

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
UN GESTIÓN AMBIENTAL
ÁREA FUNCIONAL DE HIDROGEOLOGÍA



**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO MEJORAMIENTO DEL ACUEDUCTO DE
SANTIAGO DE PURISCAL: ABASTECIMIENTO A PARTIR DEL ACUEDUCTO
METROPOLITANO**




ELABORÓ:


Geól. Jorge A. Salazar Chacón

TRABAJO DE CAMPO:

Geól. José Daniel Vargas Bolaños & Geól. Cristina Castanedo Sotela


Revisión y aprobación
MSc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección del Área Funcional de Hidrogeología.
Abril, 2018





**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-06'00'

Firma: _____

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 Objetivo General | 1 |
| 1.3 Objetivos Específicos | 1 |
| 1.4 Metodología | 1 |
| 1.5 Ubicación. | 2 |
| 2 CONDICIONES GEOLÓGICAS. | 4 |
| 2.1 Formación Pacacua | 4 |
| 2.2 Formación Peña Negra | 5 |
| 2.3 Rocas volcánicas. (Fm La Cruz y Fm Grifo Alto) | 5 |
| 2.4 Formación Depósitos de Avalancha Ardiente. | 6 |
| 2.5 Depósitos coluviales y aluviales..... | 7 |
| 2.6 Geología Estructural..... | 7 |
| 3. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD INTRÍNSECA AL DESLIZAMIENTO | 11 |
| 3.1 Susceptibilidad del relieve (Sp)..... | 11 |
| 3.2 Susceptibilidad litológica (SI)..... | 15 |
| 3.3 Susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) | 19 |
| 3.4 Susceptibilidad intrínseca del terreno (combinación de Sp, Sh y SI) | 24 |
| 4. CONDICIONES GEOLÓGICAS-GEOMECÁNICAS DE SECTORES DE INTERÉS. | 29 |
| 4.1 Pasos de Ríos-Quebradas Afluente Río Agres. | 29 |
| 4.2 Paso Río Corrogres..... | 32 |
| 4.3 Paso Río Uruca..... | 32 |
| 4.4 Paso Río Oro, Río Caraña y afluentes de río Caraña. (sector Piedades de Santa Ana)..... | 33 |
| 4.5 Paso Río Pacacua. | 34 |
| 4.6 Paso de afluente Quebrada Honda. | 35 |
| 4.7 Ladera margen derecha Quebrada Honda y paso de Quebrada Honda. | 36 |
| 4.8 Sector de Montaña (Fila Diamante) | 37 |
| 4.9 Ladera margen derecha Río Jaris y cauce Río Jaris. | 39 |
| 4.10 Deslizamiento Jaris | 39 |
| 5. RECOMENDACIONES PARA ETAPAS POSTERIORES DE INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN..... | 41 |
| 5.1 Investigación geofísica | 41 |
| 5.2 Investigación Geotécnica. | 41 |
| 5.3 Aspectos constructivos | 42 |
| 5.4 Aspectos ambientales. | 42 |
| 09. CONCLUSIONES | 43 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 1 Ubicación de ruta de tubería de conducción desde San Rafael de Escazú hasta Santiago de Puriscal | 3 |
| Figura N° 2 Mapa geológico estacionamiento 0+000 a 10+000 | 8 |
| Figura N° 3 Mapa geológico estacionamiento 10+000 a 20+000 | 9 |
| Figura N° 4 Mapa geológico estacionamiento 20+000 a 30+570 | 10 |
| Figura N° 5 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 0+000 a 10+000 | 12 |
| Figura N° 6 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 10+000 a 20+000 | 13 |
| Figura N° 7 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 20+000 a 30+570 | 14 |
| Figura N° 8 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 0+000 a 10+000 | 16 |
| Figura N° 9 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 10+000 a 20+000 | 17 |
| Figura N° 10 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 20+000 a 30+570 | 18 |
| Figura N° 11 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 0+000 a 10+000 | 21 |
| Figura N° 12 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 10+000 a 20+000 | 22 |
| Figura N° 13 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 20+000 a 30+570 | 23 |
| Figura N° 14 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 0+000 a 10+000. | 26 |
| Figura N° 15 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 10+000 a 20+000. ... | 27 |
| Figura N° 16 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 20+000 a 30+570. ... | 28 |
| Figura N° 17 Sitios de interés analizados con mayor detalle | 31 |
| Figura N° 18 Análisis de admisibilidad cinemática considerando la junta principal con una dirección de 070° y un ángulo variable entre 10 y 30°, para laderas o cortes de excavación con orientación preferencial NE. Ángulo de fricción 20° | 38 |
| Figura N° 19 Propuesta de modificación de ruta entre estacionamientos 22+000 y 25+000. Base Hoja cartográfica, foto área y modelos de sombras | 40 |

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|----|
| Fotografía N° 1 Afloramiento de areniscas vulcanoclasticas en quebrada intersecada por tubería en tramo 15+500-16+000 correlacionado con la formación Pacacua. (Coordenadas Lambert Norte 209759/510183) | 4 |
| Fotografía N° 2 Afloramiento de areniscas y lutitas correlacionados a la formación Peña Negra entre las estaciones 17+500 y 22+5000 (Coordenadas Lambert Norte 207999/508105) | 5 |
| Fotografía N° 3 Muestra de roca volcánica alterada observada en las coordenadas lambert norte 211606/518009 | 6 |
| Fotografía N° 4 Ignimbrita de color gris aflorando en quebrada observada en las coordenadas lambert norte 212152/519956. | 7 |
| Fotografía N° 5 Paso de río afluente Río Agres norte 212095/520098 | 29 |
| Fotografía N° 6 Ignimbrita masiva de buena calidad geomecánica aflorando en el segundo cauce las coordenadas lambert norte 212176/519944. | 30 |
| Fotografía N° 7 Paso de Río Corrogres. Coordenadas Lambert Norte (211608/518009) | 32 |
| Fotografía N° 8 Vista de paso de Río Uruca desde margen derecha. Nótese la estructura de protección de los bastiones del puente y la socavación de la misma. Coordenadas Lambert Norte | |

| | |
|---|----|
| (211608/518009) | 33 |
| Fotografía N° 9. A) Paso Río Oro. Nótese el macizo rocoso aflorando a nivel de cauce. B) Sector Aguas Abajo de Río Oro. Nótese el espesor de suelo sobreyaciendo la ignimbrita. C) Paso Río Caraña. Nótese los bastiones del puente carretero cimentados en el macizo. D) Paso afluente de río Caraña. Nótese la presencia del macizo rocoso aflorando a nivel de cauce. | 34 |
| Fotografía N° 10. Vista de bastión de margen derecha de puente carretero sobre el Río Pacacua. Nótese el ciclópeo de protección medida que deberá de ser considerada para proteger los cimientos del nuevo puente..... | 35 |
| Fotografía N° 11. A) Socavación aguas abajo de alcantarilla. B) Brecha volcánicla aflorando en cauce de quebrada. | 35 |
| Fotografía N° 12. Vista de ladera de margen derecha de Quebrada Honda. | 37 |
| Fotografía N° 13. Inestabilidad superficial a orilla de camino. | 38 |
| Fotografía N° 14. Inestabilidad superficial a orilla de camino. | 39 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1 Clases de pendientes y valoración del parámetro Sp | 11 |
| Tabla N° 2 Precipitación media mensual (mm) estación Cedral localizada en Acosta, San José (Coordenadas CRTM 484899/1086008). (Tomado de Área Funcional Estudios Básicos, Sagot (2018))..... | 19 |
| Tabla N° 3 Precipitación media mensual (mm) estación Bocana localizada en Puriscal, San José (Coordenadas CRTM 460252/1080233). (Tomado de Área Funcional Estudios Básicos, Sagot (2018))..... | 20 |
| Tabla N° 4 Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia (Mora et. al., 1992)..... | 20 |
| Tabla N° 5 Valoración del parámetro humedad del terreno (Sh) (Mora et. al., 1992) | 20 |
| Tabla N° 6 Rangos del factor de la susceptibilidad intrínseca a la inestabilidad de laderas en la ruta de la tubería del Proyecto Mejoramiento del Acueducto de Santiago de Puriscal. | 24 |
| Tabla N° 7 Detalle de clasificación geomecánica para macizo rocoso conformado por roca volcánica ignimbrita. Parámetros estimados de manera cualitativa. | 30 |
| Tabla N° 8 Detalle de clasificación geomecánica para macizo rocoso conformado por roca volcánica ignimbrita. Parámetros estimados de manera cualitativa. | 36 |

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados como parte del proyecto mejoramiento del abastecimiento de Santiago de Puriscal está evaluando la alternativa de abastecer a la comunidad de Puriscal a partir del acueducto Metropolitano.

Esta alternativa consiste en incorporar un caudal de 150 l/s provenientes del acueducto metropolitano a través de una conducción por gravedad, desde la zona de San Rafael de Escazú, mediante una derivación del tanque a construirse denominado Monasterio. El proyecto incluye obras de acondicionamiento en sistemas de bombeo y aproximadamente 30 kilómetros de conducciones superficiales, así como obras de interconexión. (Figura N°1)

Éste estudio se realiza a partir de la solicitud del Ing. Gerardo Rivas director del área de diseño de la UEN Programación a la dirección de la UEN Gestión Ambiental a cargo de la MSc. Viviana Ramos Sánchez.

