CANAL DE PANAMÁ

"Análisis de Pre-factibilidad y factibilidad para determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las regiones de Panamá Este y Metropolitana"

Contrato No. 025 (2016)

Investigación Geológica del Subsuelo

Río Bayano, Distrito de Chepo, Provincia de Panamá

Septiembre de 2017

Índice

1. Introducción 2
2. Objetivo 3
3. Alcance 3
4. Localización 3
5. Descripción Regional 4
5.1 Hidrografía 4
5.2 Geomorfología 4
5.3 Geología Regional 5
5.3.1 Estudios geológicos realizados en el área 5
5.3.2 Geología Cuenca Río Bayano 5
6. Investigación Geológica 6
6.1 Personal encargado de la investigación 8
6.2 Cartografía Geológica 8
6.2.1 Metodología 8
6.2.2 Geomorfología local 9
6.2.3 Geología local 11
6.3 Perforaciones para Investigación Geológica 15
6.2.1 Metodología 15
6.3.2 Resultados de las Perforaciones 16
6.4 Pruebas de Lugeon 16
6.4.2 Metodología 16
6.4.2 Resultados de las Pruebas de Lugeon 17
6.5 Calicatas 19
6.5.2 Metodología 19
6.6 Pruebas de Laboratorio 27
7. Conclusiones y Recomendaciones 27
8. Bibliografía 28
9. ANEXOS 29

1. Introducción

A pesar de que la República de Panamá, cuenta con una abundante oferta hídrica, enfrenta retos importantes para lograr que el agua esté disponible en calidad y cantidad para los diferentes usos y usuarios. En vista de lo anterior se elaboró en conjunto con el sector privado, público y la sociedad en general, el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050 "Agua para todos"; aprobado mediante la Resolución de Gabinete No. 114 de 23 de agosto de 2016.

El PNSH establece la estrategia de planeación a corto, mediano y largo plazo, que la República de Panamá adopta para asegurar la disponibilidad de agua para consumo humano, la seguridad alimentaria, el uso de todos los sectores económicos y la salud de los ecosistemas, como también, para prevenir los efectos del cambio climático, con el manejo más eficiente de los recursos hídricos, la protección, conservación y recuperación de las cuencas hidrográficas a través de la coordinación interinstitucional, la consulta y participación de los actores claves, el uso de nuevas tecnologías, para el desarrollo de nuevas capacidades, así como la ejecución de inversiones necesarias para desarrollar la infraestructura y los servicios requeridos para estos propósitos.

Como parte de la estrategia de implementación, las instituciones con responsabilidad en cada uno de los temas, incluirán en sus planes de trabajo y presupuestos, fondos para implementar de manera coordinada y eficiente las acciones identificadas en el Plan. El Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE) ha incluido en su presupuesto del año 2017 fondos de forma que se alcancen los objetivos de la Meta 1 que se refiere al acceso universal al agua de calidad y servicios de saneamiento, específicamente al programa 2 relacionado con el incremento de los servicios de agua potable.

La cuenca del río Bayano ha sido identificada con potencial hídrico para aumentar y garantizar la oferta hídrica de agua potable en la región Metropolitana y Este de la ciudad de Panamá. Razón por la cual el Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE) ha realizado las coordinaciones y gestiones necesarias para contratar a La Autoridad del Canal de Panamá (ACP), para realizar el contrato de consultoría No. 025 (2016) "Análisis de Pre-factibilidad y Factibilidad para Determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las Regiones de Panamá Este y Metropolitana y Alternativas para Reforzar la Capacidad Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá."

En virtud de lo establecido en la cláusula Primera del antes mencionado Contrato, la ACP desarrollará los siguientes estudios y actividades:

1. Informe de resultados de las investigaciones del subsuelo, estudios topográficos, pruebas de laboratorio y estudios socio-ambientales.
2. Estudios hidrológicos: Potencial hídrico del rio Bayano para suministro de agua a la región Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.

3. Estudios de Pre-Factibilidad de las alternativas tomando en cuenta escenarios de demanda de agua potable de región de Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.
4. Estudio de Factibilidad y diseño conceptual, a nivel de factibilidad, de la alternativa seleccionada.

La Sección de Ingeniería Geotécnica, de la División de Ingeniería, de la Vice Presidencia de Ingeniería y Administración de Proyectos de la ACP; es la encargada de llevar a cabo las investigaciones geológicas del subsuelo, que forman parte del Producto No. 1 que tiene un plazo de entrega de 6 meses después de la orden de proceder.

Para la elaboración del estudio geológico de subsuelo se tomó como base, la propuesta de la Sección de Recursos Hídricos de la División de Agua de la ACP de 2016 "Proyecto de suministro del agua desde el río Bayano para el consumo municipal e industrial" en la que se propone construir una represa aproximadamente a unos 25 km aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Bayano, próximos a la comunidad de Jesús María, distrito de Chepo, Provincia de Panamá, para captar las aguas turbinadas de la Hidroeléctrica y las aguas de la cuenca complementaria. Además se incluyeron otros dos posibles sitios ubicados en las comunidades de Maulero y San Judas Distrito de Chepo, Provincia de Panamá, para ubicar una represa que pueda aprovechar las aguas turbinadas.

2. Objetivo

Desarrollar estudios geológicos del subsuelo en las comunidades de Maulero, San Judas y Jesús María, ubicadas en las márgenes del Río Bayano, Distrito de Chepo, Provincia de Panamá; como parte de los estudios necesarios para determinar el potencial del Río Bayano para la producción de agua potable para las regiones de Panamá Este y Metropolitana.

3. Alcance

El estudio geológico de subsuelo incluye las siguientes actividades:

- Cartografía geológica.
- Perforaciones con recuperación de núcleo.
- Realización de pruebas de campo como Prueba de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés).
- Realización de pruebas de permeabilidad Lugeon.
- Extracción de muestras de suelo y roca para pruebas de laboratorio.
- Realización de Calicatas

4. Localización

El área de estudio se encuentra en las comunidades de Jesús María, Maulero y San judas en la Cuenca del Río Bayano dentro del distrito de Chepo, Provincia de Panamá, Panamá. El área de

interés está situada en el curso medio del Río Bayano, al Este de la Ciudad de Chepo, y del Puerto de Coquira, Provincia de Panamá. En el anexo A, se han incluido los mapas 1 y 2, en los que se puede observar la localización regional del área de interés y la localización de las comunidades de Jesús María, Maulero y San Judas.

5. Descripción Regional

5.1 Hidrografía

El Río Bayano se encuentra en la Cuenca Hidrográfica No. 148 situada al este de la ciudad de Panamá, en el Distrito de Chepo y la comarca indígena Madugandí, tiene una longitud de 206 Km. nace en la Cordillera de San Blas y desemboca en el Golfo de Panamá, en el Océano Pacífico, es el tercer río más largo de Panamá.

Con la construcción Planta Hidroeléctrica Bayano (Ing. Ascanio Villalaz), se crea una represa que divide la cuenca dos subcuentas claramente diferenciadas, unas aguas arriba de la represa y la otra aguas abajo, que es lo que se conoce hoy día el curso actual del río Bayano.

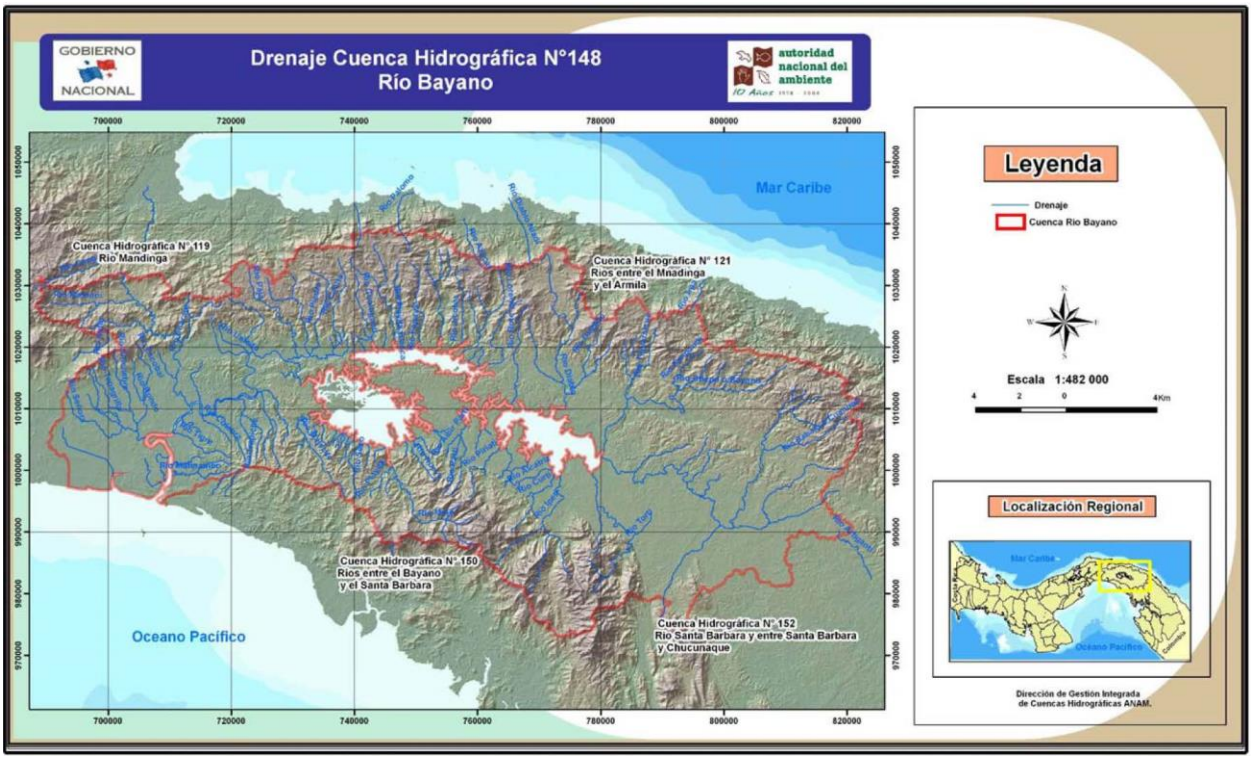

Figura 1. Mapa Cuenca No. 148 Río Bayano. Fuente: ANAM

5.2 Geomorfología

El río fluye por una franja de tierras bajas, plano onduladas. Está delimitada al norte por elevaciones que alcanzan los 1000 msnm en la Cordillera de San Blas y relieve alrededor de hasta 1500 msnm en la sureña Cordillera del Majé. Este rio tiene cambios en ángulos rectos en varias localidades, aunque no se observaron lineamientos o fallas, se nota que está condicionado por las diferentes estructuras o cerros.

