa caliza”. La Caliza Aguada ocurre en la parte baja de las pendientes de los escarpados y de los sumideros, en los cuales algunos la caliza está cubierta por sedimentos de depósito arcillas y arcillas arenosas (*QTbc* en Plato 5). La tubería pasara varios escarpados y sumideros en su ruta hacia las colinas, primero en dirección este-sureste (a través del MM-60), y luego noreste al MM-61 al extremo de depósitos de sedimentos cerca de la elevación 10 metros.

### **3.15 Colinas y Valles del Terreno de Karso de Manatí hasta Vega Alta, Barrio Coto Sur de Manatí y Barrio Pugnado Afuera de Vega Baja (MM-61 al MM-67)**

La tubería entonces entrará por un terreno caracterizado por unas llanuras estrechas, alineadas en dirección este a oeste, y que están flanqueadas por colinas y escarpados similares que suben hasta 60 metros sobre las tierras bajas. La superficie tiene una llanura típicamente

ondulatoria suave con depósitos superficiales (por los cuales se designan como depósitos superficiales de llanos) que pueden tener hasta 30 metros de espesor. Contienen muchos pequeños a amplios sumideros y en donde algunos de los pequeños llanos se encuentran completamente aislados por lo que drenan internamente<sup>11</sup>.

La tubería pasara el MM-61 hacia un deposito superficial de llano (*QTbc* en Plato 5), para luego doblar al este y continuar hacia debajo del llano por unos 1.5 kilómetros (pasando MM-62), terminando en una amplia depresión de un sumidero cerca de la elevación de 150 metros. Aquí se desviara norte-noreste y se extenderá hasta el escarpado de la llanura, para seguir una zona baja a través de colinas y escarpados de la Caliza Aymamon que sigue una dirección este-oeste (*Tay* en Plato 5) hacia otro deposito superficial de llanura, donde cruza la Carretera Estatal PR-672 cerca de la elevación de 80 metros. El relieve total a lo largo de esta alineación de aproximadamente un kilometro se encuentra en el rango de los 30 metros.

La alineación se dirigirá hacia el este a lo largo de la margen sur de los depósitos de superficie del llano, cruzando o pasando cerca de varios sumideros poco profundo y pasando al borde de varios escarpados y colinas de la Caliza Aymamon donde toca las colinas de Caliza que bordean el lado sur de la llanura. Este segmento tiende en dirección este por unos 33 kilómetros, pasando la Carretera Estatal PR-137 justo al oeste-noroeste del MM-65 y luego dobla hacia el este-sureste por unos 350 metros hacia la Carretera Estatal PR-155.

La tubería entonces cruzara la PR-155 y comenzara un tramo de unos 1.5 kilómetros a través de la parte norte de las colinas de la Caliza Aymamon y escarpados que colindan el lado sur del llano. Este tramo comienza al pasar la tubería por una depresión entre escarpados de calizas y luego dobla hacia el sur-sureste a través de un llano de inclinación suave de depósitos superficiales de llano. Al llegar al límite sur del llano doblara al este-sureste y subirá sobre varios escarpados empinados de caliza y un sumidero de tamaño moderado; el relieve total de esta sección esta en el orden de unos 60 metros. Luego se dirige hacia el noreste (justo al sur del MM-66) y continúa a lo largo de un valle (que también tiene depósitos superficiales de llanos) hacia el límite de las colinas donde nuevamente entra a los depósitos superficiales del llano. Continuara hacia el llano en un curso noreste por unos 800 metros, cruzando un sumidero amplio, para luego doblar hacia el margen este de la llanura, donde cruzara esquina de un escarpado de la Caliza Aymamon, luego continuara sobre una pequeña sección de depósitos superficiales de llano al límite de las colinas escabrosas que forman la pared oeste del valle aluvial del Rio Indio.

---

<sup>11</sup> Nótese que los mapas topográficos y geológicos muestran aquellas depresiones que son más profundas que el intervalo de contornos de los mapas, que típicamente es de 5 o 10 metros. Las depresiones de menor profundidad, que abundan dentro y en los márgenes de los llanos no se muestran.

**3.16 Pared Oeste del Valle de Río Indio y Valles Inundables del Río Indio y Río Cibuco, Barrios Río Abajo y Almirante Norte de Manatí y Barrio Bajura de Vega Alta (MM-67 al MM-72)**

Las colinas que forman la pared oeste del valle del Río Indio muestran afloramientos de roca de los estratos de la Caliza Aymamon a lo largo de la base de algunos de los escarpados bajos, algunos de los cuales tienen depósitos de sedimentos de llanos. La alineación entrará las colinas alineadas hacia el este al subir 30 metros sobre un escarpado en el MM-67. Luego bajará entre un hueco de un escarpado y se dirigirá al sureste cruzando un pequeño valle entre dos crestas. Luego pasará por otro hueco hacia una depresión grande de sumidero en forma irregular (con depósitos superficiales de llanos). Cruzará la depresión y subirá unos 20 metros hacia un paso entre dos picos de calizas, para luego continuar a lo largo de las márgenes noreste espinadas del valle, bajará abruptamente unos 35 metros hacia el filo del valle inundable.

La tubería cruzará el Río Indio y luego comenzará un tramo de aproximadamente unos 6.5 kilómetros bajando el valle inundable del Río Indio y luego por el valle inundable del Río Cibuco, los cuales ambos se encuentran subyacente por arcilla, arena, y gravilla en bandas estratigráfica (*Qa* en Plato 5). La ruta hacia abajo y luego hacia arriba el valle inundable inicialmente en dirección hacia el lado este del Río Indio pasando por la PR-22 (norte del MM-68), donde el valle se ensancha y curva hacia el noreste. La alineación cruza varios meandros del río mientras continúa hacia abajo por el valle hasta su confluencia con el valle inundable del Río Cibuco, donde cruza la Carretera Estatal PR-160, y donde dobla hacia el sureste (pasando el MM-69) hacia el valle del Río Cibuco, realizando un cruce final por el Río Indio. Continuará hacia arriba por el valle Cibuco mientras gira hacia el noreste y luego hacia el sur. Cerca del MM-71 cruzará el Río Cibuco y la Carretera Estatal PR-676, para luego girar a lo largo de la PR-2, pasando debajo de la PR-22, y continuando a lo largo de la PR-2 por otro kilómetro más, cruzando la Carretera Estatal PR-690 antes de girar este-noreste hacia los márgenes del valle en los límites de las colinas de caliza de Vega Alta y Dorado (MM-72).

**3.17 Colinas de Calizas de Dorado y Vega Alta hasta el Valle del Río Grande de la Plata, Barrios Sabana y Espinosa de Vega Alta y Barrio Maguayo de Dorado (MM-72 al MM-76)**

El próximo tramo de la alineación atravesará las colinas y escarpados de caliza que se extienden entre el Municipio de Vega Alta y Dorado. Estas están subyacentes por roca calcárea de la Caliza Aguada y Caliza Aymamón (*Ta* y *Tay* en Plato 5), donde en algunas de las áreas

bajas entre las colinas de caliza están cubiertas por depósitos superficiales de llanos (*Qbs* en Plato 5). Esta sección de las Calizas de Aguada y Aymamón (*Ta* y *Tay* en Plato 5, respectivamente), en donde en algunas de las aéreas bajas entre las colinas de calizas están cubiertas por depósitos superficiales de llanuras (*Qbs* en Plato 5). Esta sección del Aguada es descrita consistente de una “caliza pedregosa a cristalina de lecho mediano a grueso, alternando con capas de caliza arcillosa, tiza, y roca de arcilla calcárea.” La Aymamón se describe como “una calizas fosilífera muy pura, bien cementada, de capas masivas a finas cristalinas” con secciones de tiza y caliza con brecha en matrices en tiza y arcilla. Los depósitos superficiales de llano, consisten de una arena arcillosa y arcilla arenosa de color rojizo de densa a muy densa.

Antes de entrar a las colinas de calizas, la alineación cruzara un canal abandonado del Río Cibuco que bordea la base de las tierras altas, luego sube unos 50 metros hacia la PR-22, el cual traza, un arco cóncavo hacia el norte mientras se extiende hacia el este a través de los bordes de las bandas de la caliza. La tubería continuara hacia el este a lo largo excavaciones y rellenos al lado sur de la servidumbre de la PR-22 por aproximadamente 6 kilómetros. Esta sección cruza la Carretera Estatal PR-694 (entre el MM-74 y MM-75) y otras carreteras de menor importancia que pasan por debajo de la Autopista. Aproximadamente unos 350 metros al este-sureste del MM-76, la alineación doblara al noreste hacia un deposito superficial de llano (*Qbs* en Plato 5), cruza un sumidero al margen de la unidad en el mapa y entra el valle del Río Grande de la Plata. El relieve total a lo largo de esta alineación se encuentra en el rango de los 60 metros.

### **3.18 Llanos Costeros del Norte: Margen Oeste del Valle Inundable del Río Grande de la Plata hasta Punta Corozo, Barrios Maguayo y Mameyal de Dorado y Barrios Media Luna y Sabana Seca de Toa Baja (MM-76 al MM-82)**

La tubería cruzará el valle del Río Grande de la Plata generalmente en dirección noreste hacia la boca del Río Cocal del Punta Corozo (al este MM-82 y al oeste del Punta Salinas), cubriendo una distancia de unos 9.2 kilómetros. A lo largo de la ruta cruzara el Río Grande de la Plata entre MM-77 y el MM-78, el Río Cocal al sur del MM-80 y luego nuevamente cerca del MM-81 al MM-82, donde el río se encuentra franqueado por humedales que se extienden hasta la boca del río, y a través de otras quebradas y drenajes de poca monta. También cruzara la Carretera Estatal PR-694, PR-693, PR-165 (en el MM-78), y la PR-867, en ese orden.

La mayor parte de esta sección de la alineación pasa sobre sedimentos aluviales del valle inundable de La Plata (*Qa* en Placas 5 y 6), aun cuando el mapa geológico enseña este tramo comenzando y terminando al final de la unidad. La alineación entra el valle sobre un tramo de unos 500 metros subyacente por arcillas arenosas que se encuentran sobre los humedales de hoy

en día a una elevación de 8+ metros y ha sido identificado en el mapa como depósitos de terraza de río perteneciente al Pleistoceno (*Qrt* en Placa 6). Sale de la terraza justo antes de cruzar la PR-694 (a unos 200 metros al suroeste de MM-77) y entra a suelos de un valle inundable moderado moderno, consistente de arena, arcilla, y arenas arcillosas con un poco de grava y guijarros (*Qa* en Placa 5 y 6). La alineación continuara en el aluvial moderno hasta el MM-81 donde se encuentra una franja de depósitos de pantano al margen del Río Cocal (*Qs* en Placa 6). Estos consisten de hasta 10 metros de arena sucia rica de orgánicos y arcillas arenosas con un poco de musco. La tubería cruzara el río y suelos del pantano adjunto y continuara en dirección este-noreste sobre dos pequeñas secciones de aluvial inundable y en un aérea intervenida por depósitos de pantano, luego cruza nuevamente el río y pantano adjunto a lo largo del margen entre los depósitos de pantano y la banda de playa moderna y dunas de arena (*Qb* en Placa 6) que bordean la orilla costera del Océano Atlántico.