1.2 Objetivo General

- Evaluar las condiciones geológicas de la ruta del acueducto propuesto entre San Rafael de Escazú y Santiago de Puriscal.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar las características geológicas-geomecánicas de la ruta de la tubería de conducción.
- Evaluar la susceptibilidad intrínseca al deslizamiento de las zonas de interés.
- Evaluar la vulnerabilidad al deslizamiento o inestabilidad de la tubería de conducción a construir.
- Indicar recomendaciones para las etapas posteriores de investigación, diseño y construcción.

1.4 Metodología

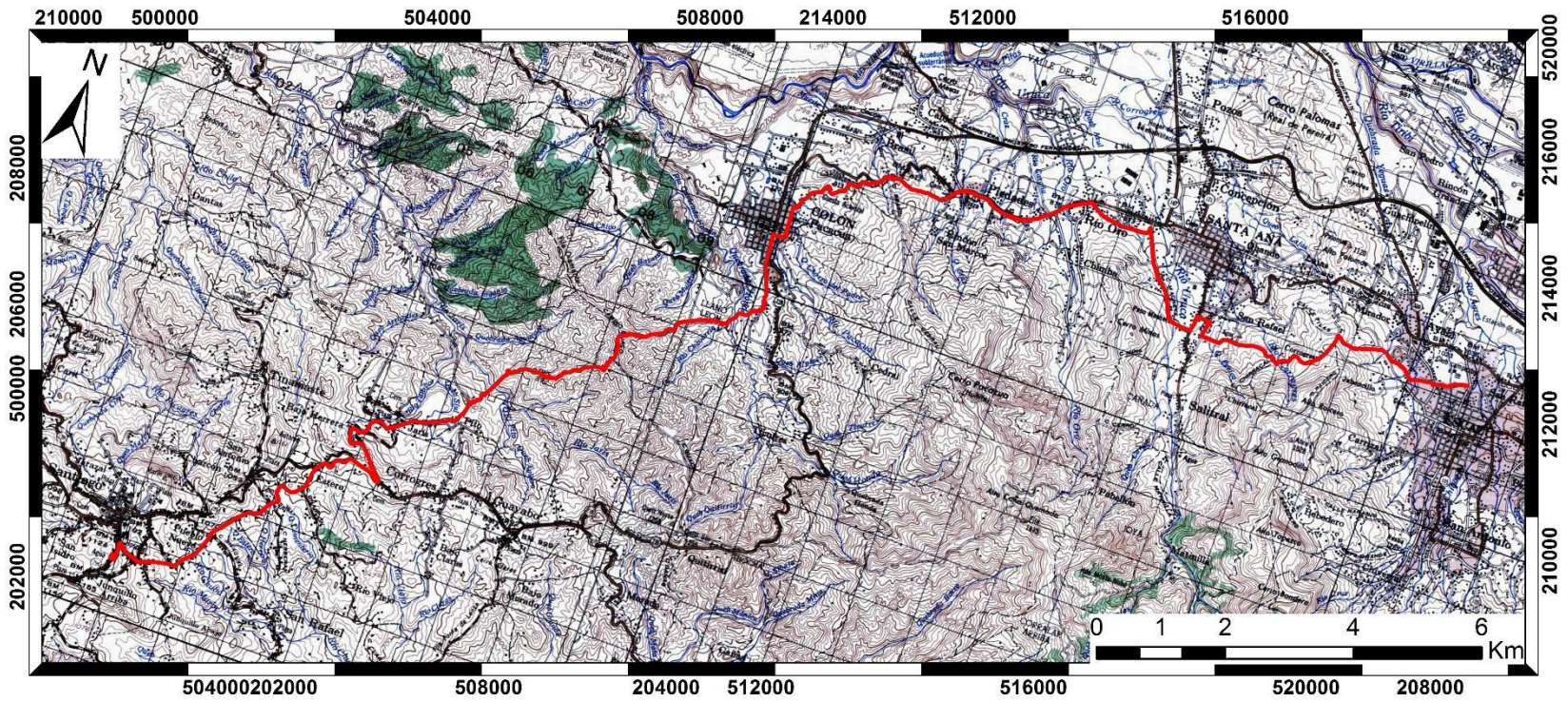
Se realizó una visita de campo el día 4 de abril en conjunto con el Ing. Marco Alvarado y la Ing. Ana Patricia Bolaños de la UEN Programación y Control de reconocimiento inicial del trazado de la ruta. Posteriormente el día 5 y 6 de abril se realizó el levantamiento de campo de las áreas de mayor interés.

A continuación, se detallan las labores realizadas para la elaboración del siguiente estudio:

- Identificación de condiciones geológicas locales y regionales.
- Análisis de sensores remotos y revisión bibliográfica.
- Análisis de susceptibilidad intrínseca mediante metodología Mora-Vahrson.
- Identificación de condiciones geológicas-geomecánicas de puntos de interés
- Elaboración de recomendaciones para etapas posteriores.

1.5 Ubicación.

El proyecto abarca las hojas cartográficas Río Grande y Abra escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional. (Figura N°1)



**Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología**

Leyenda

— Ruta (Aportado por UEN PyC, 2018)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866

Figura N° 1 Ubicación de ruta de tubería de conducción desde San Rafael de Escazú hasta Santiago de Puriscal

2 CONDICIONES GEOLÓGICAS.

La ruta de la tubería de conducción se ubica en las hojas cartográficas Abra y Río Grande las cuales han sido investigadas y descritas en detalle por Denyer & Arias (1991). En las figuras N°2, 3 y 4 se presenta la distribución de las unidades geológicas para los 30.570 km de tubería de conducción superficial.

A continuación se detalla la descripción para cada unidad geológica.

2.1 Formación Pacacua

Formación constituida por volcanoclastitas de granulometría diversa, caracterizan a esta unidad geológica las estratificaciones dm hasta m de areniscas vulcaniclásticas (finas, gruesas y guijarrosas) tobas, tobitas y brechas finas y gruesas. (Denyer & Arias, 1991)

Particularmente la tubería de conducción interseca a esta formación entre las estaciones 11+500 y 13+500 y entre las estaciones 15+500 y 16+000 (Figura N°3), en este último tramo se observaron afloramientos característicos de ésta unidad geológica en las quebradas aledañas- (Fotografía N°1)



Fotografía N° 1 Afloramiento de areniscas vulcaniclásticas en quebrada intersecada por tubería en tramo 15+500-16+000 correlacionado con la formación Pacacua. (Coordenadas Lambert Norte 209759/510183)

2.2 Formación Peña Negra

Descrita por Denyer & Arias (1991) como secuencias de areniscas medias, finas y pardas en su unidad inferior, lutitas y areniscas finas negras (con pirita) en su sección media y areniscas pardas gruesas con intercalaciones guijarrosas y estratos de calizas aislados en su unidad superior.

Con respecto a la tubería de conducción está interseca esta unidad entre las estaciones 17+500 y 22+500 (Figura N°3 y 4). A lo largo de este tramo se observaron afloramientos de areniscas y lutitas de color café intercaladas con lentes de arenas inconsolidados (Fotografía N°2). Se determinó que la secuencia presenta una dirección de buzamiento de N70°E con ángulo de 10°.



Fotografía N° 2 Afloramiento de areniscas y lutitas correlacionados a la formación Peña Negra entre las estaciones 17+500 y 22+5000 (Coordenadas Lambert Norte 207999/508105)

2.3 Rocas volcánicas. (Fm La Cruz y Fm Grifo Alto)

Rocas compuestas por coladas de basaltos (Fm La Cruz) y rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas (Fm Grifo Alto)

La tubería de conducción interseca estas unidades volcánicas entre las unidades 03+500 y 04+500 (Figura N°2) y entre las estaciones 22+000 y 30+570 (Figura N°3).

En el tramo 03+500 y 4+500 se observaron afloramientos de rocas volcánicas meteorizadas correlacionadas con estas unidades. (Fotografía N°3)



Fotografía N° 3 Muestra de roca volcánica alterada observada en las coordenadas lambert norte 211606/518009.

2.4 Formación Depósitos de Avalancha Ardiente.

Descrita por Denyer & Arias (1991) como depósitos de pómez de caída seguidos por flujos de ceniza, lapilli y bloques, así como ignimbritas grises con “fiammes” de obsidiana y pómez. En la base se describe la presencia de delgados episodios aluviales.

La tubería de conducción interseca esta unidad entre las estaciones 0+000-02+000 (Figura N°2), 08+000-12+000 (Figura N°3) y 15+500-17+500. (Figura N°3). A lo largo de los diferentes tramos se observaron afloramientos de estos macizos rocosos en las principales quebradas del área, las rocas se caracterizaron como ignimbritas de color gris con presencia de fiammes de pómez y obsidianas. (Fotografía N°3), de igual manera en las márgenes de la quebrada Honda fue posible observar los depósitos aluviales asociados con esta formación.



Fotografía N° 4 Ignimbrita de color gris aflorando en quebrada observada en las coordenadas lambert norte 212152/519956.