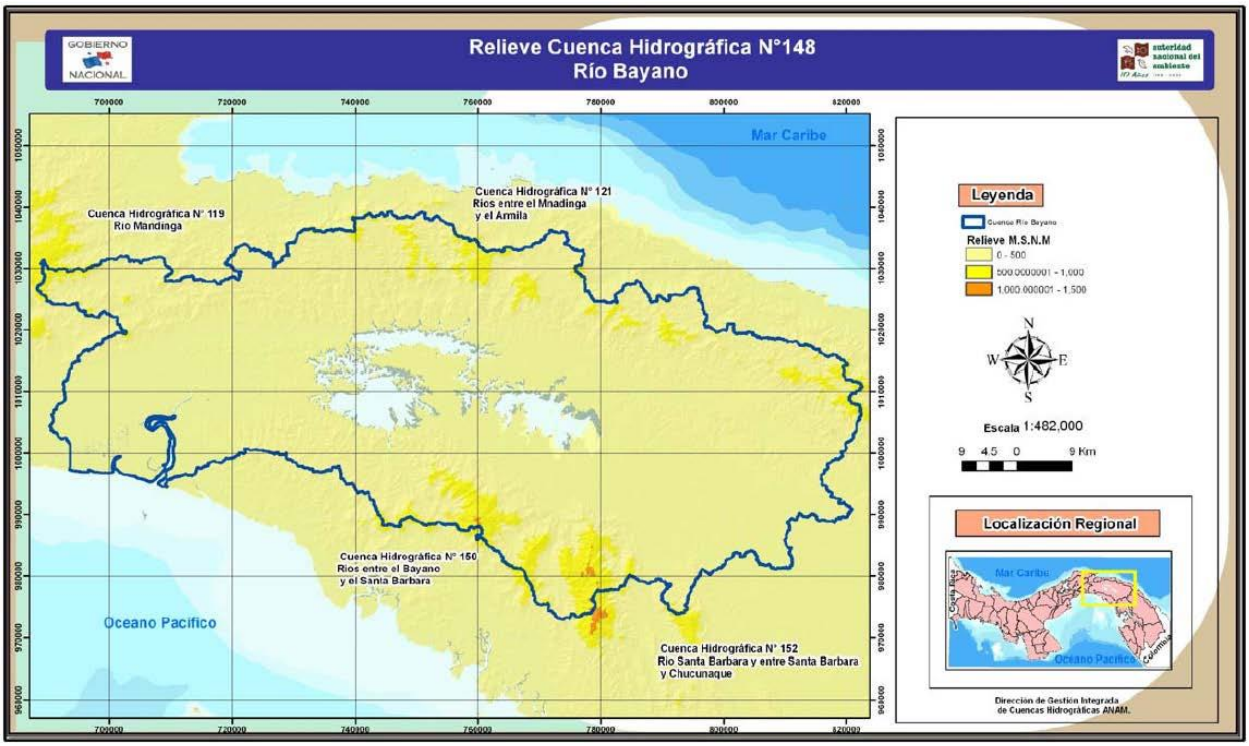

Figura 2. Mapa de Relieve. Fuente: ANAM

5.3 Geología Regional

5.3.1 Estudios geológicos realizados en el área

En el período comprendido entre noviembre de 1969 y 1972, el Gobierno de Panamá, en conjunto con el PNUD, efectuó un reconocimiento geológico regional, como parte de la fase II, del Proyecto Minero de Azuero. Este estudio incluyó las Regiones B Majé, y C San Blas-Darién, dentro de las cuales se localiza la Cuenca del Río Bayano.

En 1966, Robert Stewart, elabora el informe geológico, "The Rio Bayano Basin" (La Cuenca del Río Bayano", relacionados con el estudio del canal interoceánico, para la Compañía del Canal de Panamá.

En 1970-1971, La compañía Esso Exploration and Production, con el interés de efectuar exploraciones petroleras al este de la Provincia de Panamá y en la Provincia de Darién, efectuó varias secciones estratigráficas y un mapa geológico preliminar.

Entre 1970 a 1972 el IRHE, efectúa estudios geológicos en el curso medio del Río Bayano, con la finalidad de Construir la Hidroeléctrica del Bayano.

5.3.2 Geología Cuenca Río Bayano

De acuerdo al informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) de 1972, la Cordillera de San Blas está conformada por rocas cretácicas volcánicas indiferenciadas (Kv) que incluyen lavas andesíticas y basálticas, volcanoclásticas variedad aglomerado y tobas; así como también, Rocas Intrusivas (Ki) granodioritas, cuarzodioritas, tonalita, dioritas, sienita y granito. Estudios más recientes entre ellos, el de Lissinna de 2005, establece nuevas edades para ese complejo de rocas ígneas, entre 49 a 62 Ma, ubicándolas en el Paleoceno al Eoceno inferior.

La Cordillera del Maje está constituida por rocas volcánicas Terciarias del Oligoceno y del Mioceno (Tol-Miv), las que incluyen lavas y volcanoclásticas andesíticas y basálticas. Así como Rocas sedimentarias terciarias del Oligoceno al Mioceno inferior. El informe de Lissinna de 2005, indica que tienen edades de 18 a 32 Ma, para este grupo de rocas ubicándolas como parte del Arco volcánico del Oligoceno al Mioceno inferior.

El curso inferior del Río Bayano se extiende sobre rocas sedimentarias del Oligoceno al Mioceno inferior (TOM-TZ), formación Topaliza como se puede observar en el Mapa Geológico de Panamá, 1991 (Ver anexo A. Mapa 3 Geología Regional).

De acuerdo al informe de la Esso, 1970; la Formación Topaliza deriva su nombre del Río Topaliza un tributario del Río Tuira, en el norte de Darién alrededor del Río Membrillo, el cual expone dominantes lodolitas con meteorización concoidal, fosilíferas y limolitas, conteniendo secciones con abundantes moluscos y menos abundante arenisca volcánica, formando estratos de 10 a 20 cm de espesor.

A menudo contienen concreciones calcáreas de 5-10 cm en diámetro. Más al sur entre el Río Topaliza y el Río Chico, delgadas capas eventualmente estratificadas de arenisca gruesa, alternan con lutitas negras con pequeñas cavidades. En la parte inferior de la secuencia la arenisca es laminada, con estratificación cruzada, abundante material carbonoso, y frecuentes hojas enteras. Expone inter-estratificación con delgadas capas de limolita arcillosa y conchas de Pecten.

En el flanco oeste de la Cuenca del Tuira, la formación expone una facies diferente, turbiditas con estratificación rítmica de 5 a 10 cm en ancho, en grauvacas gradadas alternando con limolitas arcillosas gris negruzca. Limolitas ricas en pteropodos (moluscos), foraminíferos (Orbulina), y fina diseminación de fragmentos de plantas.

6. Investigación Geológica

Para este estudio se tomó en consideración las condiciones del tiempo y del área a estudiar. Se consideraron, en un principio dos sitios, las comunidades de Maulero y Jesús María; no obstante, debido a la negativa de los dueños de finca de la comunidad de Maulero, a dar permiso para realizar perforaciones, se tomó la decisión de reubicar la investigación a la comunidad de San Judas.

Figura 3. Bote para trasladarse por Río Bayano

Figura 4. Rampa de Acceso. Jesús María

El área de estudio es de difícil acceso y solamente había dos formas de llegar a los sitios de interés por camino rural de fincas privadas o por bote.

Los primeros recorridos se realizaron por la vía Interamericana hacia Cañitas y a unos 5 minutos y pasando el puente sobre el Río Aguacate, se toma el desvío a la derecha, donde se encuentra un camino de tierra, dentro de fincas privadas, muy sinuoso y de pendientes muy pronunciadas, el cual en tiempos de lluvia es muy peligroso debido a la composición arcillosa del terreno, principalmente en las pendientes. Este camino llega hasta la el margen norte de la comunidad de Jesús María; por lo que para visitar los otros sitios se coordinó el uso de botes , saliendo del Puerto de Coquira en Chepo y recorriendo el Río Bayano hasta llegar al Puerto de Jesús María, con el apoyo del uso de un GPS.