**3.19 Valle Costero del Norte: Arenas Costeras entre Punta Corozo y la Boca de los Ríos Hondo y de Bayamón, Barrios Sabana Seca de Toa Baja y Palmas de Cataño (MM-82 al MM-85)**

Luego la alineación cruzara el Río Cocal por una ultima ocasión y continuara hacia el este a lo largo del lado norte de la servidumbre de la PR-165 por unos 4 kilómetros (justo al norte de MM-85 y unos 1.5 kilómetros oeste-suroeste de la Planta de Energía de Palo Seco). El subsuelo a lo largo de este tramo (*Qb* en Placa 6) consiste de cuarzo de tamaño arena, conchas, y fragmentos de roca volcánica que se acumulan a lo largo de la costa, en la división ente Punta Salina, y las viejas dunas costeras del área de Levittown.

**3.20 Valle Costero del Norte: Valle Inundables del Río Hondo y Río de Bayamón, Barrio Sabana Seca de Toa Baja, Barrio Palmas de Cataño y Barrio Pueblo Viejo de Guaynabo (MM-85 al MM-89)**

Cerca del MM-85 la tubería cruzara la PR-165 y se dirigirá al sur cruzando las dunas de arena de Levittown (*Qb* en Placa 6) por unos 500 metros. Luego doblara hacia el este, cruzando los canales gemelos hecho por el hombre de los Río Hondo y Río Bayamón hacia los deltas incorporados de los ríos Hondo y Bayamón. Luego continuara en una ruta en dirección sur cruzando un valle inundable a lo largo del Canal de Bayamón hasta la servidumbre de la PR-22 (entre MM-87 y MM-88). La alineación pasa debajo de la PR-22 y dobla hacia el este, continuando a lo largo de la Autopista pasando Quebrada Diego al extremo de la llanura aluvial cerca del MM-89, donde dobla al noreste en área de tierras reclamadas.

El suelo a lo largo de esta ruta consiste de mezclas de arena, arcilla, y arena arcillosa de valles inundables (*Qa* en Plato 6), depósitos de pantano y canales abandonados de ríos con arcillas y arena arcillosa rica en orgánicos (*Qs* en Plato 6), y rellenos depositados por el hombre no identificados en el mapa geológico, ya que fueron depositados en el pantano, ciénagas y canales abandonados de río cruzados por la alineación después de que el mapa se completo. La composición y espesor del relleno es desconocida en muchos de los lugares.

### **3.21 Valle Costero del Norte: Tierras Reclamadas en el Barrio Pueblo Viejo de Guaynabo (Cerca del MM-89 a la Planta de Energía de Puerto Nuevo)**

El último tramo de la alineación atraviesa terrenos reclamados creados al rellenar la porción sureste de la Ciénaga de las Cucharillas y los humedales a lo largo del margen de la Bahía de Puerto Nuevo y Quebrada Margarita, que en una ocasión fluía hacia la bahía por un hueco en Montes de Caneja, donde ahora esta ocupado por la Carretera Estatal PR-165. El relleno (*af* en Placa) consiste de arena y caliza y fragmentos de roca volcánica-volcanoclastica traída de calizas y colinas al sur, y que se ha reportado que puede tener hasta 5 metros de espesor. Fue depositado sobre una capa suave de arena arcillosa rica en orgánicos, arcilla arenosa, y musgo que fueron depositados en el antiguo humedal.

La tubería se alejara de la servidumbre de la PR-22 dirigiéndose hacia el noreste. Luego de cruzar Quebradas de las Lajas, entrara a la servidumbre de una tubería existente sobre tierra y cruzara la Quebrada Santa Catalina, luego continuara noreste a través de tierra sin desarrollar paralelo a la tubería existente hasta la PR165. Aquí entrara el margen de un afloramiento de predominantemente aluviales de grano-finos (*Qa* en Plato 6). Luego girara al este y continuara a lo largo del lado sur de la PR-165 pasando los depósitos aluviales hacia la tierra reclamada, antes de curvar hacia el sureste con la carretera. A unos 200 metros, desde la intersección con la Carretera Estatal PR-28, se encaminara al este-noreste y pasara debajo de la PR-165, para continuar a lo largo de un tramo de terreno no desarrollado a lo largo del lado sur del viejo Terminal del Ejército en Puerto Nuevo, antes de entrar a los terrenos del Terminal. Continúa sobre terreno hecho por el hombre a través del Terminal por unos 175 metros antes de doblar al este hacia la Planta de Energía de Puerto Nuevo, a unos 150 metros.

## **4.0 INGENIERIA GEOLOGICA DE LA ALINEACION**

Hay un número de factores geológicos que requieren consideración en el diseño final y construcción de la tubería, pero ninguno representa una limitación mayor al proyecto. Estos factores se relacionan a las propiedades físicas del material geológico que se encuentra

subyacente a la alineación de la ruta o a procesos geológicos que pudieran estar activos a lo largo de porciones de la alineación, y por lo tanto pueden variar con la geología local. Estos son discutidos a continuación, en términos de diferentes ambientes geológicos que serán cruzados por la tubería, y por la construcción de la tubería, que requerirá la creación de accesos y espacio de trabajo para los materiales y equipos. Todas las limitaciones reconocibles son amenas a ser eliminadas o reducidas basadas en estudios geotécnicos y geológicos detallados para determinar la naturaleza y extensión de las limitaciones geológicas a ser discutidas más abajo, proveyendo una base para la planificación, diseño de ingeniería y construcción.

#### **4.1 Áreas de Llanos Costeros**

La alineación cruza básicamente 4 tipos de Suelos Costeros: arena de playa, depósitos de pantano y laguna, aluvión de río, y depósitos superficiales de llanos. En adición, hay áreas donde el suelo in-situ se encuentran cubiertos por rellenos hechos por el hombre, que pueden tener hasta 5 o más metros de espesor. Hay dos áreas significativas de relleno a lo largo de la alineación: los humedales rellenos al norte del Río Tallaboa (cerca del MM-3) y los rellenos del valle inundable del Río Bayamón y la porción rellena de la Ciénaga de las Cucharillas en Guaynabo (entre el MM-85 y la Planta de Energía de Puerto Nuevo). El relleno de Tallaboa probablemente contiene una cantidad significativa de fragmentos de caliza, mientras el del Río Bayamón y Ciénaga de las Cucharillas deben tener algo de caliza, pero que la composición y característica física del relleno es desconocido generalmente. Es probable que haya zonas de suelos blandos o sueltos más materiales de construcción y otros desechos del hombre.

Arena de playa ocurre en áreas donde el nivel freático ocurre a poca profundidad a lo largo de la costa en Peñuelas y desde cerca de Punta Corozo hacia la boca del Río Bayamón (en la vecindad del MM-0 al MM-1 y MM-82 al MM-85, respectivamente). Estas arenas típicamente están sueltas a medianas en densidad y cuando saturadas son susceptibles a licuefacción durante actividad sísmica fuerte<sup>12</sup>. Se requerirán estudios geotécnicos detallados para evaluar el potencial para licuefacción a lo largo de la sección de la alineación que cruza estas unidades del mapa, y para determinar las mejores alternativas para protegerla contra el mismo. Los enfoques más comunes utilizados para minimizar el impacto potencial causado por licuefacción incluye el evitar construir sobre depósitos liquidables, proveer una fundación que pueda acomodar grandes deformaciones y/o abarcar la zona liquidable, y/o mejorar la resistencia (densidad) y/o

---

<sup>12</sup> La licuación es un fenómeno mediante el cual los suelos no-cohesivos (usualmente arenas) de poca densidad pierden su resistencia friccionante al ser sacudidas fuertemente. Cuando esto ocurre, el suelo pierde su capacidad de sustentación y se comporta como un fluido.

características de drenaje del suelo para reducir la probabilidad de una licuefacción. Un sin número de técnicas han sido utilizadas para lo anterior, dependiendo en las condiciones del lugar, incluyendo instalaciones de drenajes para proveer drenaje y densificación de suelo por vibro-compactación, vibro-flotación, y compactación dinámica, entre otros.

Debajo de los rellenos en la boca del Río Tallaboa en Peñuelas (cerca del MM-3) y al sureste de Ciénaga de las Cucharillas en Guaynabo (MM-89 a la Planta Energía de Puerto Nuevo) ocurren suelos de pantanos y lagunas. También ocurren a lo largo del margen de Caño Tiburones en Arecibo y Barceloneta (entre el MM-44 y MM-33), en la boca y a lo largo del margen del Río Cocal en Toa Baja (entre el MM-80 y MM-83), y en canales abandonadas de quebradas en valles inundables del Río Grande de Arecibo, Río Grande de Manatí, Río grande de la Plata, y Río Bayamón y posiblemente en los del Río /indio y Río Cibuco. Estos suelos suelen ser turbas y/o arcillas blandas ricas en materia orgánica que se encuentran saturados o con alto contenido de agua. Debido a que la tubería pesa menos que el suelo que remplazará, la pobre consistencia de estos suelos tiene muy poco efecto en la estabilidad a largo plazo de la tubería (esto es cierto a lo largo de la alineación completa). Sin embargo, el terreno blando frecuentemente causa dificultades para el equipo de construcción y requiere estabilización o uso de maderos o capa de gravilla con membrana geo-sintética para poder distribuir las cargas de los equipos y materiales sobre grandes áreas del débil suelo. También puede haber bolsillos de arena suelta, potencialmente liquidable entre el suelo arcilloso que predomina.

Suelos aluviales recientes ocurren en los valles inundables de los ríos Tallaboa, Arecibo, Manatí, Indio, Cibuco, La Plata, y Bayamón-Hondo. La alineación también cruzara un pequeño afloramiento de suelos de terraza aluvial vieja a lo largo del margen oeste del Río La Plata. Los suelos aluviales generalmente representan pocas limitaciones para la construcción de la tubería. Típicamente poseen suficiente rigidez o densidad para proveer un apoyo adecuado para maquinaria de construcción y equipos. Los suelos aluviales podrían, sin embargo, contener zonas de arcillas blandas y arenas relativamente limpias y sueltas a medianas en densidad susceptibles a licuefacción.