2.5 Depósitos coluviales y aluviales

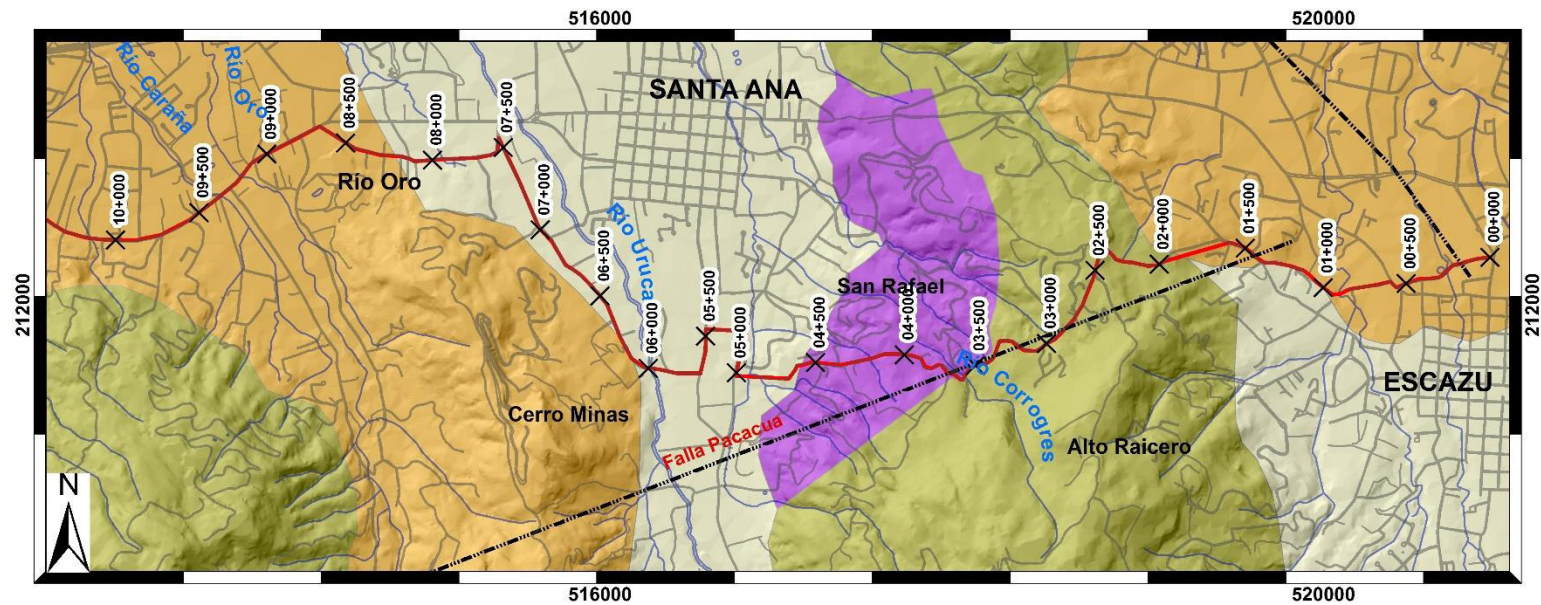
En gran medida corresponden con abanicos coluvio-aluviales formados por los principales ríos del área de estudio como es el caso del río Uruca en la localidad de Santa Ana. La tubería de conducción interseca estos depósitos principalmente entre las estaciones 04+500-08+500 y 13+500-16+000. (Figura N°2 y 3).

2.6 Geología Estructural.

La ruta de la tubería atraviesa diferentes trazas de fallas identificadas en los mapas de Arias & Denyer (1991) y en los mapas de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias.

En la figura N°2 se puede observar la traza de la falla Pacacua, la cual Arias & Denyer (1991) la caracterizan con un movimiento relativo inferido sinistral sin evidencias neotectónicas. De igual manera en la figura N°4 se observa la traza de la falla Jaris descrita por los mismos autores con un movimiento relativo comprobado dextral y sin evidencias neotectónicas.

Tanto en las figuras N°2,3 y 4 se pueden observar otras estructuras asociadas a fallamientos-alineamientos de menor magnitud.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental
 Área Funcional de Hidrogeología

Geología estacionamiento 0+000 a 10+000

Base geológica: Arias & Denyer, 1991 y Levantamiento de campo

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
 Proyección Ocotepaque Lambert Norte
 Datum Ocotepaque 1935
 Esferoide de Clarke 1866



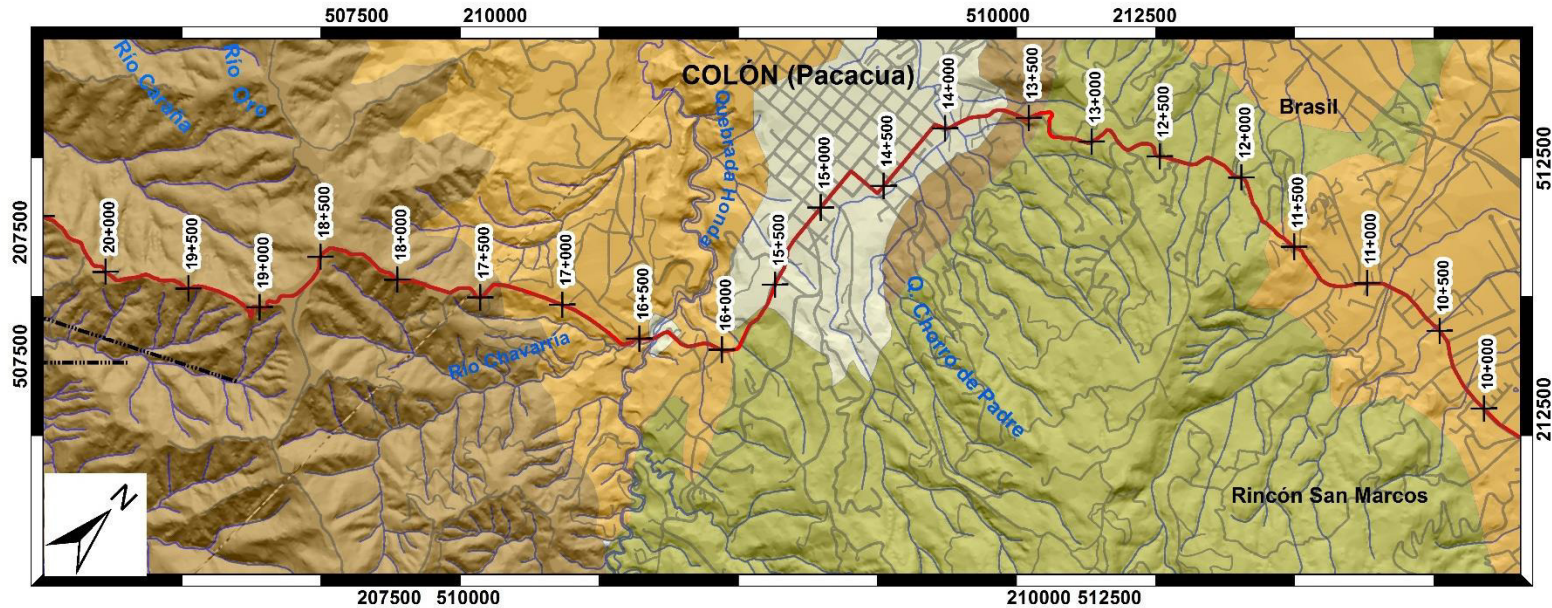
LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Fallas y Alinamientos
- Ríos

Unidades Geológicas

- Depósitos aluviales y coluviales
- Ignimbrita (Depósitos de Avalancha Ardiente)
- Rocas volcánicas (La Cruz & Grifo Alto)
- Areniscas y lutitas (Fm Peña Negra)
- Rocas volcánicas (Fm Pacacua)

Figura N° 2 Mapa geológico estacionamiento 0+000 a 10+000

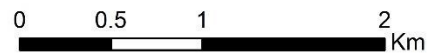


Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Geología estacionamiento 10+000 a 20+000

Base geológica: Arias & Denyer, 1991 y Levantamiento de campo

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Orotepeque Lambert Norte
Datum Orotepeque 1935
Esferoide de Clarke 1866