Figura 5. Camino hacia comunidad Jesús María. Fuente: ACP.

Una vez se identificaron los sitios de interés, se estableció un campamento en Las Margaritas de Chepo, para trasladarse a la comunidad de Jesús María. Para trasladarse a las comunidades de Maulero, San Judas y el margen sur de la comunidad de Jesús María, se coordinó el uso de un bote con base en el rampa del margen norte de la comunidad de Jesús María.

6.1 Personal encargado de la investigación

Para la realización de los trabajos de investigación se asignó a la Sección de Ingeniería Geotécnica de la ACP, para que se encargará de los trabajos correspondientes. A continuación se lista el personal involucrado en las labores de investigación:

- **Unidad de Geología (IAIG-GEL):** Trabajos de Cartografía Geológica, Supervisión de las perforaciones y elaboración de informe final.

Roberto Miranda, Eladio Almengor T., Maurylis R. Coronado, Mauricio J. Lacerda y Rodrigo Arrocha.

- **Unidad de Perforaciones (IAIG-PERF):** Trabajos de Perforación

Jorge Inglish, Ovidio Díaz, Rómulo Andino, Luis Rangel, Manuel Marquínez, Eduardo Iriarte, Pablo Concepción, Leonor Gonzales y Eduardo Thomas.

- **Unidad de Laboratorio de Suelos y Materiales (IAIG-LAB):** Ensayos de laboratorio

Antonio Campbell, Benjamín Fossatti, Patricia Torres, Rey Castillo, Salomón Martínez, Alex Chong y Gustavo Guerra.

Además, se contó con el apoyo de Vanesa Guerra, Leónidas Rodríguez y Jorge Solís, de la División de Ambiente de la ACP, que se encargaron de la logística y coordinación para realizar la investigación.

6.2 Cartografía Geológica

6.2.1 Metodología

La Cartografía realizada utilizó el estándar de descripción de suelos y rocas obtenidos de perforaciones realizadas en el área del Canal de Panamá, asimismo se empleó el estándar de Cartografía Digital para la Simbolización de Mapas Geológicos del Comité Federal de Datos Geográficos de los Estados Unidos.

El equipo utilizado incluye:
Equipo de Campo:

- Tablet: YUMA PC R1.12,
- GPS: ProXH (capacidad de medición sub-métrica).
- Antena: GPS L1 Hurricane Antenna.
- Corrección en tiempo real: Geo Beacon (Receptor de correcciones de posición transmitidas por una estación base).
- Telémetro Láser: TruPulse 360°B (Bluetooth).
- Aplicación Informática: ArcPad 10.0R4 (Móvil) de ESRI.

Equipo de Oficina:

- Computadora de escritorio. Aplicación Informática: ArcGIS 10.1 y ArcGis 10.3 (Escritorio)
- de ESRI.

Figura 6. Equipo para Cartografía Digital. Fuente: ACP

Los estándares empleados involucraron la captura en el campo de puntos de interés geológico: litología, dureza, grado de meteorización, estratificación, fallas, sistema de cizalla y juntas. Líneas de interés geológico: extensión de contactos, fueron inferidos. Polígonos de interés geológico inferido: delimitando, formaciones y litología.

6.2.2 Geomorfología local

Parcialmente las comunidades o localidades geográficas se distribuyen a lo largo de antiguos y recientes aluviones, formando terrazas mayores 10 m, labradas por el corte erosivo del Río Bayano, así como por depósitos de aluviones mucho más recientes con elevaciones menores a 1m, tomando como referencia el nivel más bajo de agua del río. Las terrazas están conformadas de sedimentos fluviales de mayor tamaño, tipo grava, las cuales varían desde guijas y guijarros, hasta sedimentos finos tipo arcilla y limo-arcilla.

Dichas terrazas fueron nuevamente erosionadas por la acción fluvial erigiendo finalmente el nuevo cauce del rio, dejando una morfología de cortes verticales, mientras que en las laderas de las colinas y pequeños cerros constituidos por arenisca u otra roca resistente, los cortes del río varían de vertical a sub-verticales. Igualmente, las terrazas conforman el relieve bajo, expuesto

en las riberas del curso inferior del Río Bayano, en una zona de meandros. Se apoyan sobre las laderas de colinas con elevaciones menores a 100 m, las cuales se extienden alineadas siguiendo direcciones variables, posiblemente perturbadas en parte por estructuras regionales tipo falla.

La característica anterior se infiere luego de analizar el mapa topográfico del área investigada, el cual nos indica que en la ribera NE de Maulero las colimas se extienden a lo largo de lineamientos con rumbo NO, mientras que, en la ribera sur, esta manifestación del relieve se extiende siguiendo rumbo NO-SE, en dirección al poblado de San Judas.

Esta última alineación topográfica es interceptada por una serie de colinas alineadas en sentido norte-sur. Al sur de la localidad San Judas otras geoformas como las descritas se alinean con rumbo noreste suroeste. Finalmente, entre las comunidades de Jesús María y la comunidad de San Judas, los sistemas de colinas se extienden a lo largo de ejes con rumbos noroeste, noreste y norte-sur.

En un islote del Río Bayano, en la comunidad de San Judas, se identificó un depósito de aluvión conformado por cantos rodados, ígneos y sedimentarios. El aluvión está pobremente clasificado (desde el punto de vista de la ingeniería), ya que contiene fragmentos líticos variables que van desde arenas hasta cantos rodados, los cuales incluyen guijas de hasta 64mm en diámetro, guijarros de hasta 150 mm en diámetro y cantos rodados de hasta 300 mm. Las gravas están compuestas de basaltos, algunos tienen superficie pulida y otros exponen textura vesicular; sin embargo, en su mayoría tienen color negro, los cuales muestran decoloración o un teñido color ocre, amarillo o anaranjado. Esto podría ser producto de la oxidación, aunque también se observó que muchos bloques silíceos muestran un teñido de color negro totalmente opuesto a lo observado en los basaltos.

Figura 7. Depósito aluvial, conformado por guijas, guijarros y cantos. Fuente: ACP.

6.2.3 Geología local

6.2.3.1 Estratigrafía

Una secuencia de aluviones del Holoceno, formando terrazas; areniscas, limolitas y toba de la Formación Topaliza, del Oligoceno al Mioceno, están expuestas en las riberas del Río Bayano, en los alrededores de las Comunidades de Jesús María, San Judas y Maulero. En el Anexo A, se puede apreciar en los mapas 4, 5 y 6, la geología local de cada sector.

Comunidad Jesús María- Ribera Norte

TOM-TZ Formación Topaliza: Se encontraron areniscas de grano grueso a fino, meteorizadas de la Formación Topaliza, las cuales exponen un alto grado de intemperismo originando una amplia cubierta de suelos residuales, los cuales fueron observados en las elevaciones 9.0 a 15.0 metros. Más al norte las areniscas se intercalan con limolitas meteorizadas y toba.

Figura 8. Perfil esquemático; Areniscas meteorizadas de la Formación Topaliza recubierta por suelo. Sitio Jesús María, en la ribera norte, Río Bayano. Fuente: ACP

Comunidad Jesús María- Ribera Sur

Qa-Aluviones Holoceno, Dos terrazas, una de 5.0 m de elevación y otra de 3.0 m, están localizadas en la ribera sur del Río Bayano, están conformadas por sedimentos de río, varían de arena fina, limo y arcilla, OC-1 a OC-2, consistencia muy baja a baja a consistencia mediana baja, contienen raíces y fragmentos de raíces, color gris oscuro y chocolate claro a anaranjado.

Figura 9. Terraza aluvial, en la ribera Sur del Río Bayano, entre San Joaquín y Jesús María. Fuente: ACP

.

TOM-TZ Formación Topaliza: En la ribera sur, del sitio antes mencionado, suelos orgánicos, con espesores de 30 cm, que consisten de limo y arena con raicillas, se apoyan sobre una secuencia de areniscas meteorizadas, que cubren las laderas de las colinas y pequeños cerros.

La parte oeste de la ribera sur, está cubierta en su mayoría por vegetación, a una distancia de 100.0 m está expuesta una arenisca grano fino, con cuarzo, feldespato, dureza RH-1, de muy suave a suave, moderadamente meteorizada, fracturada, color chocolate claro y con espesor estimado de 1m. El tramo final de aproximadamente 15.0 m está cubierto por lama negra y espesor estimado de 30-40 cm.

Figura 10. Rivera Sur del Río Bayano, tramo final de arenisca de la Formación Topaliza. Fuente: ACP

Comunidad San Judas Ribera noroeste

Qa- Aluvión Holoceno: Hacia la ribera noroeste una gran terraza aluvial, expone elevaciones mayores que 10.0 m, está conformada por sedimentos de río, constituidos por arena grano fino a medio, redondeados, de consistencia medianamente baja a medianamente alta (OC-2 a OC-3), baja plasticidad, color chocolate medio. Ver Anexo A. Mapa Geológico de San Judas.

TOM-TZ Formación Topaliza: Arenisca moderadamente meteorizada, dureza RH-3, moderadamente dura, grano medio, ligeramente calcárea, sin estratificación visible, color variable gris medio y tono chocolate hasta gris medio con tonos negros en las fracturas.