La tubería cruzará cada uno de los ríos a lo largo de la alineación por lo menos una vez. El cruzado de los ríos será construido utilizando barrenado direccional horizontal (“Horizontal Directional Drilling – HDD”), tecnología por la cual la tubería es instalada a través de orificios previamente barrenados debajo del canal del río<sup>13</sup>. La profundidad del aluvial en el cruce del río se desconoce y tendrá que ser establecida basado en barrenos de exploraciones geotécnicas. Un asunto que requiere evaluación es el potencial de la estabilidad de los bancos de los canales del

---

<sup>13</sup> La técnica de HDD también será usada para los cruces de carreteras en la alineación.

rio cerca del cruce, en particular en la curva o meandro del río. Entre los ríos costeros del norte, el Río Grande de Manatí, cuyo drenaje es el menos impactado por actividad humana, es el que ha mostrado mayor actividad erosiva en sus meandros durante los pasados 70 años. En contraste, el una vez activo Río Grande de Arecibo desarrolló un canal muy estable después de la construcción de la Represa Dos Bocas en el 1952. Sin embargo, esa estabilidad es precaria y el minar el lecho del río puede inicial periodos de erosión acelerada de los bancos del río. Se necesitarán estudios adicionales para determinar el futuro potencial de erosión de los bancos y diseñar medidas de protección donde sean necesarias.

Los depósitos del valle costero pueden generalmente ser excavados con una excavadora y “backhoe”, pero las excavaciones en depósitos de playas pueden toparse con capas de arena cementada, conocida como roca de arena, que puede requerir un rasgador mecánico par su excavación. Las paredes de las trincheras muy probablemente serán muy inestables en las arenas de playa y suelos blandos de los pantanos y requerirán de refuerzo en las orillas o cajas de trincheras para prevenir el colapso de las mismas. La paredes de las trincheras en los depósitos aluviales exhibirán buena estabilidad a corto plazo, excepto en capas de arenas limpias que se encuentren ocasionalmente, pero ésta que se deteriorará al pasar el tiempo. Los depositos superficiales de llanos exhibirán una buena estabilidad de duración corta a moderada.

#### **4.2 Colinas de Sebuco**

Las Colinas de Sebuco consisten de una secuencia de estratos de roca débil a competente pero fracturada, y suelos. La cubierta del suelo residual es generalmente fina. La excavación de la trinchera exhibirá estabilidad adecuada a corto a largo plazo excepto donde la roca expuesta se encuentre altamente fracturada con fracturas buzando hacia la trinchera a ángulos moderados a empinados. Por lo general no se encontrará agua subterránea durante la excavación de la trinchera, excepto posiblemente donde se cruza el piso de los valles. Los pisos de los valles contienen depósitos estratificados crudamente consistentes de mezclas de suelo y grava a fragmentos angulares de caliza tamaño grava a peñón. Estos depósitos coluviales fueron depositados por flujos de escombros que inicialmente comenzaron como desprendimientos de rocas en el lado de las pendientes de los valles. Temprano en el mes de octubre del 1985, muchos desprendimientos de escombros ocurrieron en las Colinas de Seboruco, causados por eventos mayores de lluvia que afecto el área, y el diseño de la tubería tendrá que considerar el impacto potencial de volver ocurrir un evento similar en el futuro. Se requieren estudios geológicos y geotécnicos detallados para: 1- evaluar el potencial de otros deslizamientos como los de 1985

áreas; 2- evaluar el potencial para desprendimientos a lo largo de la alineación; y 3- proveer data para el análisis de medidas para reducir el potencial de ocurrir futuros eventos.

La alineación encontrará dos fallas geológicas al cruzar las Colinas de Seboruco. La extensión este de ambas fallas termina al final de unas fallas que están orientadas hacia el noroeste y cuya extensión oeste desaparece debajo del aluvión del Río Tallaboa. Ambas fallas se consideran inactivas.

#### **4.3 Colinas Sureñas y Flanco Sur de la Cordillera Central**

Los sustratos geológicos de las Colinas sureñas y el flanco sur de la Cordillera Central consisten de rocas volcánicas y vulcanoclásticas del Cretáceo que están plegadas y altamente fracturadas. Afloramientos bien a moderadamente intemperizados de roca madre ocurren a poca profundidad a través de gran parte del área. La excavación para las trincheras requerirán rasgadores mecánicos y martillos de impacto para gran parte de la alineación, y puede que haya secciones donde la excavación requerirá el uso de explosivos y explosiones controladas. La estabilidad de las paredes de la trinchera variara considerable dependiente del grado de intemperización de la roca. Considerable excavación de roca también será necesaria para crear carreteras para equipo de construcción y personal. Agua subterránea se podrá observar en las fracturas de las rocas de algunas áreas, pero los niveles freáticos generalmente estarán debajo de las profundidades requeridas de extracción.

Una revisión de imágenes de “Google-Earth y observaciones limitadas de campo sugieren que la lineación cruzará o pasará cerca de varias áreas impactadas por desprendimientos, incluyendo un área donde grandes rocas caen del escarpado que sube del Cerrote de Peñuelas. Un estudio detallado de la alineación puede identificar deslizamientos viejos y zonas con potencial de inestabilidad que podrían impactar la construcción y operación de la tubería, permitiendo la re-alineación de la tubería para evitar áreas inestables o la implementación de medidas de estabilización y/o protección que garantice la integridad de la tubería.

Esta sección de la alineación cruza varias fallas geológicas generalmente orientadas hacia el noroeste en la Gran Zona de Fallas del Sureste de Puerto Rico, que frecuentemente forman los límites entre las unidades de los mapas geológicos. Hacia el sur las fallas mapeadas terminan contra otras fallas (incluyendo dos que están truncadas por una falla sin nombre que está orientada en dirección este-oeste y que bordea el lado sur de las Colinas de Seboruco) o desaparecen debajo de aluvión Cuaternario en el área de Ponce. Todas las trayectorias de fallas exhiben de poca a moderada expresión topográfica.

#### **4.4 Cordillera Central: Cerró Garrote al Plutón de Utuado**

Un cambio pronunciado en el perfil de intemperización/suelo ocurre al norte de la cresta del flanco sur de la Cordillera Central. Hacia el sur, hay muy poco suelo superficial y se observa roca de mucha a poca intemperización cerca de la superficie, frecuentemente a nivel de tierra. Las pendientes suelen ser de moderadas a empinadas y algo irregulares con muchas puntas producidas por zonas de roca madre más competente. En contraste, los paisajes hacia el norte se caracterizan por tener pendientes ligeras a moderadas, relativamente suaves que están cubiertas por suelos residuales muy profundos. La exposición de la roca madre esta generalmente restringida a las pendientes empinadas a lo largo de rasgos de drenaje, notablemente el Rio Portugués, pero aun aquí se pueden observar suelos residuales profundos.

La trayectoria norte, del flanco sur de la Cordillera Central comienza con roca Cretácica similar a la encontrada a lo largo del franco sur y en la base, pero luego entra hacia la una franja de roca del Eoceno que también esta plegada, fallada, y altamente fracturada. En la gran mayoría de los lugares, sin embargo, la roca madre esta cubierta por un grueso (sobre 5 metros de profundidad) de un suelo residual color rojizo a anaranjado. El suelo es de consistencia de cieno a arcilloso y frecuentemente preserva la textura del grano y las características estructurales (fracturas, capas, etc.) de la roca madre original (los llamados rasgos reliquias), ya que se parece a la roca original excepto que gran parte de sus componentes minerales han sido alterados a arcilla u óxidos. El estrato más masivamente intemperizado frecuentemente contiene bolos de la roca original relativamente fresca que son muy fuertes y duros, y que pueden ser hasta varios metros en diámetro.

La excavación de trincheras en el suelo residual puede ser completada utilizando excavadoras y “backhoes”, pero en algunos sitios se encontrarán grandes bolos que requerirán equipo para excavar rocas o explosivos para excavar. La estabilidad de las paredes de la trinchera en el suelo residual dependerá de la presencia de discontinuidades reliquias con orientación desfavorable. Las pendientes excavadas se mantendrán estables por días o semanas, pero se degradaran rápidamente, particularmente luego de ser expuestas a lluvia, que promedia cerca de unos 2,500 milímetros (100 pulgadas) por año a lo largo de gran parte de la Cordillera Central. Se podría encontrar manantiales y cuerpos de agua subterránea emperchada durante la excavación de la trinchera, pero el nivel freático generalmente se encuentra por debajo de las profundidades para excavar, excepto cerca de manantiales perenes, los cuales son muchos es el área. Una característica importante del suelo residual es que ellos exhiben una pérdida significativa de fuerza cuando son impactados. Como resultado, la superficie de la tierra en áreas de trabajo adyacentes de la alineación de la tubería se convertirá a una suave y resbalosa cuando mojada y

requerirá condicionamiento/estabilización y/o la instalación de mantas de trabajo para facilitar los trabajos de construcción.

Aunque gran parte de la excavación será en suelo residual, habrá secciones de la trinchera que se encontrara con roca madre intemperizada, particularmente en las inmediaciones de pendientes empinadas y lechos de quebradas. Será generalmente posible excavar la roca intemperizada usando “backhoes” pero habrá secciones con rocas más competentes que requerirán el uso de equipo y técnicas de excavación de rocas.

La alineación pasará por secciones cortas de sedimento aluvial del Río Pellejas entre MM-20 y MM-21. Estas consisten de mezclas de arcillas, cieno, arena, y grava sobre las cuales hay muy poca información sobre su espesor y propiedades físicas.

Varios desprendimientos superficiales fueron observados durante una breve visita a este segmento de la alineación. No se observaron indicaciones de deslizamientos mayores durante la visita, pero si se observó rasgos sugestivos de inestabilidad a gran escala en las imágenes de Google-Earth en la vecindad del MM-17 y MM-20. Grandes desprendimientos ocurren en otras áreas montañosas de Puerto Rico con suelos residuales profundos. Un estudio detallado geológico y geotécnico será necesario para verificar que la alineación no cruza ningún deslizamiento viejo grande y para determinar el potencial de un futuro desarrollo de un gran deslizamiento a lo largo de la alineación.