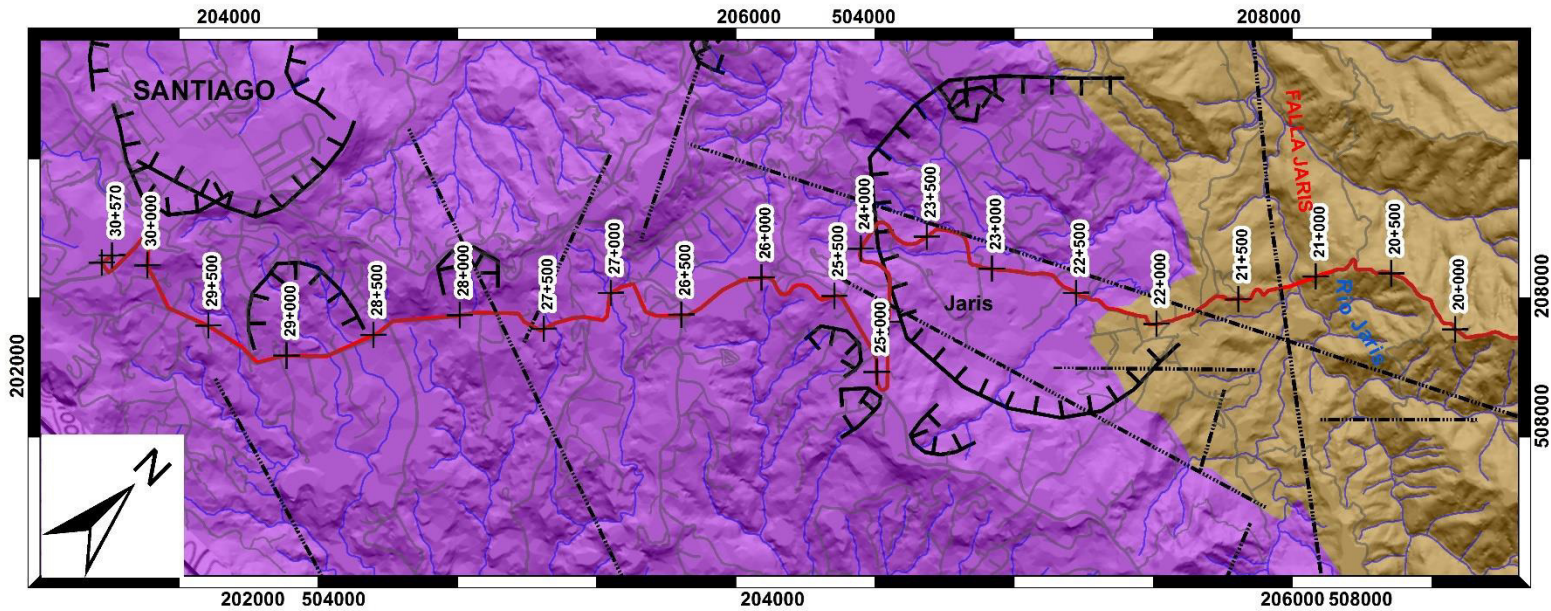
LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Fallas y Alineamientos
- Ríos

Unidades Geológicas

- Depósitos aluviales y coluviales
- Ignimbrita (Depósitos de Avalancha Ardiente)
- Rocas volcánicas (La Cruz & Grifo Alto)
- Areniscas y lutitas (Fm Peña Negra)
- Rocas volcánicas (Fm Pacacua)

Figura N° 3 Mapa geológico estacionamiento 10+000 a 20+000



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Geología estacionamiento 20+000 a 30+570

Base geológica: Arias & Denyer, 1991 y Levantamiento de campo

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- · — · Fallas y Alineamientos
- | — Deslizamientos
- Ríos

Unidades Geológicas

- Depósitos aluviales y coluviales
- Ignimbrita (Depósitos de Avalancha Ardiente)
- Rocas volcánicas (La Cruz & Grifo Alto)
- Areniscas y lutitas (Fm Peña Negra)
- Rocas volcánicas (Fm Pacacua)

Figura N° 4 Mapa geológico estacionamiento 20+000 a 30+570

3. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD INTRÍNSECA AL DESLIZAMIENTO

A partir de la información disponible y recopilada en campo se procede a realizar un análisis de la susceptibilidad intrínseca del terreno mediante la metodología Mora-Vahrson. (1992)

La metodología Mora-Vahrson se aplica mediante la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos e hidro-climáticos y su distribución espacio-temporal. (Mora et al., 2015)

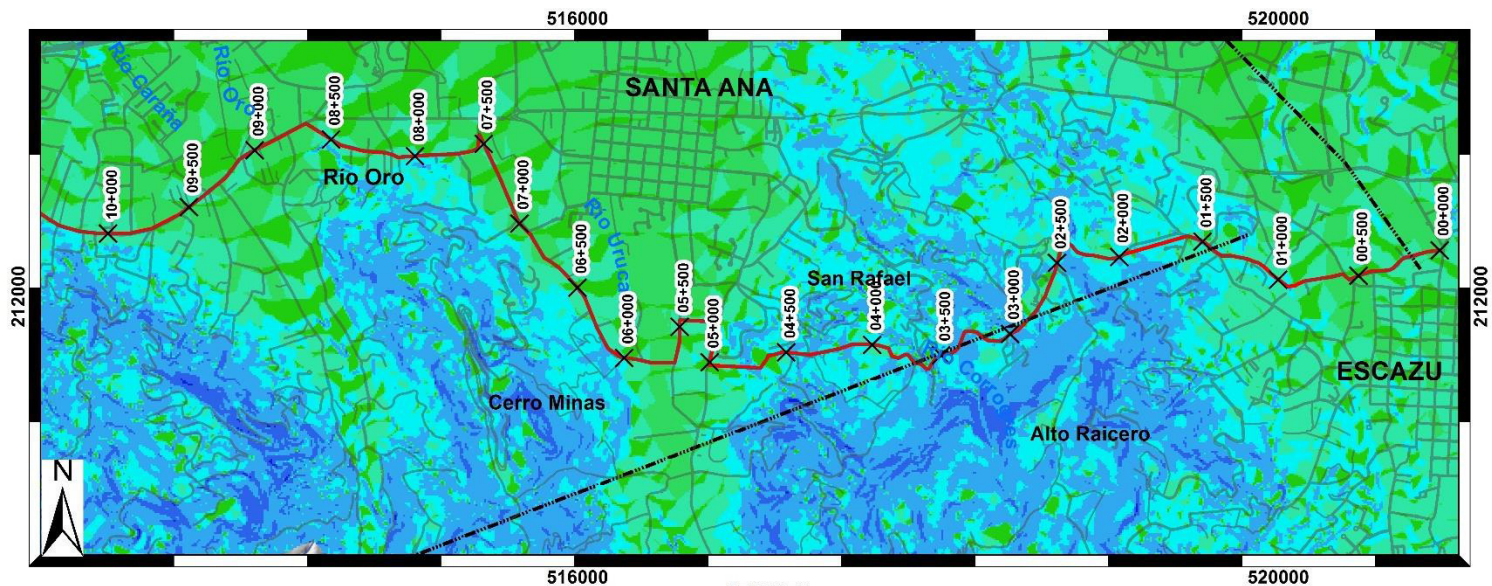
Particularmente para este estudio se realiza únicamente el análisis de la susceptibilidad intrínseca del terreno, el cual se considera un producto adecuado para el análisis de la vulnerabilidad de la ruta.

3.1 Susceptibilidad del relieve (S_p)

A partir de los modelos de elevación digital desarrollados para el área de estudio con base en las curvas 1:5000 del PRCR se realiza un análisis de pendientes reclasificando las mismas con base en la tabla N°1 (Mora et al., 2002). Los mapas de pendientes se presentan en las figuras N°5, 6 y 7.

Tabla N° 1 Clases de pendientes y valoración del parámetro S_p

| Clase pendiente | | Condiciones del terreno | Valor de S_p |
|-----------------|--------|-------------------------------------|----------------|
| (°) | (%) | | |
| 0-2 | 0-2 | Planicie, sin denudación apreciable | 0 |
| 2-4 | 2-7 | Pendiente muy baja | 1 |
| 4-6 | 7-15 | Pendiente baja | 2 |
| 8-16 | 15-30 | Pendiente moderada | 3 |
| 16-35 | 30-70 | Pendiente fuerte | 4 |
| 35-55 | 70-140 | Pendiente muy fuerte | 5 |
| >55 | >140 | Extremadamente fuerte | 6 |



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad del relieve 0+000 a 10+000

Sp (Base curvas 1 50 PRCR)

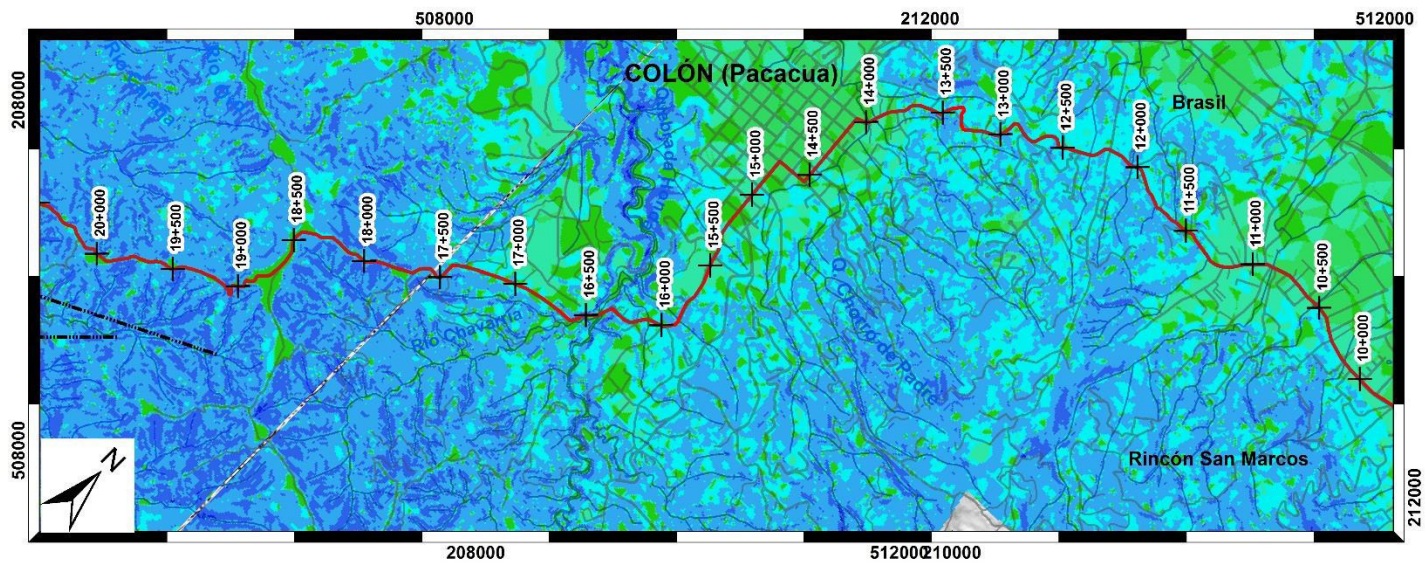
Hoja Cartográfica Abra & Rio Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
 - Calles
 - × Estacionamiento
 - Estructuras Geológicas
 - Ríos
- Susceptibilidad del relieve (pendientes %) Sp**
- | Value | Color |
|---------|--------------|
| 0-2 % | Green |
| 2-7% | Light Green |
| 7-15% | Yellow-Green |
| 15-30% | Yellow |
| 30-70% | Orange |
| 70-140% | Red-Orange |
| >140% | Dark Red |