Comunidad de San Judas Ribera sureste

Qa- Aluvión Holoceno: Una terraza de aluvial, con elevaciones mayores que 10.0 m localizada en la ribera sureste del Río Bayano, conformada por sedimentos de río, entre ellos arena fina, limo y arcilla, contienen raíces, consistencia muy baja a baja a consistencia mediana baja (OC-1 a OC-2), color gris oscuro y chocolate claro a anaranjado.

TOM-TZ Formación Topaliza: Limolitas meteorizadas, fracturadas, exponen dureza de roca suave a muy suave (RH-1), con parcial partición paralela formando plaquitas, color chocolate claro. Bloques sub- angulares de arenisca, roca suave a moderadamente suave (RH-1 a RH-2), con cuarzo y feldespato, color gris, apoyados sobre las limolitas, evidencian la presencia de areniscas, posiblemente transportadas luego de la erosión del relieve con mayor elevación, situado al sur de este lugar. Hacia el norte, suelos residuales derivados de la avanzada meteorización de

areniscas, de la Formación Topaliza, las cuales forman las partes más resistentes del relieve, observado en esa área.

Comunidad Maulero Ribera noreste

Qa- Aluvión Holoceno: En la ribera noreste del Sitio Maulero, está localizada una terraza con elevación mayor que 10 m, constituida por aluvial fino, el cual incluye arena fina, limo y arcilla, con raicillas, tienen consistencia muy baja a medianamente baja (OC-1 a OC-2), color gris oscuro y chocolate claro a anaranjado. Ver Anexo A Mapa Geológico de la Comunidad de Maulero.

TOM-TZ Formación Topaliza: Tobas y Areniscas intercaladas, desde suelo residual a ligeramente meteorizadas y frescas, suelo de consistencia muy alta a roca moderadamente suave (OC-5 a RH-2), con fracturamiento moderado, de granulometría fina a media, color chocolate y negro en las fracturas.

Comunidad de Maulero Ribera suroeste

Qa- Aluvión Holoceno: Suelos con materia orgánica, consistencia baja a medianamente baja (OC-1 a OC-2) conformados por arcilla, limo y arena, con raicillas, y color gris oscuro a negro, espesor de hasta 200 mm, cubren la parte superior de dos (2) terrazas aluviales con elevaciones mayores a 10 m. Estas últimas están constituidas por arcilla, limo y arena.

TOM-TZ Formación Topaliza: Toba y Arenisca intercaladas, moderadamente suave a moderadamente dura (RH-2 a RH-3), moderadamente a ligeramente meteorizada, muy fracturada a moderadamente fracturada, de granulometría de fina a media, de color blanco a gris y amarillo claro. Otra exposición de toba tiene partes con fracturación muy cercana, favoreciendo la partición en pequeños fragmentos. La arenisca tiene dureza RH-2, moderadamente suave, grano fino a medio, color blanco a amarillo claro y gris con tono chocolate rojizo. Expone azimut y buzamiento 190/14.

La secuencia varía a arenisca tobácea, con dureza análoga a la anterior, moderada a alta meteorización, granos gruesos, subredondeados, color. Amarillo claro.

Figura 11. Afloramiento de toba fina meteorizada, Formación Topaliza. Fuente ACP.

6.3 Perforaciones para Investigación Geológica

6.2.1 Metodología

Ante la dificultad de enviar equipos muy pesados al otro lado del Río Bayano se utilizaron dos equipos de perforación; para el margen norte de la comunidad de Jesús María, se utilizó la perforadora Atlas Copco de oruga, ya que la máquina se podía movilizar con el apoyo de un Pick-Up 4x4 y un tractor. Para los sectores de San Judas y el margen sur de la comunidad de Jesús María se utilizó una perforadora portátil Acker Portable 1700, ya que debía ser traslada en bote a cada sitio.

En total se realizaron 6 perforaciones, 4 perforaciones en la comunidad de Jesús María, 2 perforaciones en la comunidad de San Judas. En el Anexo B, se pueden encontrar los Reportes de Perforación, las fotos de cada una de las cajas con los núcleos recuperados y las fotos de las muestras recuperadas en las pruebas de SPT.

El método de perforación en todos los pozos fue con recuperación continua, con tubos NQ, toma de muestra de Prueba de penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) según norma ASTM D1586-11, toma de muestra de roca y prueba de lugeon al finalizar la perforación.

Con el equipo portátil Acker Portable 1700 se realizaron 3 perforaciones, 1 perforación en el margen Sur de la comunidad Jesús María denominada B1-2. Mientras que para la comunidad de San Judas se realizaron dos perforaciones denominadas, B2-1 y B2-2. El método de perforación fue percusión en seco en el suelo y rotado con agua al encontrar roca o rechazo con la prueba de SPT.

Las perforaciones realizadas con la perforadora Atlas Copco de oruga, se realizaron en el margen norte de la comunidad Jesús María, estas perforaciones fueron denominadas B1-1, B1V-1 y B1V-2. El método de perforación fue con empuje hidráulico continuo con recuperación en seco en el suelo y rotado con agua al encontrar roca o rechazo con la prueba de SPT.

Figura 12. Acker Portable 1700 Fuente: ACP

Figura 13. Atlas Copco de oruga

6.3.2 Resultados de las Perforaciones

En el Sitio Jesús María, margen norte se encontró que la litología está compuesta por areniscas desde meteorizadas a sanas y algo de limolitas, pertenecientes a la Formación Topaliza. En el margen sur de la comunidad Jesús María se encontró aluvión y areniscas desde meteorizadas a sanas.

En la comunidad de San Judas, en ambos márgenes del Río Bayano, encontró Aluvión de granulometría fina a gruesa.

En la Tabla No. 1, se puede apreciar el resumen de los resultados de las perforaciones realizadas.

Tabla N°1 Resumen de las Perforaciones realizadas						
COMUNIDAD	PERFORACION	PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCION	FORMACION	SPT´s
		DE	HASTA			
Jesus y Maria	B1-1	0.00	14.90	Arenisca meteorizada	Topaliza	2
		14.90	23.08	Arenisca sana		
		23.08	29.90	Limolita		
	B1-2	0.00	13.64	Aluvion	Sedimentos Holocenos	10
		13.64	20.14	Arenisca meteorizada	Topaliza	
		20.14	25.00	Arenisca sana		
	B1V-1	0.00	7.20	Arenisca meteorizada	Topaliza	2
		7.20	9.80	Arenisca sana		
	B1V-2	0.00	5.00	Arenisca meteorizada	Topaliza	2
		5.00	15.30	Arenisca sana		
San Judas	B2-1	0.00	17.90	Aluvion	Sedimentos Holocenos	9
	B2-2	0.00	11.20	Aluvion	Sedimentos Holocenos	6
Maulero	No se hicieron perforaciones debido a que no teniamos permiso de los dueños de las fincas privadas, para realizar los trabajos correspondientes.					

6.4 Pruebas de Lugeon

6.4.2 Metodología

Las pruebas de Lugeon permiten determinar la permeabilidad dentro de la masa rocosa. Todas las pruebas se realizaron al finalizar la perforación y se realizan en el estrato de roca sana, del fondo al tope del estrato.

En total se realizaron 10 pruebas de Lugeon, 6 pruebas en el pozo B1-1, una 1 en el pozo B1-2 y 3 en el pozo B1V-2. (Ver los resultados en el Anexo C Pruebas de Lugeon)

Para las pruebas de Lugeon se utilizaron los siguientes equipos:

- Bomba marca Beam Royal,
- Caudalímetro marca Sensus/SRII
- Equipo de gas para los packer
- Packer doble y sencillo
- Tuberías y mangueras
- Manómetro de presión
- Botella para evitar el golpe de ariete.

Dependiendo de la profundidad se calculaba el Pmax (Presión máxima); se realizaban 5 lecturas, ver tabla N°2 a continuación:

Tabla No. 2 Presión Máxima		
Prueba	**Descripción**	**Presión**
1	Baja	0.50 Pmax
2	Media	0.75 Pmax
3	Máxima	Pmax
4	Media	0.75 Pmax
5	Baja	0.50 Pmax

En cada prueba se media hasta los 15 minutos (0, 1,2 ,5 ,10 y 15 minutos) y en cada intervalo se iba leyendo el caudalimetro para ver cuánta agua entraba al pozo y la cantidad se anotaba en el cuadro al lado del tiempo respectivo.

Al terminar la prueba se calcula el volumen en galones, los Lugeon y el coeficiente de permeabilidad de cada tramo.

En la tabla N°3 están registrados los valores Lugeon característicos:

Tabla No. 3 Valores Característicos de Lugeon		
Lugeon	**Clasificación**	**Conductividad Hidráulica**
<1.0	Muy bajo	$< 1 \times 10^{-5}$
1.0 – 5.0	Bajo	1×10^{-5} - 6×10^{-5}
5.0 -15.0	Moderado	6×10^{-5} – 2×10^{-4}
15.0 – 50.00	Medio	2×10^{-4} – 6×10^{-4}
50.00 – 100.00	Alto	6×10^{-4} – 1×10^{-3}
>100.00	Muy Alto	$> 1 \times 10^{-3}$

6.4.2 Resultados de las Pruebas de Lugeon

De acuerdo con Houlsby (1976) clasifico los comportamientos típicos en el ensayo en cinco grupos diferentes, de la siguiente manera:

Flujo laminar: La conductividad hidráulica es independiente de la presión de agua empleada. Este comportamiento es característico en suelos con bajas permeabilidades, cuando las velocidades de filtración son relativamente bajas.