#### **4.5 Afloramiento Plutón Utuado**

Al norte del MM-21 la alineación entra el afloramiento del Plutón de Utuado que se caracteriza por una topografía suave a moderada, aunque ocurren pendientes empinadas a lo largo de los ríos Arcibo y Pellejas. El tipo de roca dominante a través del afloramiento es una granodiorita masiva de grano mediano. A través de gran parte del afloramiento, la roca está cubierta por un manto espeso de suelo residual que se degrada hacia abajo a una granodiorita completamente intemperizada y friable. Aunque no tan común como en otras áreas de rocas plutónicas en la Isla, grandes bolos de roca fresca ocurren en el perfil de suelo residual. El espesor de este regolito superficial puede exceder 10 metros en algunos lugares. A lo largo del lecho de las quebradas (notablemente en el cruce del Río Grande de Arcibo) y en las pendientes más empinadas ocurren afloramientos de granodiorita fuerte de poca meteorización. Aun así, hay pendientes que exhiben suelos residuales y roca intemperizada. Esto sugiere que las paredes de la trinchera exhibirán una buena estabilidad de corta a moderada duración. El suelo residual y la roca intemperizada pueden ser excavados con excavadoras, pero la roca menos intemperizada requerirá equipo pesado de impacto y explosivos. Notables en este respecto son los cruces del Río

Pellejas y Rio Grande de Arecibo (en dos localizaciones), donde aflora roca dura y relativamente fresca, (recordar que el Río Pellejas cruza estratos vulcanoclasticos de la Formacion Robles)<sup>14</sup>. Excepto por fracturas espaciadas con contenido de agua en áreas bajas cerca de las quebradas, la trinchera de la tubería será generalmente seca.

Las pendientes naturales en el afloramiento del Plutón generalmente exhiben buena estabilidad. Los deslizamientos que se observan son relativamente superficiales y ocurren en pendientes empinadas, particularmente a lo largo de quebradas. La ladera que sube sobre el Rio Grande de Arecibo entre MM-22 y MM-23 exhibe rasgos que sugieren algún desprendimiento en el pasado; esta posibilidad debe ser evaluada durante futuros estudios para completar el diseño de este proyecto.

Los 3 kilómetros finales de este tramo siguen la servidumbre de la PR-10, que se extiende hacia el norte a través de una serie de laderas de colinas y rellenos de valles. Los rellenos fueron construidos con controles de ingeniería utilizando el suelo y roca de cortes cercanos. La Autoridad de Carretera y Transportación de Puerto Rico (ACTPR) probablemente tiene records que proveerá información sobre las características físicas y las condiciones en los cortes, donde la trinchera de la tubería probablemente se encuentre roca meteorizada a competente.

#### **4.6 Terreno Vulcanoclástico Entre el Plutón y la Parte Norte del Karso de Puerto Rico**

El tramo entre el Plutón y el Karso del Norte de Puerto Rico cruza pendientes de moderadas a empinadas de las márgenes del valle Rio Grande de Arecibo bajo las cuales hay roca vulcanoclástica y volcánica del Cretáceo y Eoceno, de capas finas a masivas, fracturadas y plegadas. Esta es la porción de la alineación de menor conocimiento y tenemos poca información sobre el perfil subyacente a ser encontrado durante la excavación. Las pendientes bajas del valle sur están cubiertas por un grueso suelo arcilloso residual, pero las condiciones en la porción superior de la pendiente, por donde pasará gran parte de la alineación, es desconocida. Por lo menos un deposito coluvial fue observado en la parte baja de la pendiente durante una visita de paso por el área, indicativo de desprendimientos en las parte más altas. Roca madre interperizada aparenta ocurrir en la superficie o a profundidades bajas en las pendientes del valle al norte, y depósitos coluviales rocosos se pueden ver a lo largo de la PR-123, que sigue el río a lo largo de las pendientes bajas de las laderas del valle.

---

<sup>14</sup> Note que no tenemos información alguna referente al cruce de la Quebrada Arenas entre MM-24 y MM-25.

#### **4.7 Karso Norte de Puerto Rico**

La alineación cruzará una variedad de rasgos Kársicos en 3 secciones de la carretera. En dos de éstas, la alineación seguirá la servidumbre de la Carretera Estatal PR-10 y PR-22. Ambas carreteras han sido construidas sobre una serie de rellenos compactados y cortes de bancos. Algunas secciones de la tubería encontrarán zonas de caliza competente que requerirán maquinaria pesada o explosivos para excavar; los rellenos consisten de caliza compactada proveniente de los cortes cercanos. Como mencionado anteriormente en relación a la PR-10 en la granodiorita en Utuado, la ACTPR probablemente posee información detallada sobre las condiciones del subsuelo a lo largo de las secciones de las carreteras que serán útiles para el diseño del proyecto. Los rellenos a lo largo de la PR-10 permiten cruzar un sin número de sumideros y que fueron construidos utilizando suelos y rocas cuidadosamente seleccionados colocados para permitir infiltración continua de la escorrentía pluvial vía los sumideros hacia los acuíferos subterráneos del Karso. Será crítico el evaluar los detalles de construcción de estos rellenos para asegurar que la tubería no interfiera con su función de infiltración.

El tercer segmento del Karso cubre aproximadamente 14 kilómetros entre los valles del Rio Grande de Manatí y el Rio Indio. Comienza y termina en terreno de colinas de Karso escabroso con una sección intermedia donde la alineación se extiende a través de depósitos superficiales de llano. La tubería encontrara dos tipos básicos de material terrestre a lo largo de este tramo; suelos arcillosos superficiales y estratos friables a sólidos de caliza. Los suelos arcillosos son los depósitos superficiales de llanos y llenan algunos de los sumideros en el área escabrosa del Karso. Los suelos arcillosos típicamente exhiben una consistencia rígida a dura. Puede ser excavado con equipo convencional y las paredes de la trinchera exhibirán buena estabilidad a corto y mediano plazo. El estrato de caliza se encuentra debajo de las colinas y escarpados del área del Karso escabroso y la banda de caliza que bordea los depósitos superficiales del llano, y que puede ser encontrada a poca profundidad bajo los depósitos superficiales. El cavar trincheras en la caliza probablemente requerirá técnicas de excavación de rocas y la trinchera resultante generalmente exhibirá buena estabilidad de corta a larga duración en sus paredes.

La limitación geológica más significativa al proyecto a lo largo de este tramo es el potencial de desprendimientos en sumideros, particularmente aquellos que contienen depósitos superficiales de llano los cuales son susceptibles a erosión subterránea y transportación hacia cavidades en la caliza que se encuentra debajo por medio de percolación de agua subterránea. La alineación pasa por un número de sumideros de pequeño a gran tamaño en los llanos con depósitos superficiales. Los sumideros a lo largo y adyacente a la alineación deberán ser

identificados y el potencial para un desprendimiento gradual o súbito deberá ser evaluado para poder tomar medidas preventivas donde sea necesario. Estas medidas incluyen: realineación de la tubería para evitar áreas inestables, estructuras para pasar sobre el terreno inestable, y regular la entrada de escorrentía hacia la depresión y la manera en que se infiltra al subsuelo.

Una limitación potencial poco conocida del segmento de las colinas escabrosas del Karso es la presencia de grandes cantidades de suelo coluvial a lo largo de los márgenes de las colinas y escarpados de caliza. Estos depósitos consisten de una mezcla de suelo terrígenos y fragmentos de caliza que fueron formados como resultado de transportación de sedimentos por escorrentía, desprendimientos, y reptación como también por el transporte y mezcla asociada a la actividad biótica, y que puede contener cantidades variadas de desechos orgánicos. Debido a que los componentes de suelos son depositados en o cerca de su ángulo de reposo, estos suelos son inherentemente inestables y susceptibles a desprendimientos al ser perturbados por actividades humanas. Este servidor ha visto una gran masa de suelo coluvial de caliza comenzar a deslizarse en respuesta a la construcción de un pequeño corte (de menos de 2 metros en altura) a lo largo del margen del depósito. Los depósitos coluviales presentes a lo largo de la alineación deben ser delineados y evaluados para establecer su potencial de impacto al proyecto de la tubería.

#### **4.8 Fallas Geológicas**

Entre Peñuelas y Utuado, la alineación cruzará varias fallas geológicas que están orientadas en dirección este-oeste a noroeste asociadas a la Gran Zona de Fallas del Sur de Puerto Rico<sup>15</sup>. Las fallas individuales, muchas de las cuales separan diferentes unidades de roca, son caracterizadas como normales o de desplazamiento horizontal. Las fallas individuales usualmente carecen expresión topográfica significativa. Muchas se fusionan o son truncadas por otras fallas. La gran mayoría no afectan los estratos de las Calizas Juana Díaz y Ponce del Oligoceno o Mioceno (30 a 20 millones de años antes del presente) y aquellas que cruzan valles con sedimentos Cuaternarios (los últimos 2 millones de años) están cubiertas por suelos más jóvenes. A pesar de que hay rasgos submarinos de edad Cuaternaria que sugieren fallamiento reciente y que alinean con las extensiones costeras de la Gran Zona de Fallas del Sur de Puerto Rico hacia el Mar Caribe en Salinas y el Pasaje de Mona entre Añasco y Rincón, , ninguna de las fallas terrestres se ha visto que desplace u afecte sedimentos del Cuaternario, por lo cual se consideran fallas inactivas.

---

<sup>15</sup> Las rocas del Cretáceo y Eoceno contienen muchas otras fallas menores que no se identifican en los mapas geológicos.

## **5.0 COMENTARIOS FINALES**

La tubería Vía Verde atravesará varios ambientes geológicos mientras cruza la isla desde la costa del Mar Caribe en Peñuelas hacia la costa del Océano Atlántico en Arecibo, para luego dirigirse al este hacia la zona metropolitana de San Juan. Esta evaluación limitada de las condiciones geológicas a lo largo de la alineación ha identificado varios factores geológicos que pueden impactar la construcción y operación del proyecto, pero ninguno representa un obstáculo insuperable para su realización. Estos representan limitaciones geológicas las cuales pueden ser eliminadas o reducidas por medio de un estudio geológico y geotécnico que se convierta en la base para el diseño de ingeniería y construcción subsiguiente. Las limitaciones no son nuevas, habiendo sido enfrentadas y sobrepuestas en muchos otros proyectos en localidades con condiciones geológicas iguales o similares, y serán evaluadas por medio de estudios específicos de la alineación a medida que el Proyecto Vía Verde pasa de la actual etapa de planificación preliminar y evaluación ambiental a la etapa de diseño final.

Favor de contactar al firmante de haber alguna pregunta respecto al contenido o propósito de este informe.