Figura N° 5 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 0+000 a 10+000



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad del relieve 10+000 a 20+000

Sp (Base curvas 1:50 PRCR)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

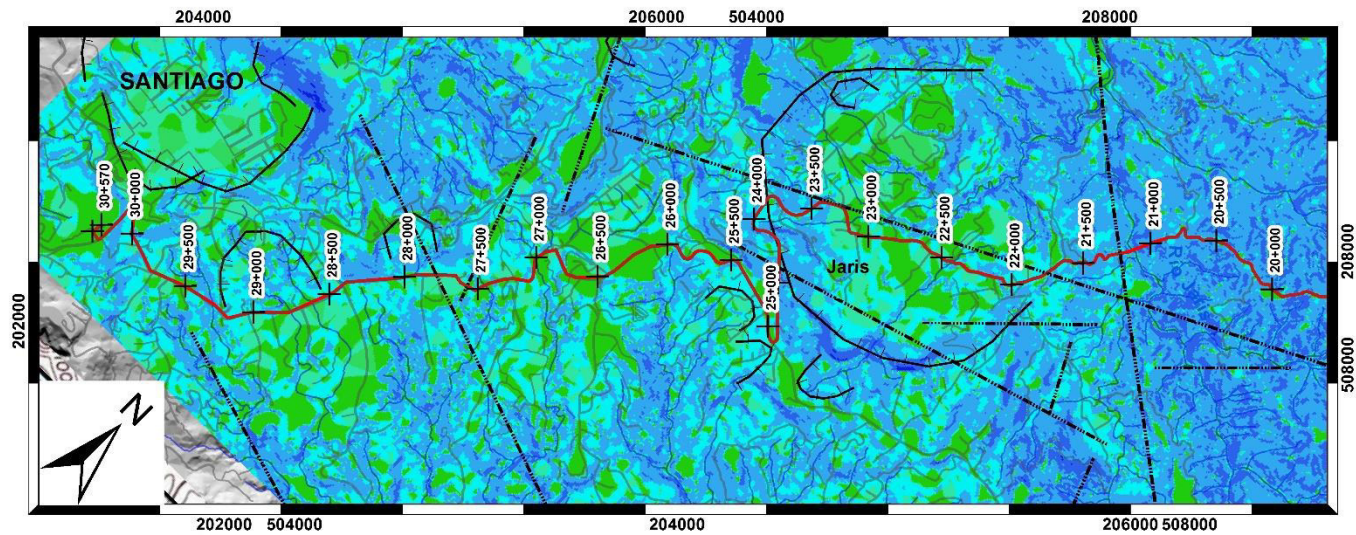
- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- ⊗ Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad del relieve (pendientes %) Sp

Value

- 0-2 %
- 2-7%
- 7-15%
- 15-30%
- 30-70%
- 70-140%
- >140%

Figura N° 6 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 10+000 a 20+000

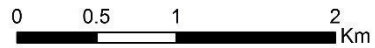


Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad del relieve 20+000 a 30+570

Sp(Base curvas 1 50 PRCR)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esteroide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad del relieve (pendientes %) Sp

Value

- 0-2 %
- 2-7%
- 7-15%
- 15-30%
- 30-70%
- 70-140%
- >140%

Figura N° 7 Mapa de susceptibilidad de pendientes (Sp) estacionamiento 20+000 a 30+570

3.2 Susceptibilidad litológica (SI)

Este parámetro corresponde con las propiedades intrínsecas de cada tipo de litología incluyendo sus propiedades geomecánicas. Para el área de estudio se clasificaron las diferentes litologías en tres grandes grupos:

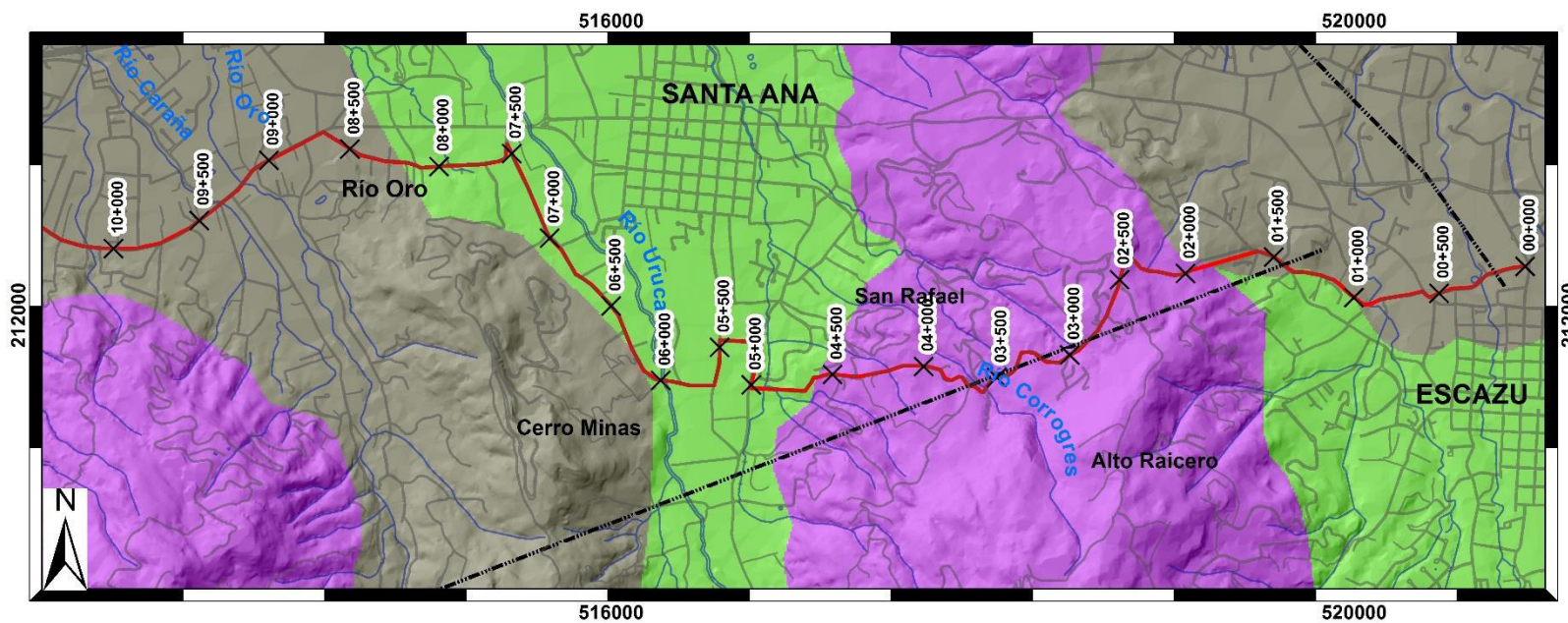
- Roca de muy buena calidad
- Roca de buena calidad
- Roca de pobre calidad

Esta clasificación se realizó con base en la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en afloramientos de campo considerando:

- RQD medido a partir de afloramientos de campo utilizando las correlaciones establecidas por Palmstrom (2005)
- Caracterización de discontinuidades con base en la clasificación geomecánica del RMR modificada por Romana (2001)
- Resistencia de la roca a partir de los parámetros establecidos en el RMR y los criterios mencionados por la ISRM (1981)
- Condiciones hidrogeológicas. A partir de las observaciones de campo considerando los niveles de desplante de las diferentes obras.

En el apartado 4 se presenta detalles de la caracterización geomecánica realizada para los macizos rocosos. De igual manera la clasificación fue verificada con base en los análisis realizados del comportamiento de los macizos ante procesos de inestabilidad.

Las figuras N° 8, 9 y 10 corresponden con los mapas que muestra la distribución del parámetro susceptibilidad litológica.