Flujo turbulento: La conductividad hidráulica del suelo decrece a medida que la presión de agua aumenta. Este comportamiento es característico en suelos que exhiben grietas moderadamente anchas.

Dilatación: se observan conductividades hidráulicas similares a presiones bajas y medias; sin embargo, se presenta un valor mucho mayor a presión máxima. este comportamiento (que a veces también se observa a presiones medianas) se produce cuando la presión del agua aplicada es mayor que la tensión principal mínima del suelo, causando así una dilatación temporal de las fisuras dentro de la masa de roca. La dilatación provoca un aumento en el área de sección transversal disponible para que el agua fluya, y por lo tanto para que aumente la permeabilidad.

Lavado: Las conductividades hidráulicas aumentan a medida que se realiza la prueba, independientemente de los cambios observados en la presión del agua. Este comportamiento indica que la filtración induce daño permanente e irreversible en la roca.

Relleno de vacíos: Las conductividades hidráulicas disminuyen a medida que se realiza el ensayo, independientemente de los cambios observados en la presión de agua. Este comportamiento indica que, o bien: (1) el agua llena progresivamente las discontinuidades aisladas-no persistentes, (2) se presenta una expansión lateral en las discontinuidades, o (3) partículas finas fluyen lentamente por medio de las discontinuidades hasta construir una capa que les obstruye.

Los resultados de las pruebas de Lugeon realizadas, podrán ser encontrados en la tabla 4, a continuación:

Tabla No. 4
Resultados Pruebas de Lugeon

Pozo	Profundidad	Valor de Lugeon	Tipo de Comportamiento	Notas
B1-1	27.25 – 28.75 m	0	Sin Flujo	Doble Packer
B1-1	25.75 – 27.25 m	0	Sin Flujo	Doble Packer
B1-1	24.25 – 25.75 m	0	Sin Flujo	Doble Packer
B1-1	20.00 – 24.50 m	1.13	Dilatación	Doble Packer
B1-1	18.25 – 21.25 m	0.34	Dilatación	Doble Packer
B1-1	15.25 – 18.25 m	0 *	Dilatación	Doble Packer
B1-2	21.00 – 24.00 m	0	Sin Flujo	Doble Packer
B1V-2	12.00 – 15.00 m	0.11	Turbulento	Un solo Packer
B1V-2	9.00 – 12.00 m	1.92	Turbulento	Doble Packer
B1V-2	6.00 – 9.00 m	0.8	Lavado	Doble Packer
*Prueba de Lugeon solamente registro en las últimas 2 fases.				

6.5 Calicatas

6.5.2 Metodología

En las giras preliminares efectuadas al Río bayano se identificó terrazas aluviales conformadas por arenas, guijas, guijarros y cantos rodados redondeados a sub-redondeadas, estos pueden ser utilizados o explotados como material de construcción para las diferentes estructuras del proyecto.

Estos depósitos aluviales tienen una gran área por eso se decidió realizar 2 calicatas en la comunidad de Jesús María ya que era el sitio de mejor acceso por tierra, las calicatas se harían para identificar la dimensión de los cantos rodados y efectuar una completa clasificación de los materiales.

El lugar donde se ubican las calicatas es cercana al muelle de la comunidad Jesús María, a unos 200 m de separación entre ellas. En el Anexo A, Mapa 7, se puede apreciar el mapa de localización de las calicatas Debido a la dificultad del acceso, las calicatas fueron excavadas manualmente con coas y palas, contratando personal de la comunidad.

Las calicatas se orientaron al norte para que cada pared coincida con un punto cardinal y facilitando la orientación. Luego de ello se excavó con una dimensión de 1.50 x 1.50 x 1.50 m. Una secuencia de fotos registra el proceso previo al inicio, avance y terminación de la excavación.

Posteriormente se efectuó un esquema de la estratificación, se colectaron y empacaron muestras inalteradas de los materiales para efectuar análisis en el laboratorio de suelos, en el que se clasifican y someten a pruebas controladas y estandarizadas.

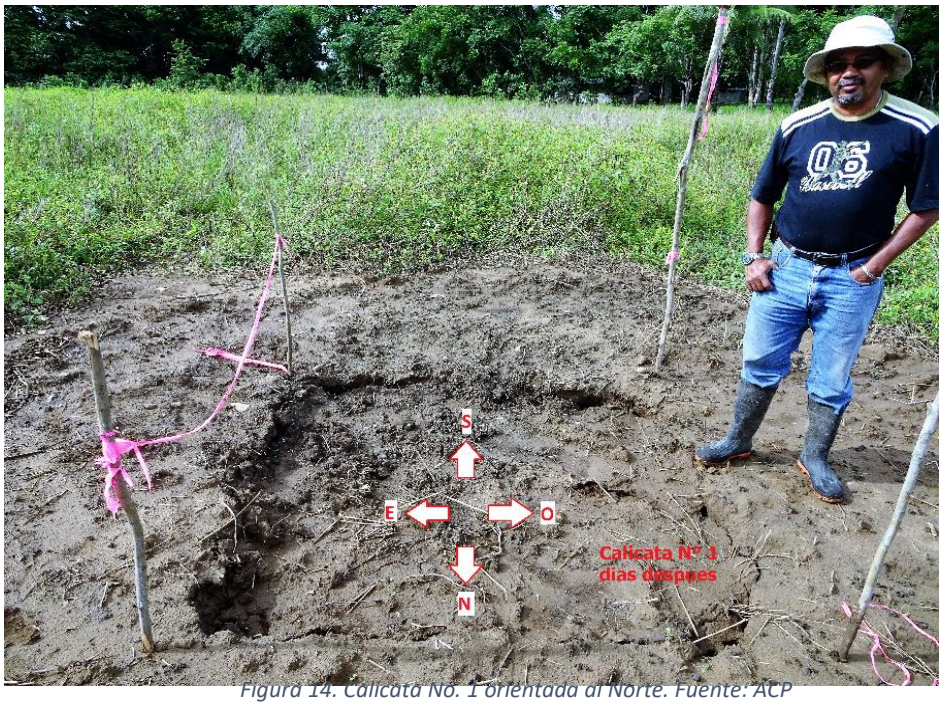

Figura 14. Calicata No. 1 orientada al Norte. Fuente: ACP

6.5.2.1 Calicata 1: 720905 E/ 1012025 N. Elevación: 13 m

En la calicata se identificaron cuatro (4) estratos los cuales muestran variaciones de tamaño en la conformación de los depósitos aluviales. Estos estratos indican fases de deposición de sedimentos que varían de fino a grueso, limos arenosos, gravas con cantos rodados y uno de los estratos contiene un contenido alto de material orgánico.

La composición de los estratos es la siguiente:

- El primer estrato constituye de arena, limo, materia orgánica, fragmentos de roca hasta 250 mm de diámetro sub-redondeados.
- El segundo estrato contiene arena de granulometría media, algunos fragmentos de roca hasta 60 mm de diámetro, sub-angulares a sub-redondeados.
- El tercer estrato está compuesto de un paleosuelo, materia orgánica, arena fina, limo y arcilla.
- El último estrato está compuesto de arena de grano fino a medio, limo, algo de arcilla.