Respetuosamente sometido,

LUIS O. GARCIA & ASOCIADOS  
GEO CIM, INC

Alejandro E. Soto, PG  
Asociado



## Appendix A Data Sources

Briggs, R.P., 1965; *Geologic Map of the Barceloneta Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-421; 1:20,000.

Briggs, R.P., 1968; *Geologic Map of the Arecibo Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-551; 1:20,000.

Krushensky, R.D. and Monroe, W.H., 1978; *Geologic Map of the Peñuelas and Punta Cuchara Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-1042; 1:20,000.

Krushensky, R.D. and Monroe, W.H., 1979; *Geologic Map of the Yauco and Punta Verraco Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-1147; 1:20,000.

Mattson, P.H., 1968; *Geologic Map of the Adjuntas Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-519; 1:20,000.

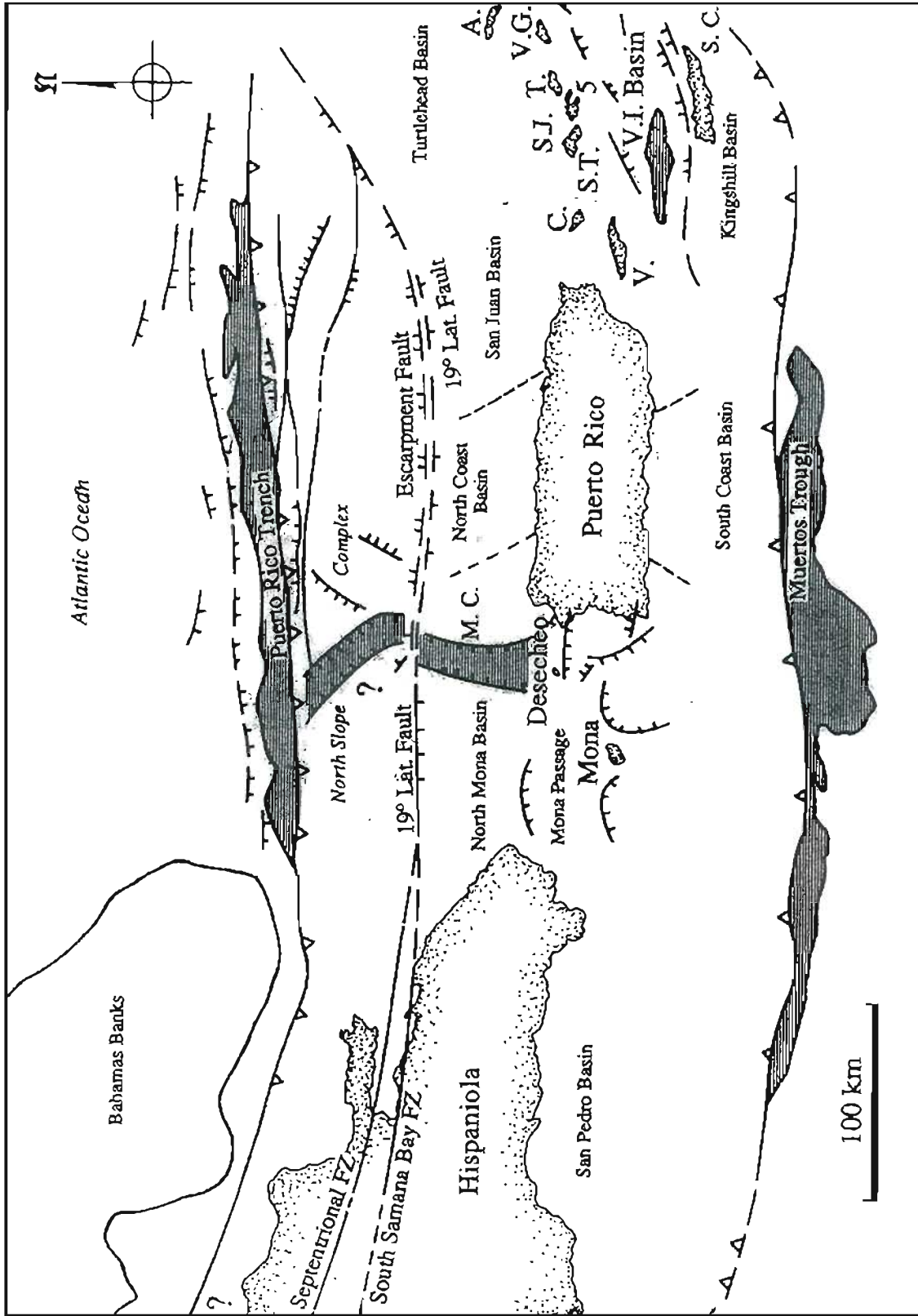
Monroe, W.H., 1963; *Geologic Map of the Vega Alta Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Geologic Quadrangle Map GQ-191; 1:20,000.

Monroe, W.H., 1971; *Geologic Map of the Manati Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-671; 1:20,000.

Monroe, W.H., 1973; *Geologic Map of the Bayamón Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-751; 1:20,000.

Nelson, A.E., 1967; *Geologic Map of the Utuado Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Geologic Investigations Map I-480; 1:20,000.

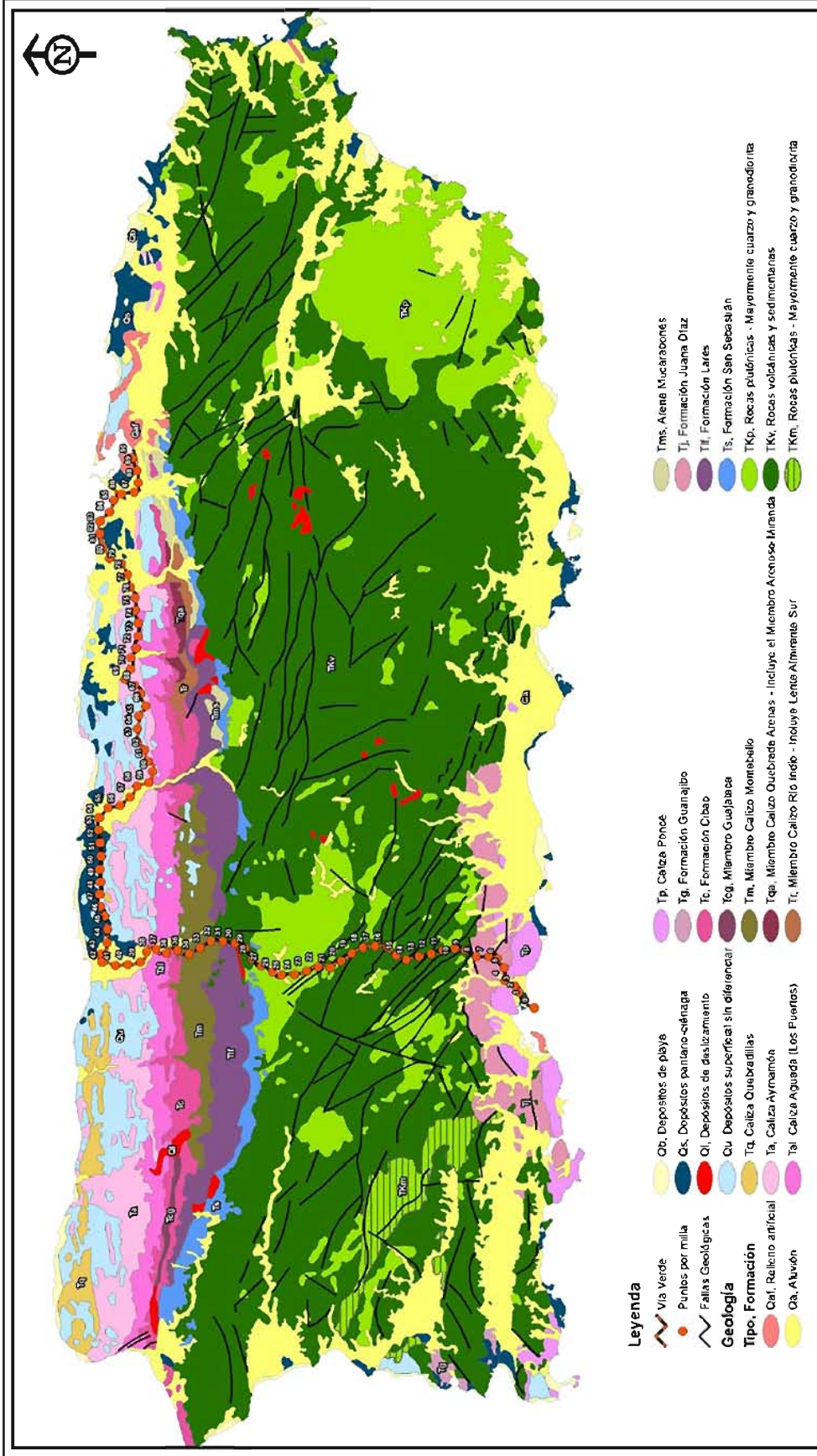
Pease, M.H. and Monroe, W.H., 1977; *Geologic Map of the San Juan Quadrangle, Puerto Rico*; U.S. Geological Survey Misc. Investigations Map I-1010; 1:20,000.



Note: Modified from LARUE, D.K., 1994; in *Caribbean Geology, An Introduction*.