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad litológica 0+000 a 10+000

SI(Base: Levantamiento de campo)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



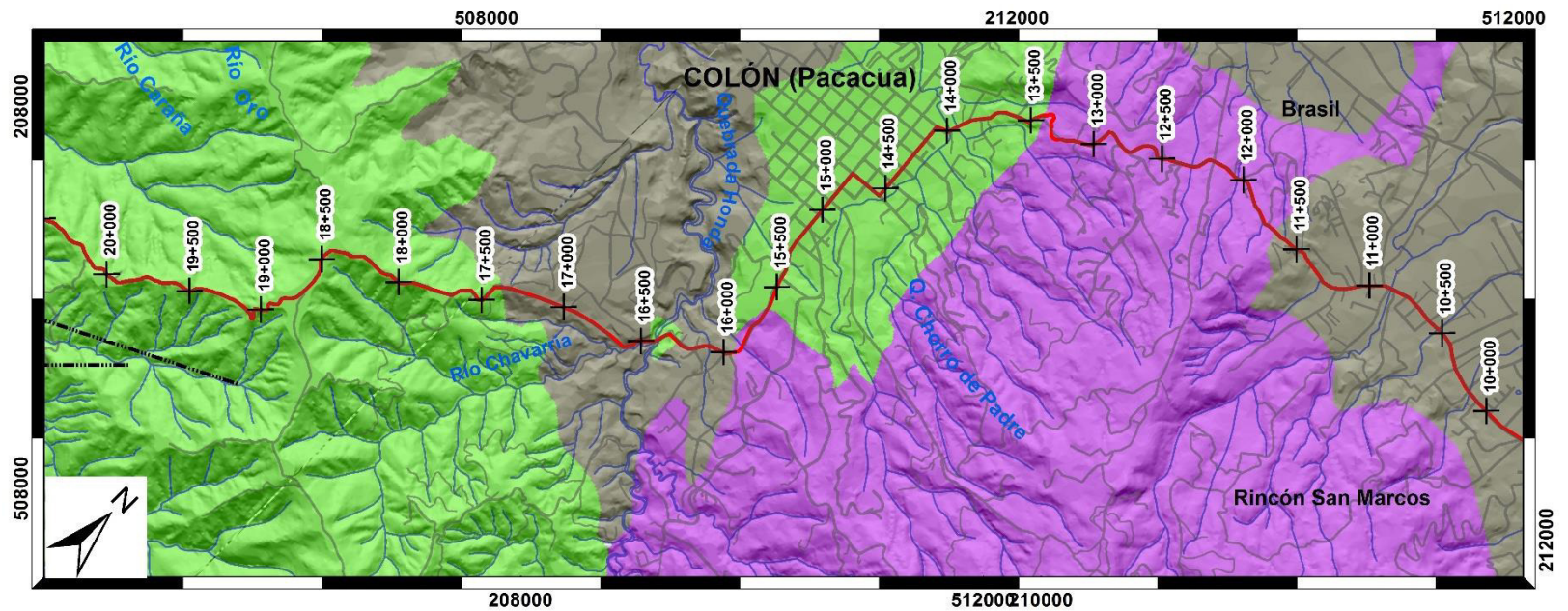
LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad litológica (SI)

- Roca de muy buena calidad
- Roca de buena calidad
- Roca de pobre calidad

Figura N° 8 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 0+000 a 10+000

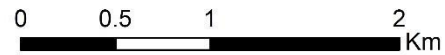


Instituto Costarricense de
 Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental
 Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad litológica 10+000 a 20+000

SI(Base: Levantamiento de campo)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
 Proyección Ocotepaque Lambert Norte
 Datum Ocotepaque 1935
 Esferoide de Clarke 1866



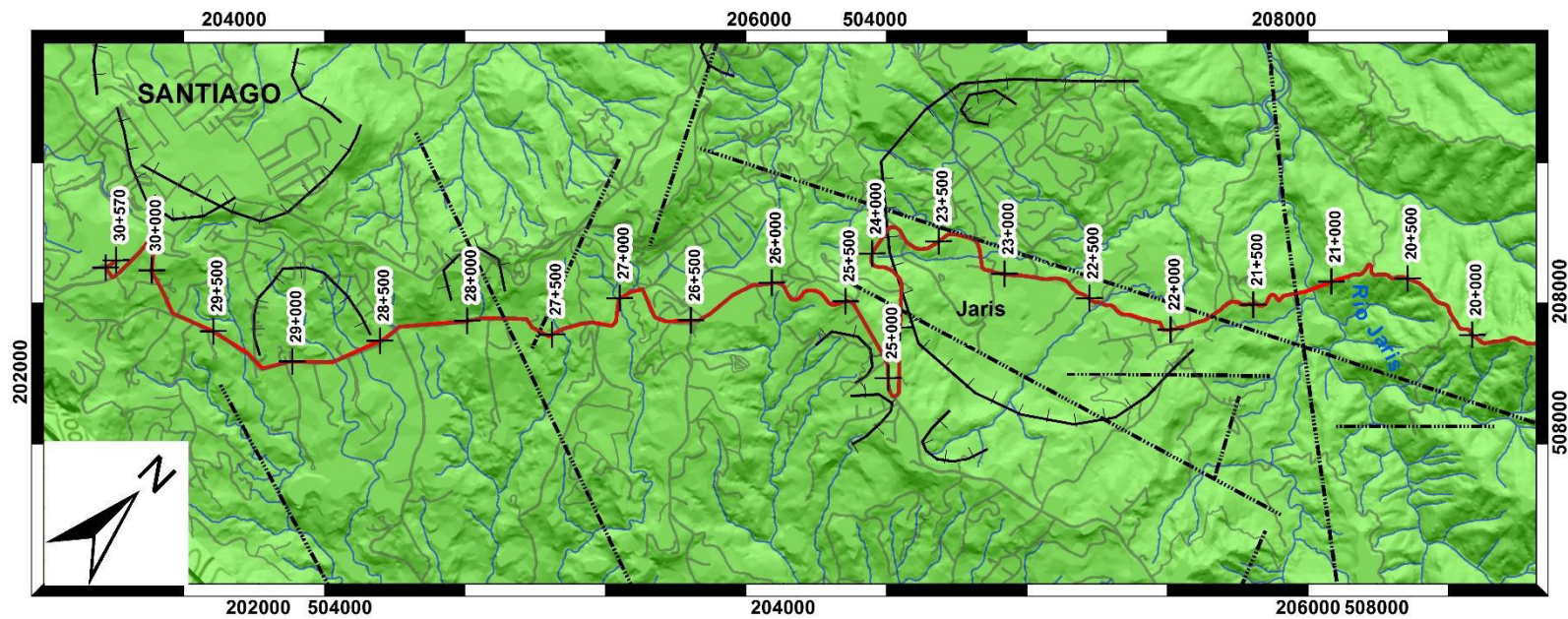
LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad litológica (SI)

- Roca de muy buena calidad
- Roca de buena calidad
- Roca de pobre calidad

Figura N° 9 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 10+000 a 20+000

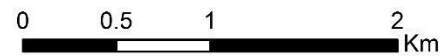


Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad litológica 20+000 a 30+570

SI(Base: Levantamiento de campo)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocoetepeque Lambert Norte
Datum Ocoetepeque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad litológica (SI)

- Roca de muy buena calidad
- Roca de buena calidad
- Roca de pobre calidad

Figura N° 10 Mapa de susceptibilidad litológica (SI) estacionamiento 20+000 a 30+570

3.3 Susceptibilidad derivada de la humedad (Sh)

A partir de la información suministrada por el área funcional de estudios básicos de la UEN Gestión Ambiental, fue posible analizar la precipitación promedio mensual de las estaciones Cedral y Bocana. En la tabla N°2 y 3 se presentan las precipitaciones medias obtenidas de la estación Cedral y Bocana respectivamente desde diciembre del 2014 hasta marzo del 2018

Tabla N° 2 Precipitación media mensual (mm) estación Cedral localizada en Acosta, San José (Coordenadas CRTM 484899/1086008). (Tomado de Área Funcional Estudios Básicos, Sagot (2018))

| Mes | Precipitación media mensual (mm) |
|------------|----------------------------------|
| enero | 37.77 |
| febrero | 53.93 |
| marzo | 49.23 |
| abril | 123.53 |
| mayo | 255.03 |
| junio | 228.40 |
| julio | 143.97 |
| agosto | 156.77 |
| septiembre | 354.83 |
| octubre | 466.70 |
| noviembre | 199.77 |
| diciembre | 37.38 |

Tabla N° 3 Precipitación media mensual (mm) estación Bocana localizada en Puriscal, San José (Coordenadas CRTM 460252/1080233). (Tomado de Área Funcional Estudios Básicos, Sagot (2018))

| Mes | Precipitación media mensual (mm) |
|------------|----------------------------------|
| enero | 15.80 |
| febrero | 27.20 |
| marzo | 29.90 |
| abril | 146.53 |
| mayo | 292.10 |
| junio | 246.73 |
| julio | 204.70 |
| agosto | 151.63 |
| septiembre | 273.33 |
| octubre | 488.27 |
| noviembre | 168.03 |
| diciembre | 90.88 |

A partir de esta información y con base en la tabla N°4 y 5 (Mora et.al., 1992), se asignó la valoración del parámetro humedad del terreno.