Figura 15. Posicionamiento de la Calicata No. 1. Fuente: ACP

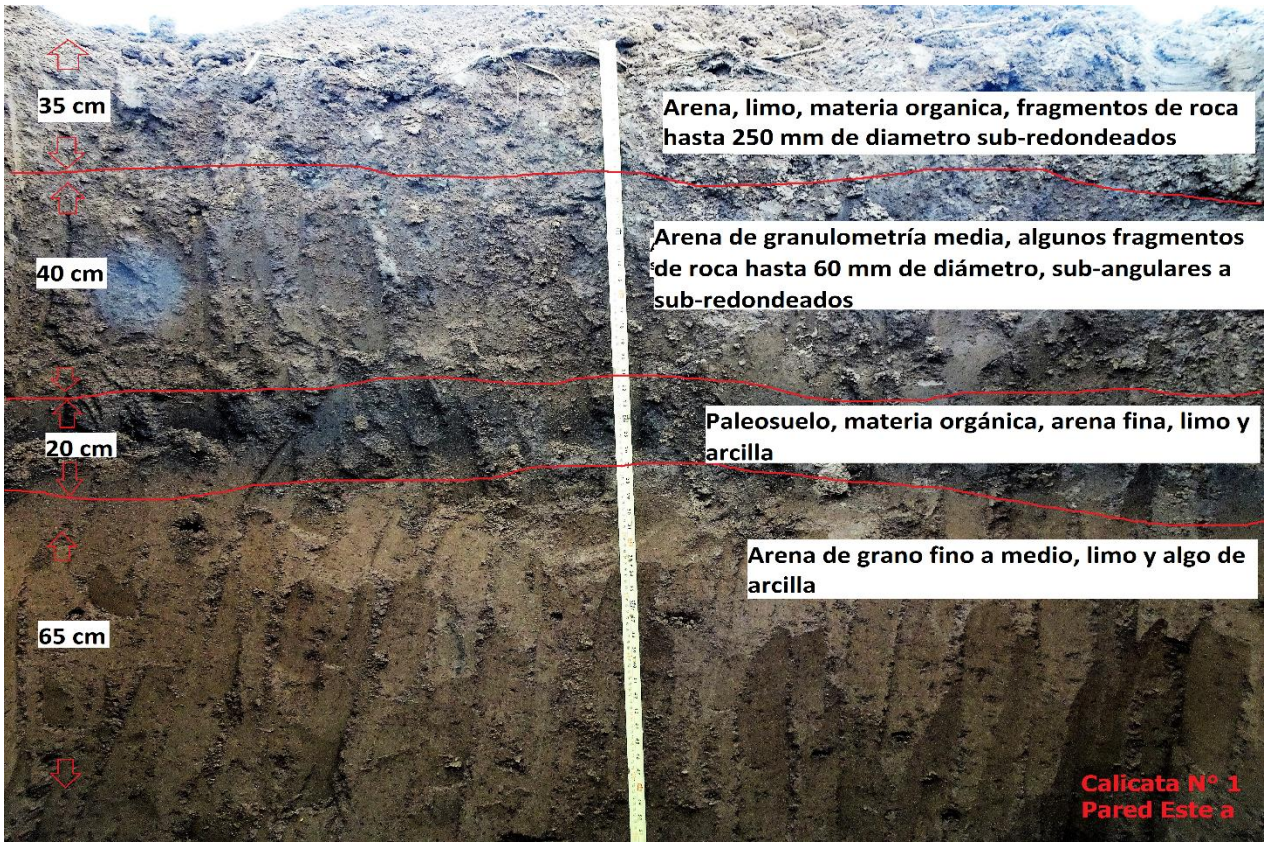

Figura 16. Calicata No. 1 pared Este. Fuente: ACP

Figura 17. Calicata No. 1 pared Norte. Fuente: ACP

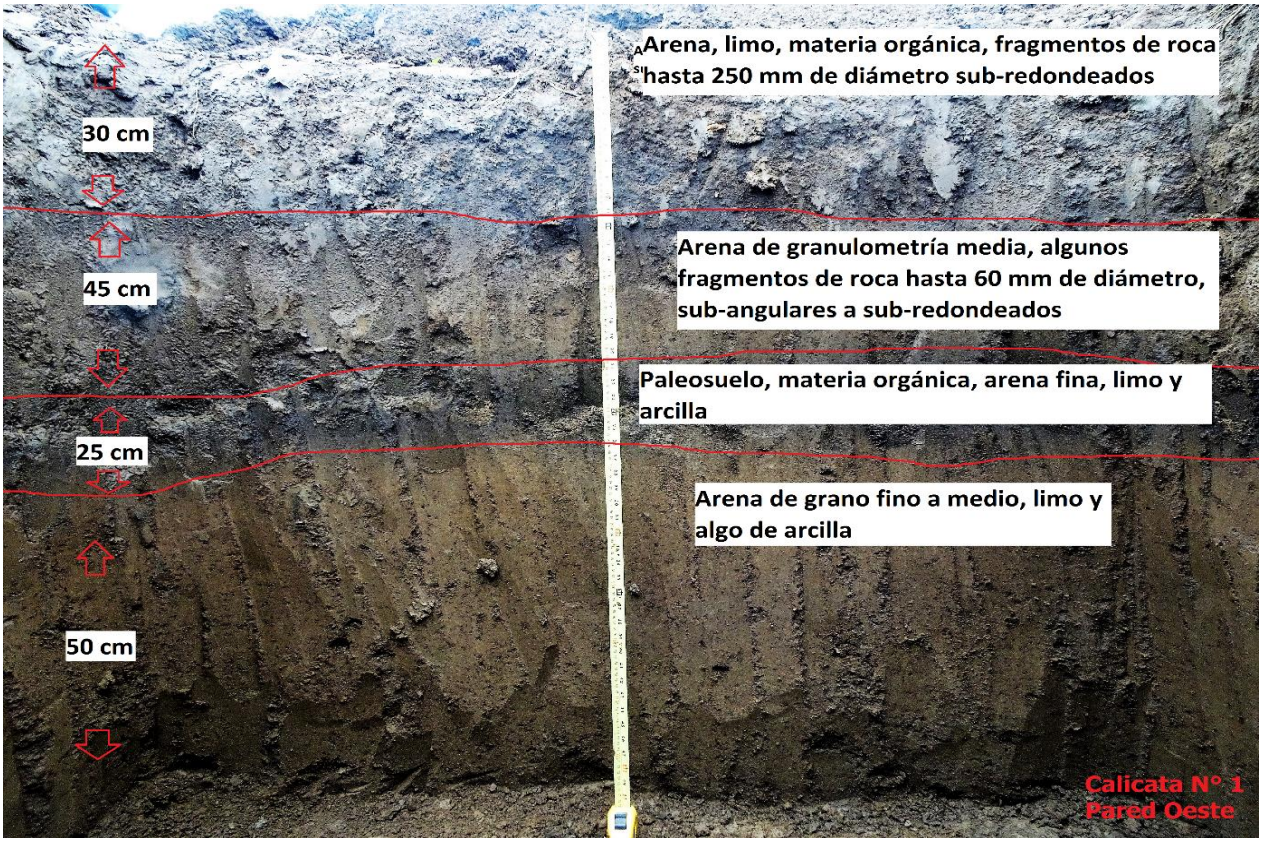

Figura 18. Calicata No.1 pared Oeste. Fuente: ACP

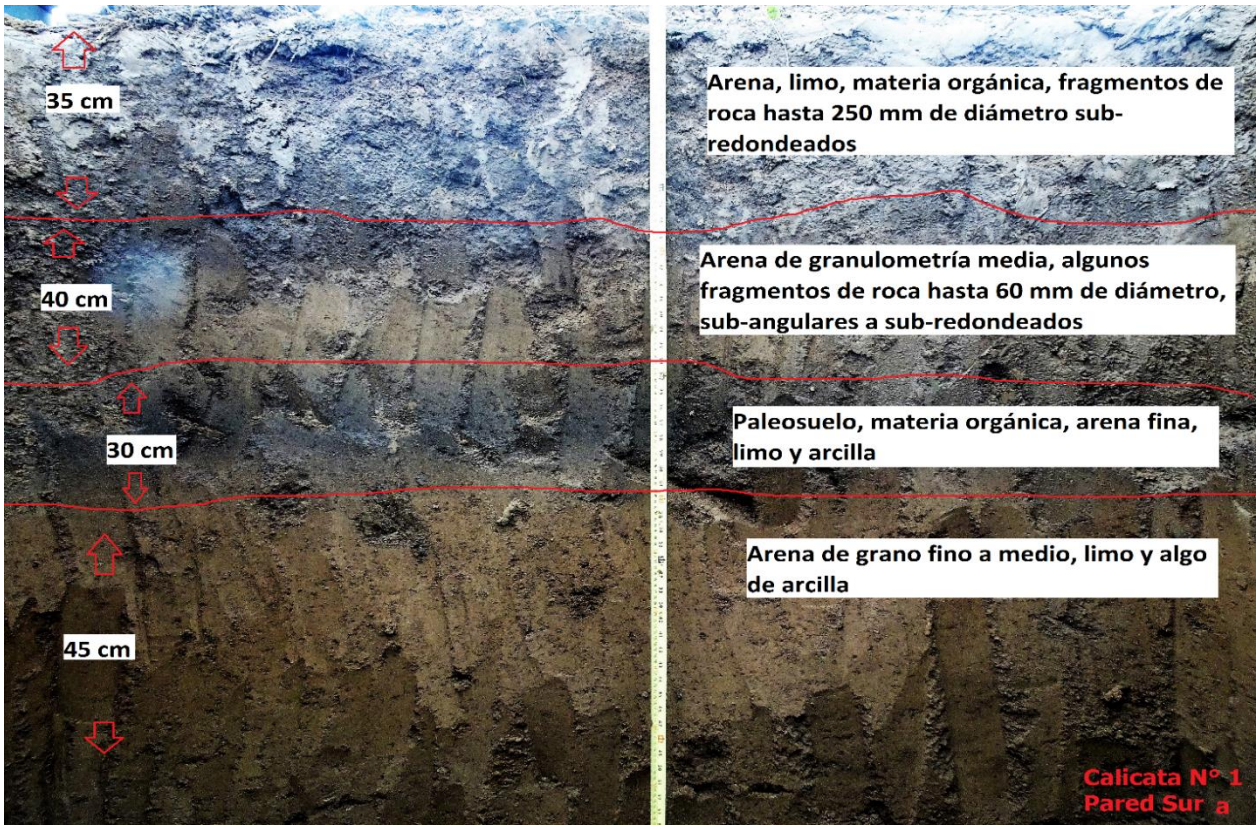

Figura 19. Calicata No.1 pared Sur. Fuente: ACP

Figura 20. Calicata No.1 días despúes. Fuente: ACP

6.5.2.2 Calicata N°2: 720820 E/ 1011875 N. Elevación: 14 m

En la calicata se identificaron cuatro (4) estratos los cuales muestran variaciones de tamaño en la conformación de los depósitos aluviales. Estos estratos indican fases de deposición de sedimentos que varían de fino a grueso, limos arenosos, gravas con cantos redondos y uno de los estratos contiene un contenido alto de material orgánico.