**Tectonic Setting of Puerto Rico  
 Via Verde Natural Gas Pipeline Project**

DRW. BY: G.O.G.	CKD. BY: A.S.	SCALE: N.T.S.	DATE: 08/12/10	JOB. NO: 4147-10	FIGURE NO: 1
-----------------	---------------	---------------	----------------	------------------	--------------



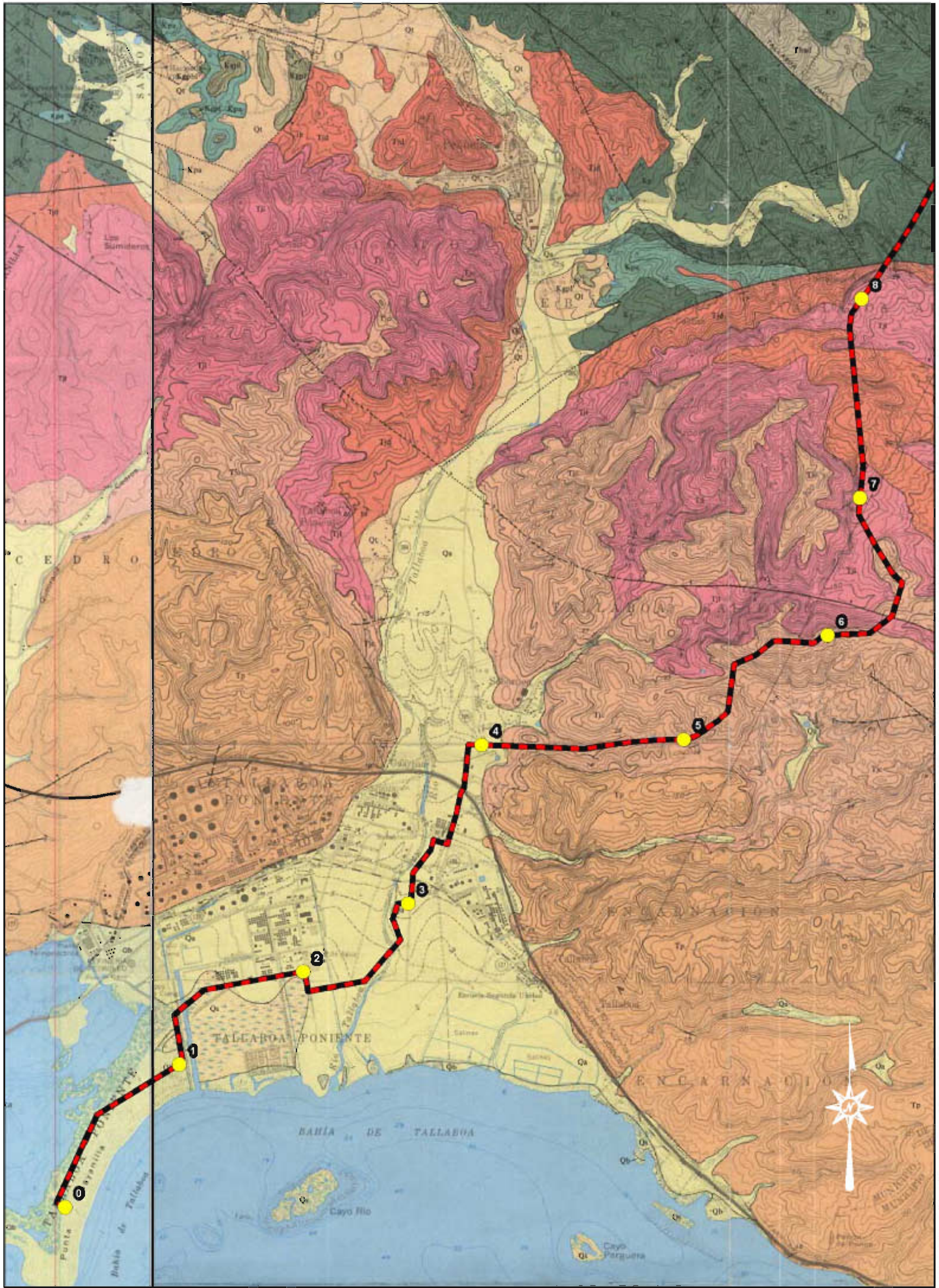
Fuente: U.S. Geological Survey



Geología



**Generalized Geologic Map of Puerto Rico**  
**Via Verde Natural Gas Pipeline Project**

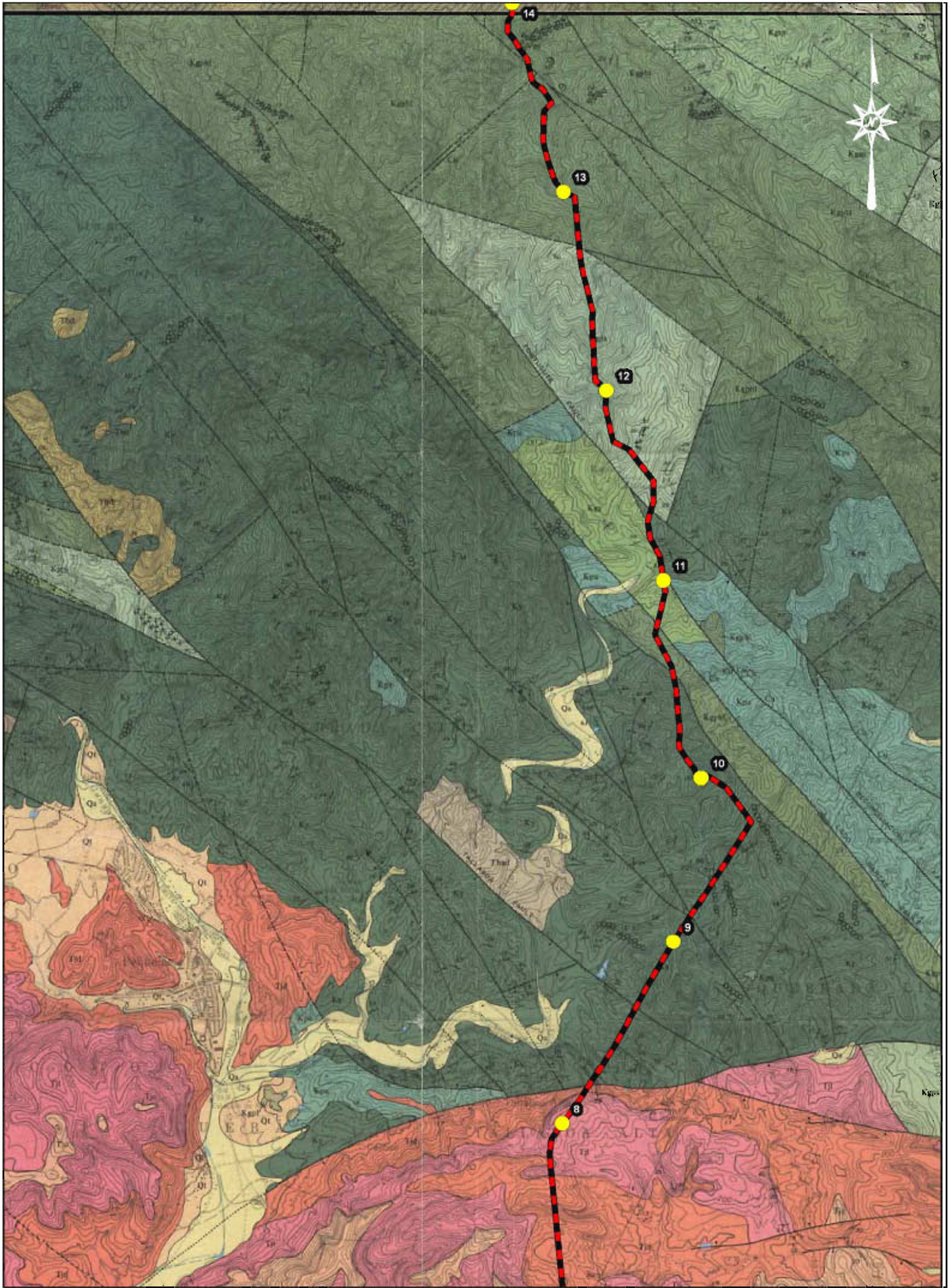


**LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES**  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

**Via Verde Natural Gas Pipeline Project**

DATE: 08/12/10    JOB NO: 4147-10    CKD. BY: A.S.    DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 1  
 SHEET: 1 OF 2



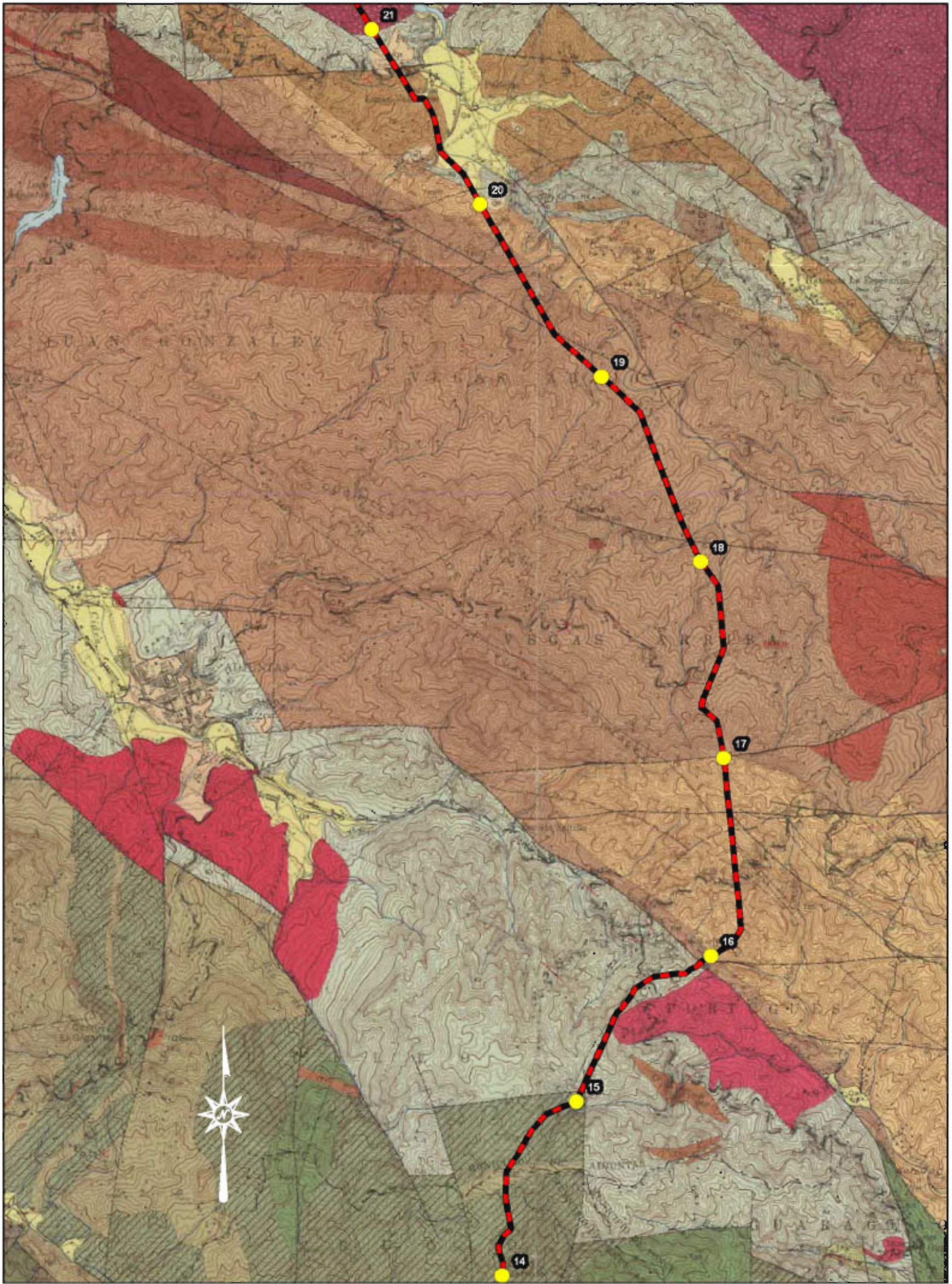
LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10    JOB NO: 4147-10    CKD. BY: A.S.    DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 1