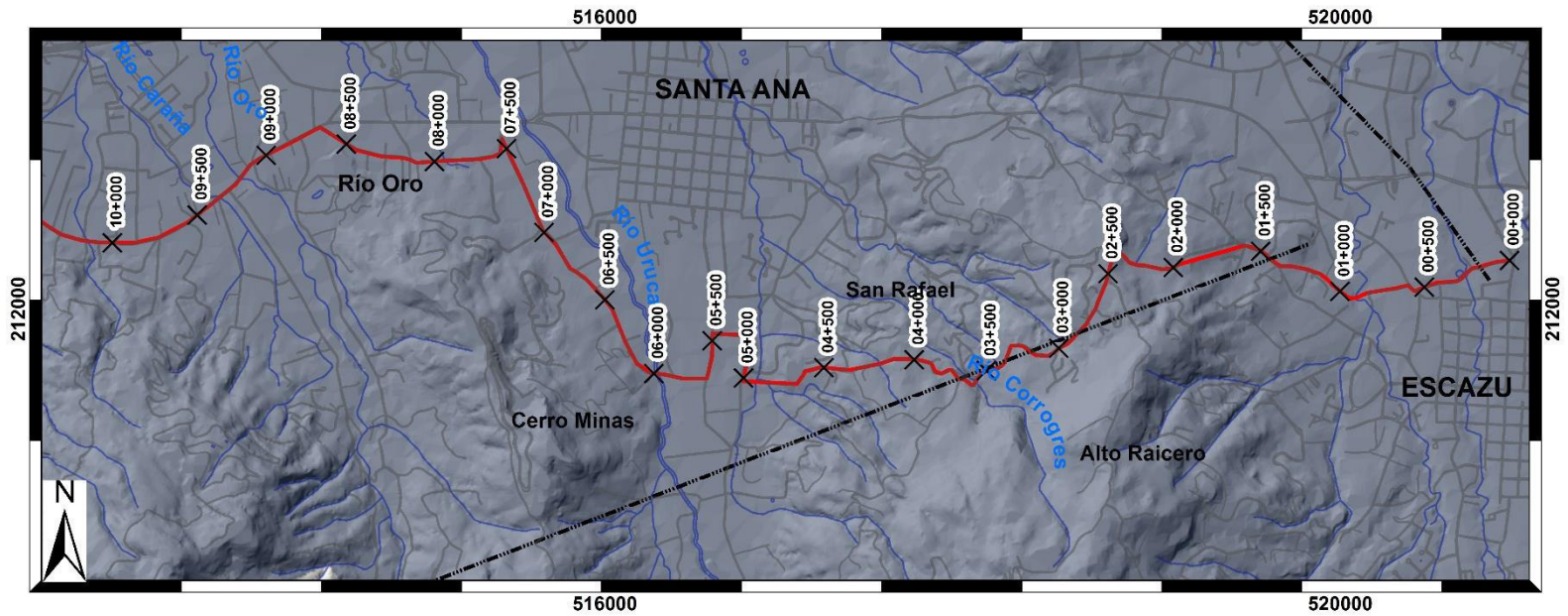
Tabla N° 4 Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia (Mora et. al., 1992)

| Promedio de precipitación mensual (mm) | Valor asignado |
|--|----------------|
| <125 | 0 |
| 125-250 | 1 |
| >250 | 2 |

Tabla N° 5 Valoración del parámetro humedad del terreno (Sh) (Mora et. al., 1992)

| Suma de valores asignados a cada mes | Descripción | Valoración del parámetro Sh |
|--------------------------------------|-------------|-----------------------------|
| 0-4 | Muy bajo | 1 |
| 5-9 | Bajo | 2 |
| 10-14 | Medio | 3 |
| 15-19 | Alto | 4 |
| 20-24 | Muy alto | 5 |

Las figuras N°11, 12 y 13 corresponden con los mapas de susceptibilidad derivada de la humedad. En general se obtiene para la toda ruta un único valor correspondiente a la categoría MEDIO.

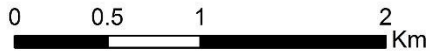


Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad humedad del terreno 0+000 a 10+000

SI (Base: Estación Cedral y Bocanaa, Área Funcional de Estudios Básicos)

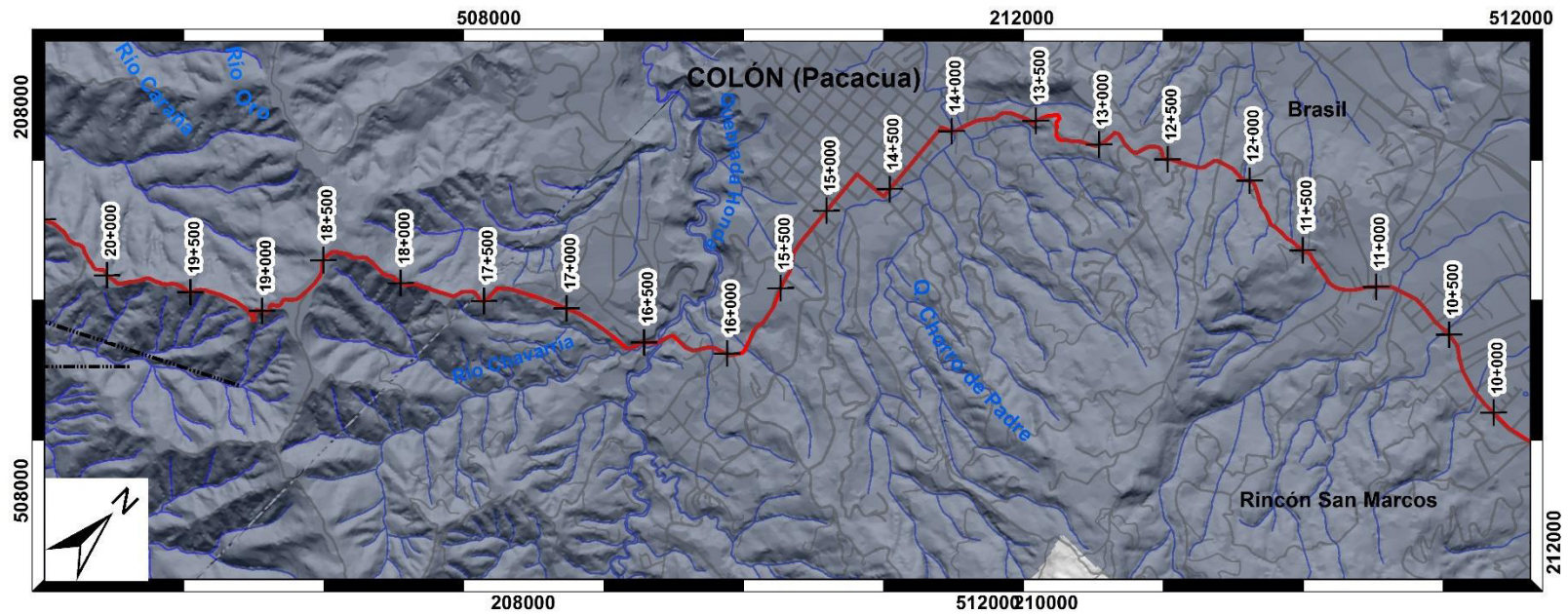
Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
 - Calles
 - × Estacionamiento
 - Estructuras Geológicas
 - Ríos
- Humedad del terreno (Sh)**
- Medio

Figura N° 11 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 0+000 a 10+000.



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
 - Calles
 - × Estacionamiento
 - Estructuras Geológicas
 - Ríos
- Humedad del terreno (Sh)**
- Medio

Susceptibilidad humedad del terreno 10+000 a 20+000

SI (Base: Estación Cedral y Bocanaa, Área Funcional de Estudios Básicos)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866