La composición de los estratos es la siguiente:

1. El primer estrato está constituido por un limo arenoso, con material orgánico como raíces y restos de plantas.
2. El segundo estrato corresponde a un aluvial grueso compuesto de arena, gravas y cantos rodados hasta 220 mm de diámetro. Los fragmentos de rocas son de composición ígnea (maficos e intermedios) y sedimentarios.
3. El tercer estrato está compuesto de un limo arenoso de alto contenido carbonoso de color negro. Este estrato se puede entender que fue formado en un ambiente de baja energía como estuarios ayudando al material orgánico a carbonizarse en un ambiente anaeróbico.
4. El último está compuesto por un limo arenoso de arena fina, de color chocolate medio y no contiene material orgánico.

Figura 21. Posicionamiento de Calicata No. 2. Fuente: ACP

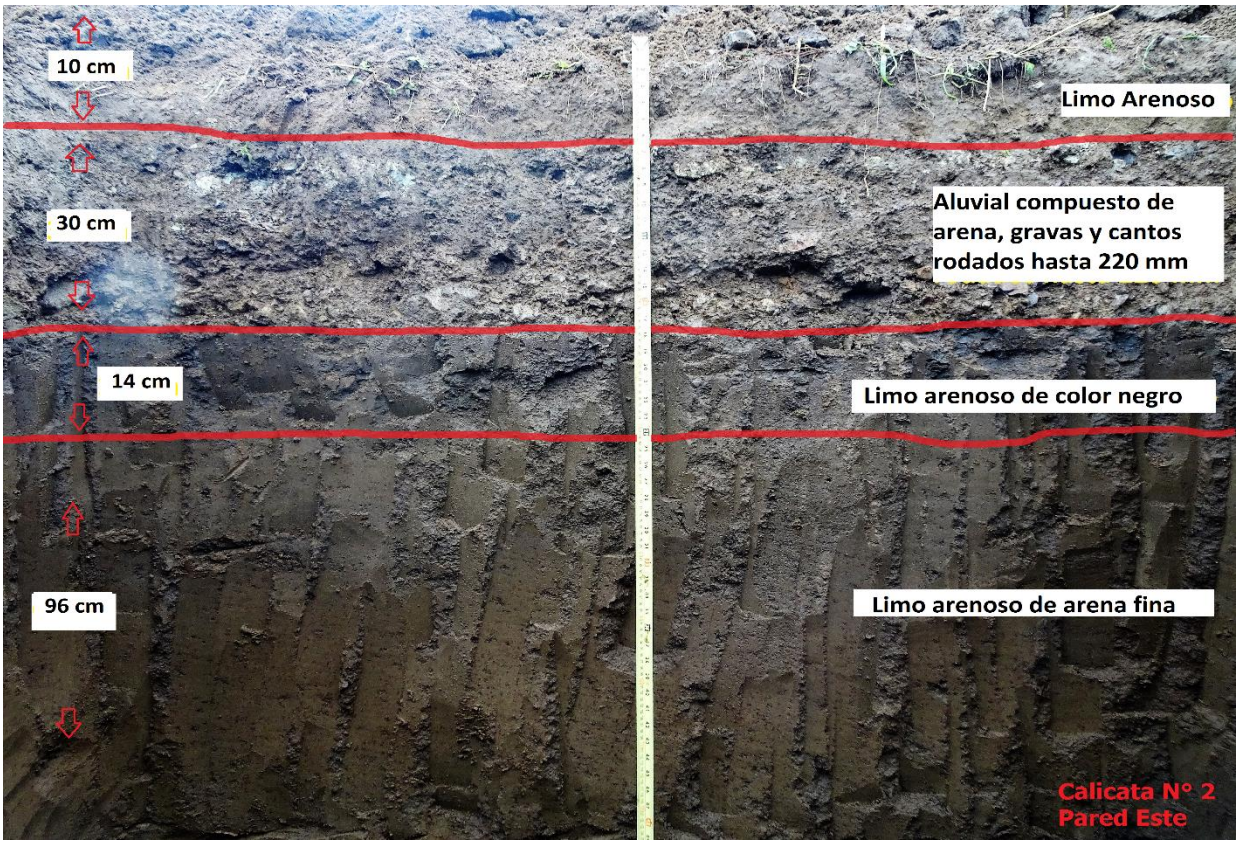

Figura 22 Calicata No. 2 pared Este. Fuente: ACP

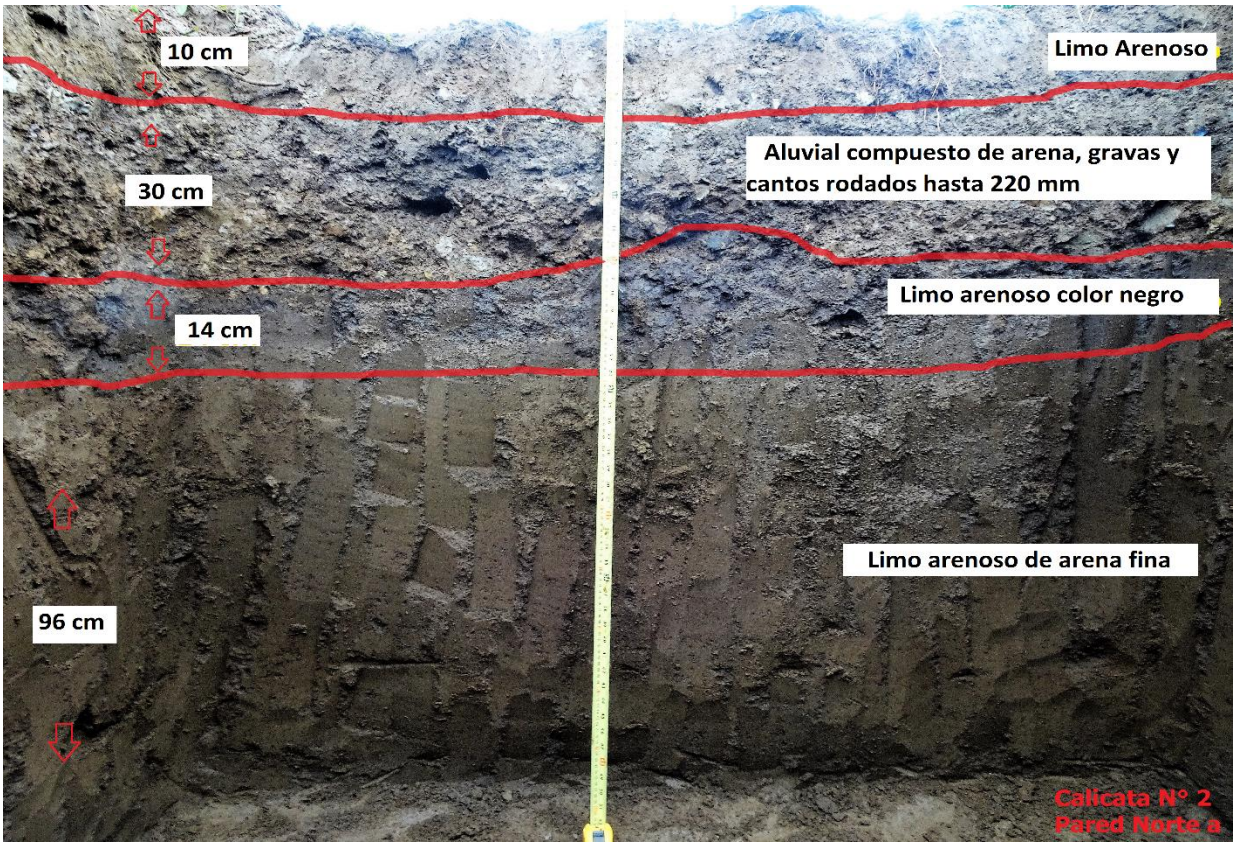

Figura 23. Calicata No.2 pared Norte. Fuente: ACP.