SHEET: 2 OF 2

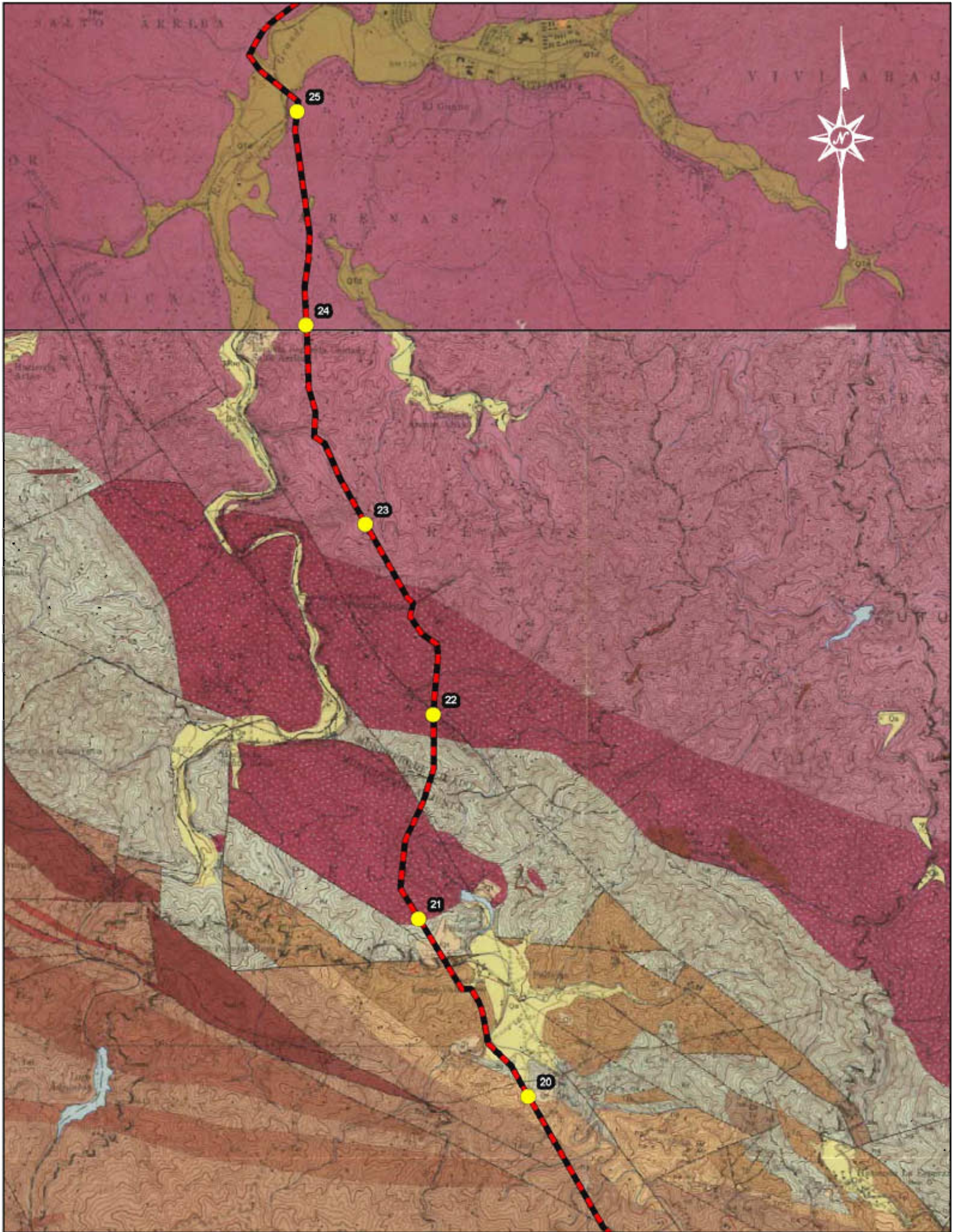


LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10    JOB NO: 4147-10    CKD. BY: A.S.    DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 2  
 SHEET: 1 OF 2



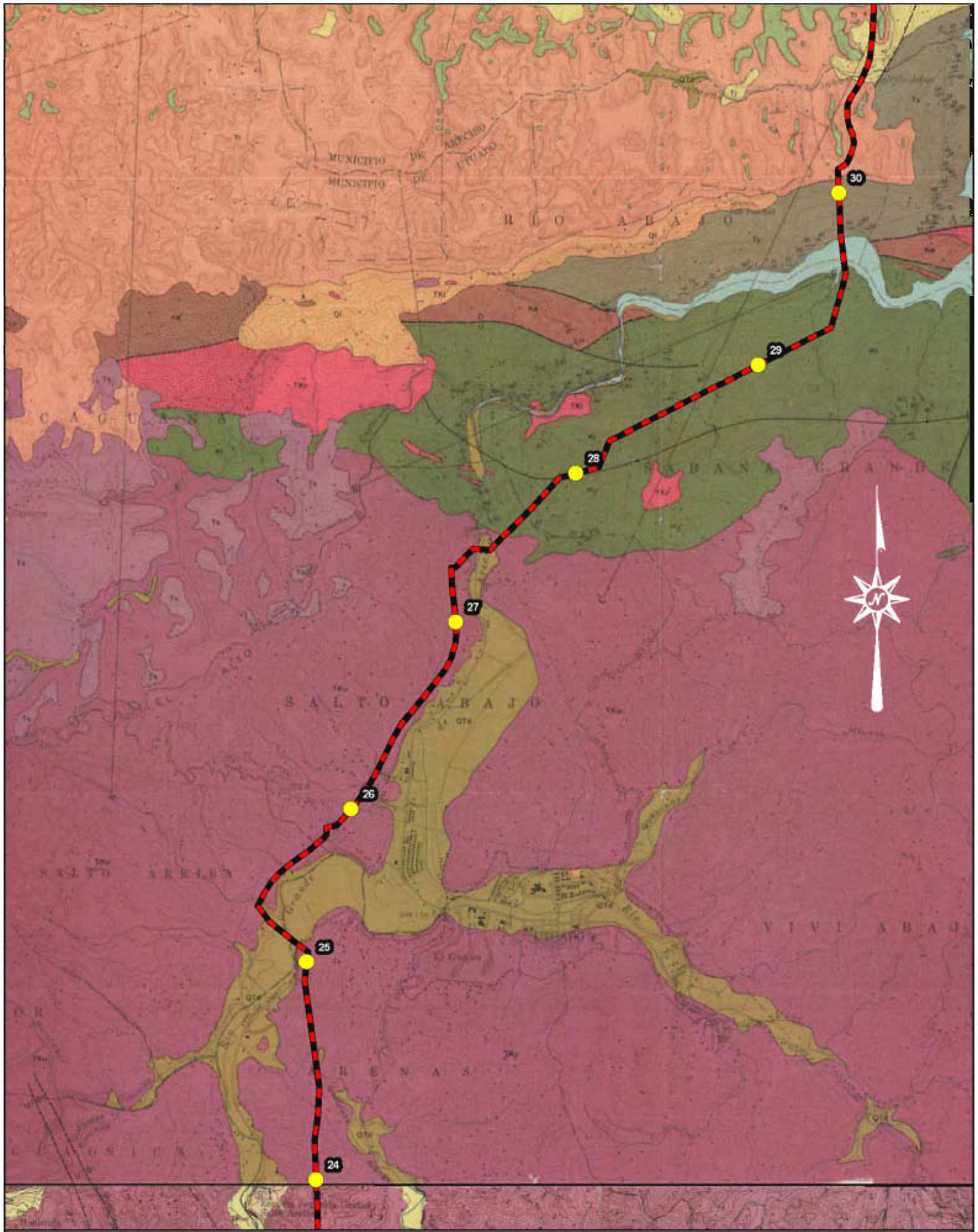
LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00988-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 JOB NO: 4147-10 CKD. BY: A.S. DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 2