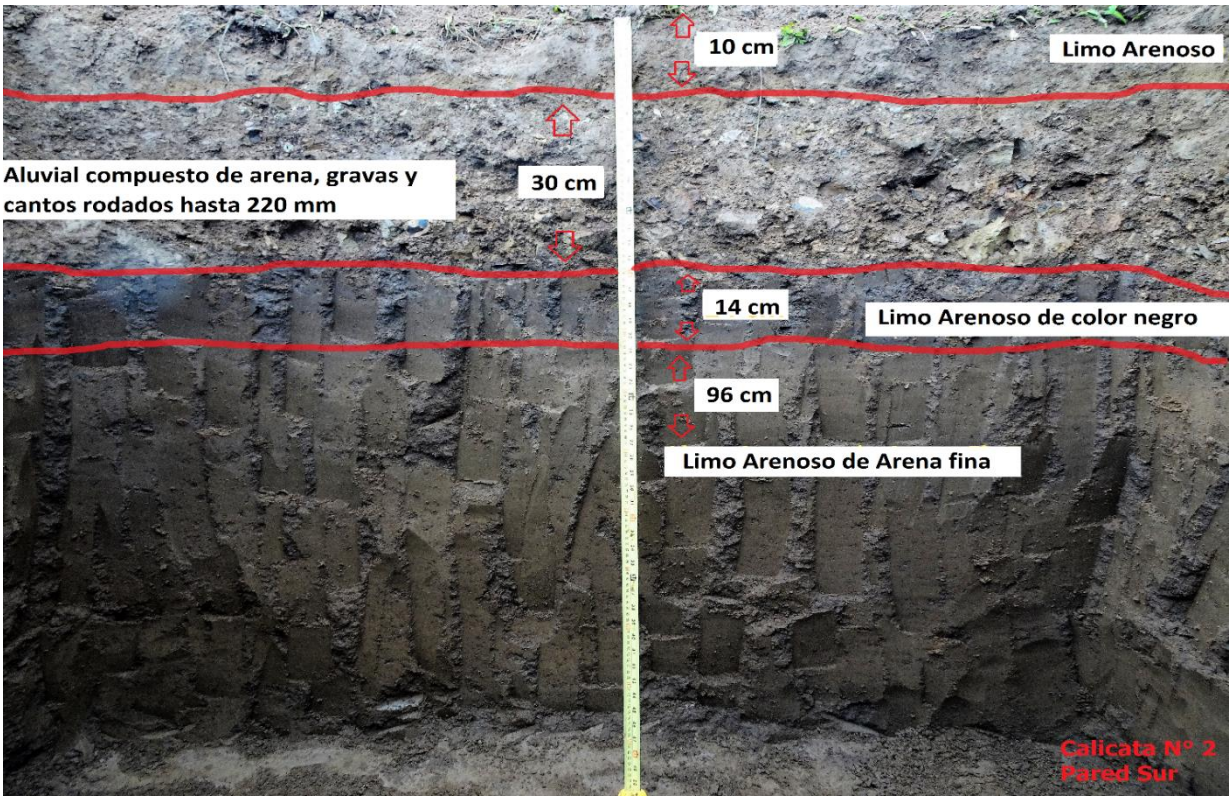

Figura 24.Calicata No.2 pared Sur. Fuente: ACP

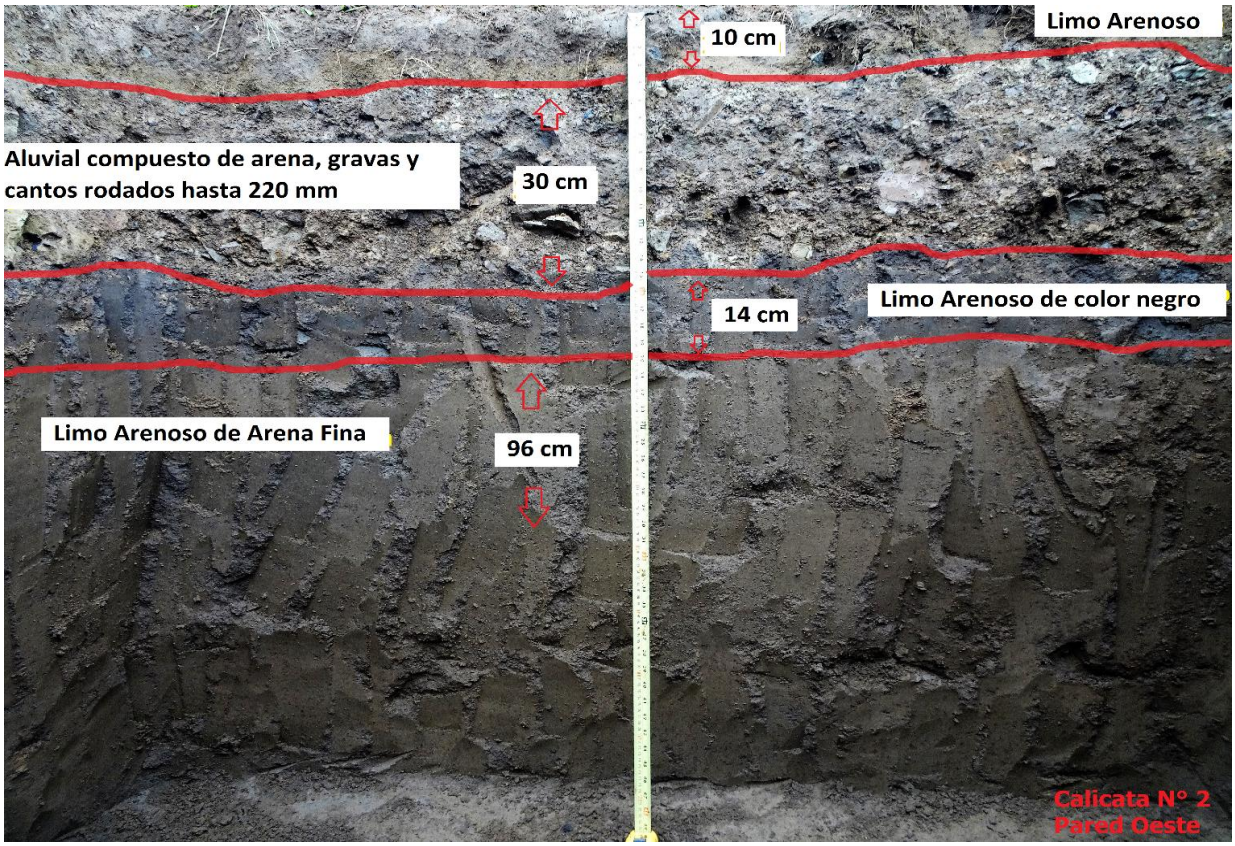

Figura 25. Calicata No.2 pared Oeste. Fuente: ACP

Figura 26. Calicata No. 2 días después. Fuente: ACP

6.6 Pruebas de Laboratorio

El Laboratorio de Suelos y Materiales de la ACP, se encargó de realizar los ensayos correspondientes de las muestras que se obtuvieron a partir de 6 perforaciones, en las cuales se realizó la Prueba de Penetración Estándar en todos los pozos, y dos excavaciones en sitio denominadas, Calicatas No.1 y No.2.

Las muestras de suelo de los pozos fueron etiquetadas y almacenadas en bolsas de plástico y las muestras de roca fueron cubiertas con plástico y selladas y transportadas al laboratorio para su almacenamiento. En el laboratorio todas las muestras se sacaron de las bolsas y se secaron en el área de trabajo.

Se llevaron a cabo las siguientes Pruebas de índice: Contenido de Agua, Análisis de Tamaño de Partícula-Prueba Mecánica, Límites de Atterberg, Gravedad Específica de Suelo y Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería. Se realizaron dos tipos de ensayo de resistencia, a saber: Prueba de compresión no confinada y Prueba de carga puntual.

La prueba de compresión no confinada se realizó en muestras de ensayo de 46 y 47 milímetros de diámetro que se llevan al punto de falla. Todas estas pruebas se han realizado de acuerdo con las normas ASTM.

En el Anexo D se ha incluido el reporte de laboratorio completo.

7. Conclusiones y Recomendaciones

El estudio de investigación geológica del subsuelo, es un informe preliminar en el que se logró comprobar que el área de interés está compuesta por aluvión del Holoceno y rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Topaliza.

Después de haber realizado seis perforaciones, dos calicatas y realizado la cartografía geológica de los tres sitios propuestos, consideramos que se deberán ampliar los estudios una vez se determine la factibilidad del proyecto.

Hay que tener en cuenta que para realizar nuevas campañas de investigación se debe tener estrecha comunicación con los propietarios de fincas, para conseguir los permisos correspondientes y se debe buscar maneras alternativas de llevar el equipo de perforación necesario para ampliar las investigaciones, especialmente en las comunidades a las que actualmente solamente se pudo llegar en bote.

8. Bibliografía

Terry, R.A, 1956. A geological reconnaissance of Panama. Ocassional Papers No XXIII, California Academy of Sciences

Woodring, W.P., 1959. Idem. U.S. Geol. Surv. Paper 306-B

Woodring, W.P., 1964. Idem. U.S. Geol. Surv. Paper 306-C

Woodring, W.P., 1970. Idem. U.S. Geol. Surv. Paper 306-D

Lissina Britta, 2005. A profile through the Central American Landbridge in western Panama: 115 Ma Interplay between the Galápagos Hotspot and the Central American Subduction Zone, Zur Erlangung des Doktorgrades der Mathemayisch-Naturwissenschaftlichen Fakultat der Christian-Albrechts-Universitat zu Kiel

Proyecto Minero fase II, 1972. Geología general de las regiones oriental y occidental, Naciones Unidas, Nueva York.

Catastro Rural, 1965-1968. Geología, Volumen III. Catastro Rural de Tierras y Aguas, Comisión de Reforma Agraria, Republica de Panamá

Fisher, S.P. y E.A. Pessagno, Jr., 1965. Upper Cretaceous strata of northwestern Panama. Amer. Soc. Petroleum Geologists, Bull, 49, no. 4, pags. 433 a 444

MacDonald, H.C., 1969. Geologic evaluation of radar imagery from Darien Province, Panama. Modern Geology, VI, pags. 1 a 63

Robert H. Stewart, 1966. The Río Bayano Basin A geological Report, Panama

Esso Exploration and Production Panama, 1971, Unpublished Annual Report Corresponding to the Third Year of Exploration Conforming to Contract 59, Darien Basin, October 1970–March 1971 (for Department of Mineral Resources, Government of Panama.

Houlsby, A. C. 1976. Routine Interpretation of the Lugeon water test.

9. ANEXOS

- Anexo A - Mapas Geológicos
- Anexo B – Registros de Perforación
- Anexo C – Reportes de Pruebas de Lugeon
- Anexo D – Reporte de Pruebas de Laboratorio