SHEET: 2 OF 2

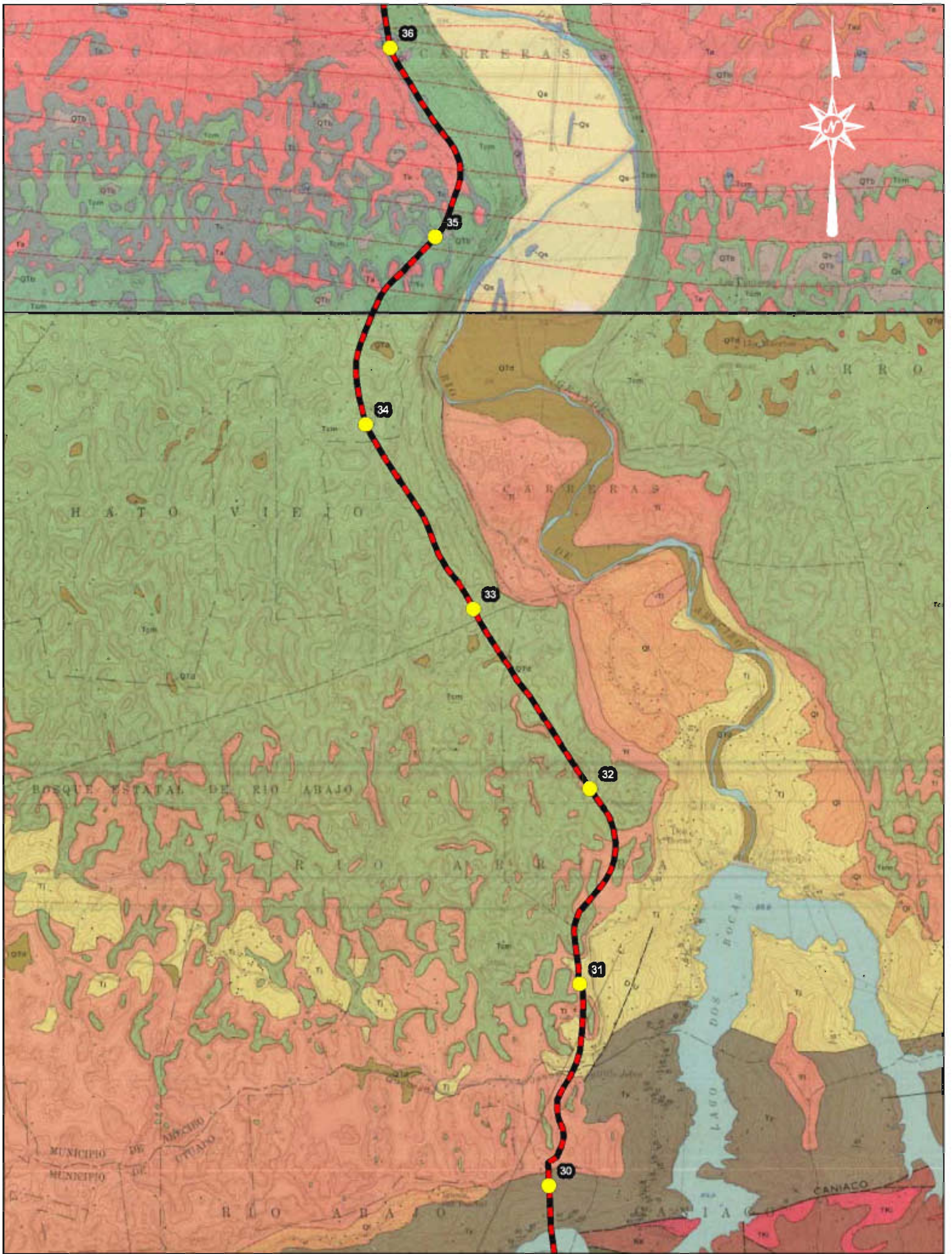


LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 26 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10    JOB NO: 4147-10    CKD. BY: A.S.    DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 3  
 SHEET: 1 OF 2



**LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES**  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

**Via Verde Natural Gas Pipeline Project**

DATE: 08/12/10    JOB NO: 4147-10    CKD. BY: A.S.    DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 3  
 SHEET: 2 OF 2



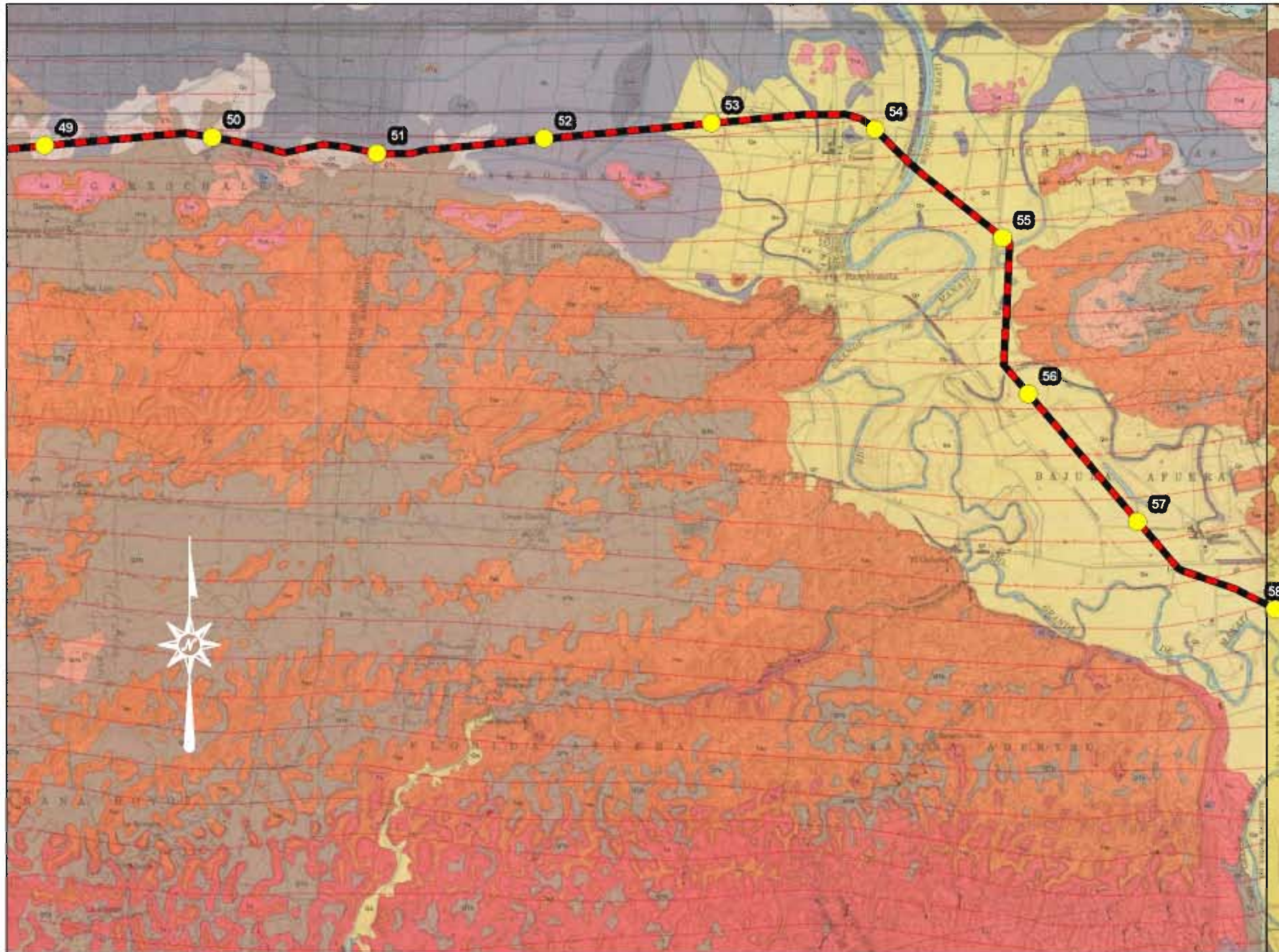
LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 JOB NO: 4147-10 CKD. BY: A.S. DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 4

SHEET: 1 OF 2



LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 JOB NO: 4147-10 CKD. BY: A.S. DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 4

SHEET: 2 OF 2



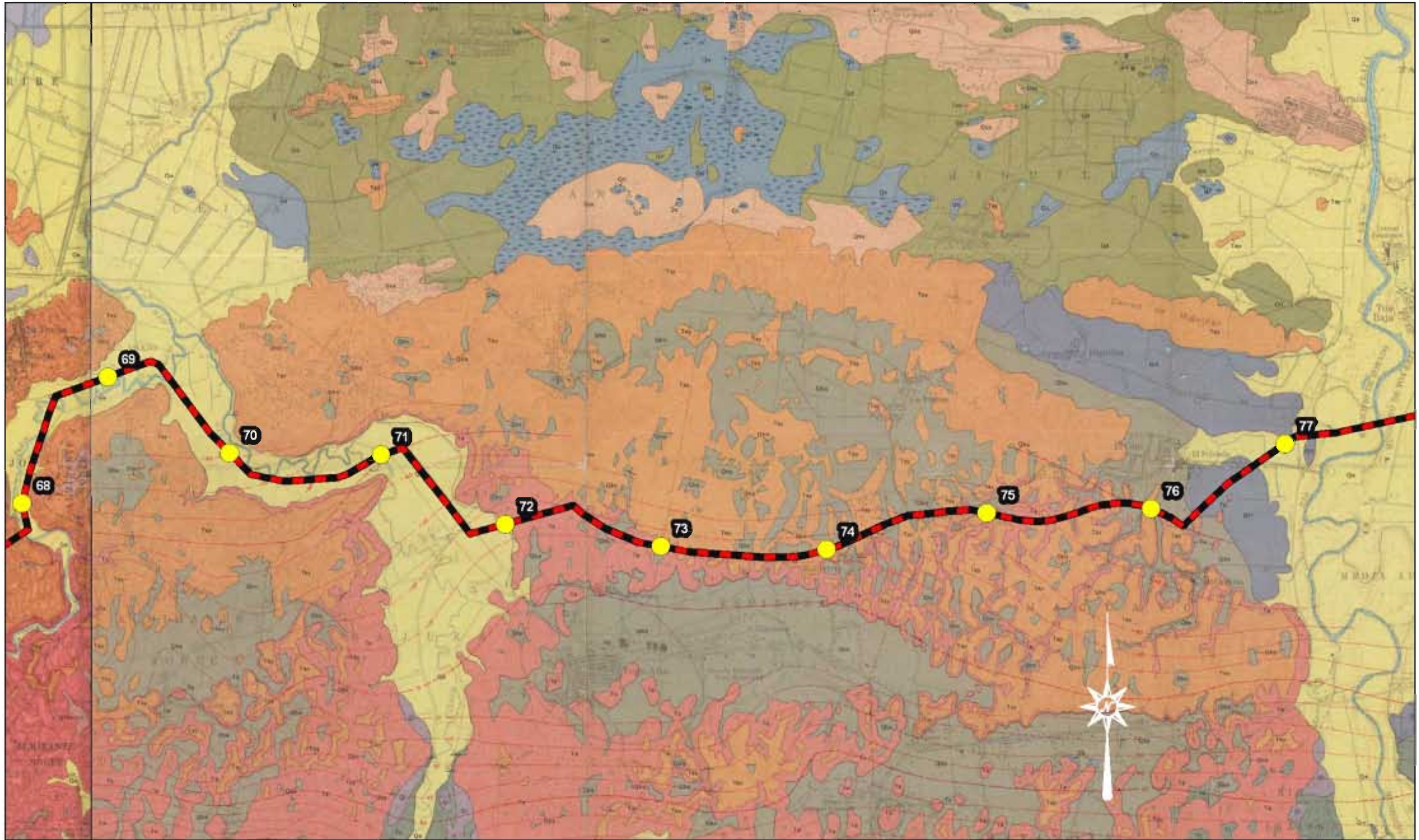
LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 | JOB NO: 4147-10 | CKD. BY: A.S. | DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 5

SHEET: 1 OF 2



LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 26 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 | JOB NO: 4147-10 | CKD. BY: A.S. | DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 5

SHEET: 2 OF 2



LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 26 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 | JOB NO: 4147-10 | CKD. BY: A.S. | DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 6

SHEET: 1 OF 2



LUIS O. GARCIA & ASSOCIATES  
 GEOTECHNICAL ENGINEERING CONSULTANTS  
 AMELIA DISTRIBUTION CENTER LOT. 28 A EMMA ST.  
 GUAYNABO, PUERTO RICO 00968-8007

Via Verde Natural Gas Pipeline Project

DATE: 08/12/10 | JOB NO: 4147-10 | CKD. BY: A.S. | DRW. BY: G.O.G.

PLATE: 6

SHEET: 2 OF 2