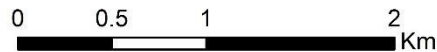
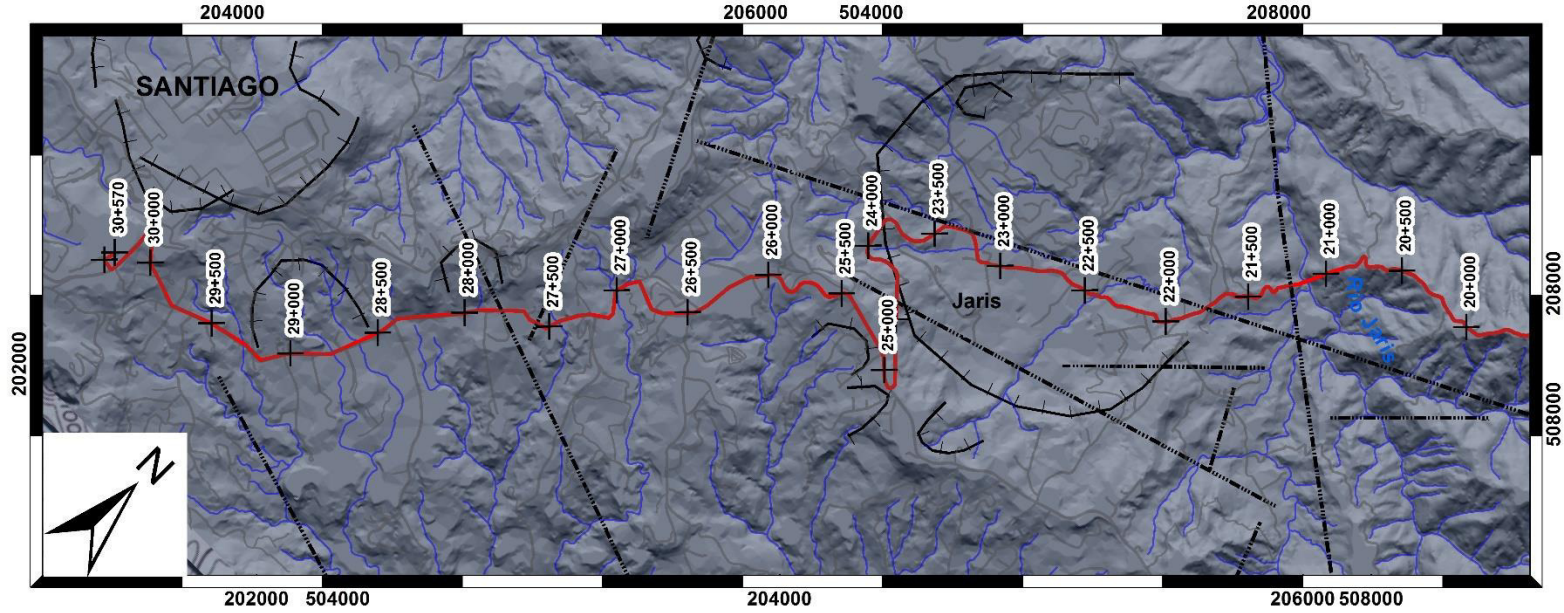


Figura N° 12 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 10+000 a 20+000.

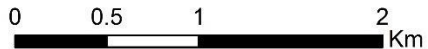


Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad humedad del terreno 20+000 a 30+570

SI (Base: Estación Cedral y Bocanaa, Área Funcional de Estudios Básicos)

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Humedad del terreno (Sh)

Medio

Figura N° 13 Mapa de susceptibilidad derivada de la humedad (Sh) estacionamiento 20+000 a 30+570.

3.4 Susceptibilidad intrínseca del terreno (combinación de Sp, Sh y SI)

La multiplicación de la combinación ponderada de los valores paramétricos de la susceptibilidad litológica (SI), la susceptibilidad del relieve (Sp) y la susceptibilidad derivada de la humedad (Sh), permite analizar las condiciones de la susceptibilidad intrínseca general de las laderas por las que pasa la tubería de conducción del proyecto.

El procedimiento se realizó por medio de la aplicación de la superposición de las capas respectivas dentro del sistema de información geográfica. El producto logrado es un mapa final, donde los valores obtenidos se reclasificaron de acuerdo con la tabla N°6 en cinco rangos de variación desde muy bajo hasta elevado.

Tabla N° 6 Rangos del factor de la susceptibilidad intrínseca a la inestabilidad de laderas en la ruta de la tubería del Proyecto Mejoramiento del Acueducto de Santiago de Puriscal.

| Rangos de la Susceptibilidad (Sp*SI*Sh) | Calificación de la Susceptibilidad |
|---|------------------------------------|
| 0-6 | Muy bajo |
| 6-15 | Bajo |
| 15-24 | Mediano |
| 24-36 | Elevado |
| >36 | Muy elevado |

Las figuras N°14, 15 y 16 corresponden con los mapas de susceptibilidad obtenidos.

Para los primeros 10 km (Figura N°14) se observa que los valores de susceptibilidad son del orden bajo, muy bajo hasta mediano, con sectores muy puntuales como el estacionamiento 08+000 en donde se presentan susceptibilidades del rango elevado asociado principalmente a la potencial presencia de depósitos coluvio-aluviales en zonas de mayor pendiente.

El tramo comprendido entre los kilómetros 10 y 13. (Figura N°15) continúa presentando valores de susceptibilidad del orden bajo, muy bajo hasta mediano. En el estacionamiento 13+500 se presentan susceptibilidades elevadas asociados a un posible cambio litológico (areniscas fuertemente fracturadas) y por ende un cambio geomecánico en la calidad del macizo rocoso.

Particularmente en las cercanías del estacionamiento 16+500 en el cruce de la tubería con la Quebrada Honda (Figura N°15) se presentan susceptibilidades elevadas a muy elevadas asociadas con la presencia de depósitos de origen coluvio-aluvial, los cuales son más susceptibles a la inestabilidad.

A partir del estacionamiento 17+500 (Figura N°15) hasta el estacionamiento 21+000 la susceptibilidad al deslizamiento de las laderas es muy elevado asociado principalmente a macizo rocosos compuestos por areniscas muy fracturados y meteorizados y a la presencia de altas pendientes. Sin embargo, el

camino por el que se pretende construir la tubería se alinea en muchos sectores por la divisoría de agua del sector montañoso siendo esta condición favorable en donde podemos visualizar pequeños “parches” de bajas susceptibilidades. Durante el levantamiento de campo en este sector no se observaron grandes movimientos de masas, las posibles inestabilidades se pueden asociar principalmente a movimientos muy superficiales y a la movilización únicamente de las capas de suelo y roca superficial, en el apartado 4 se detallará más sobre las condiciones de este sector.

A partir de la estación 21+000 hasta la estación 30+570 las susceptibilidades varían desde muy bajas asociados a zonas planas hasta muy elevadas en las zonas de mayor pendiente. Particularmente para este sector (Santiago de Puriscal y alrededores) se han identificado en muchos estudios la presencia de grandes movimientos en masas, por lo que aquellas zonas en las cuales la metodología aplicada refleja valores de baja susceptibilidad deben analizarse en detalle por que podrían estar asociado a morfologías típicas (zonas planas-onduladas) de depósitos de deslizamientos. Este caso particularmente se evidencia entre los estacionamientos 22+000 y 23+500 en donde el mapa muestra susceptibilidades bajas asociadas a un sector plano que corresponden al depósito de un gran movimiento en masa. Dada estas consideraciones el mapa de susceptibilidad de la figura N°16 debe ser analizado considerando el inventario de deslizamientos presente en la misma figura.

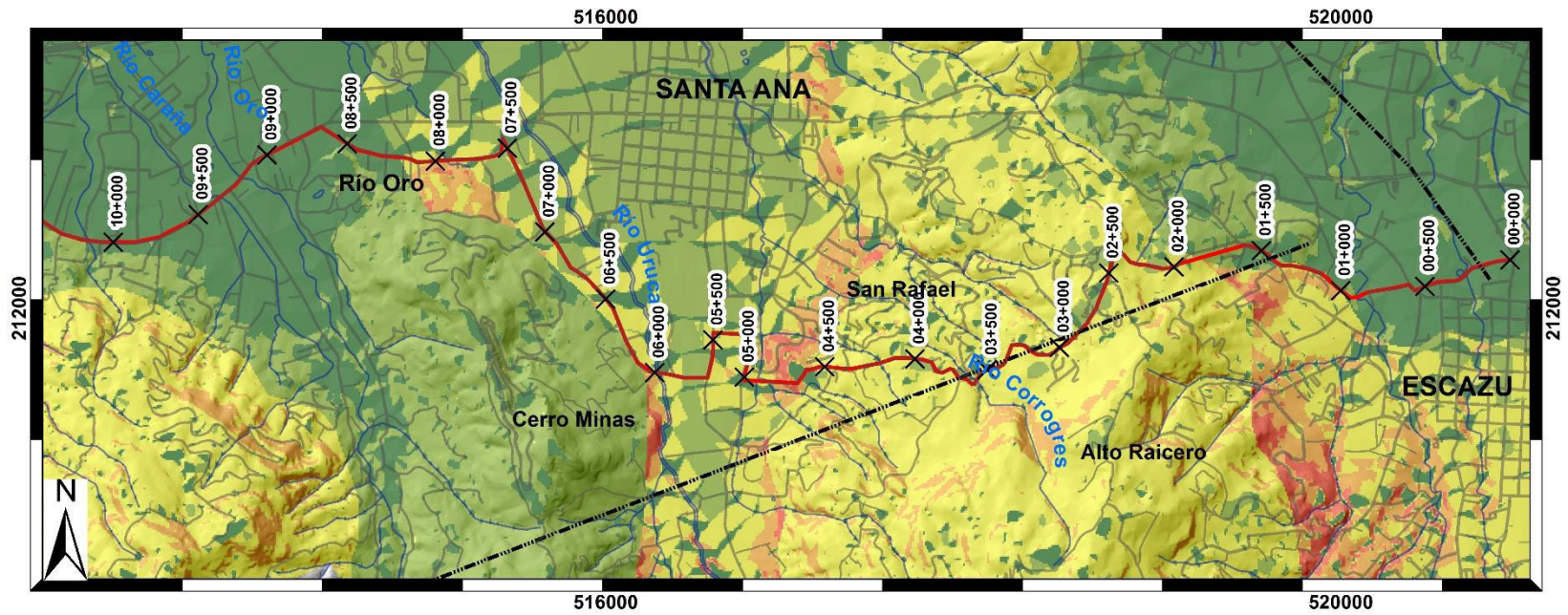


Figura N° 14 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 0+000 a 10+000.

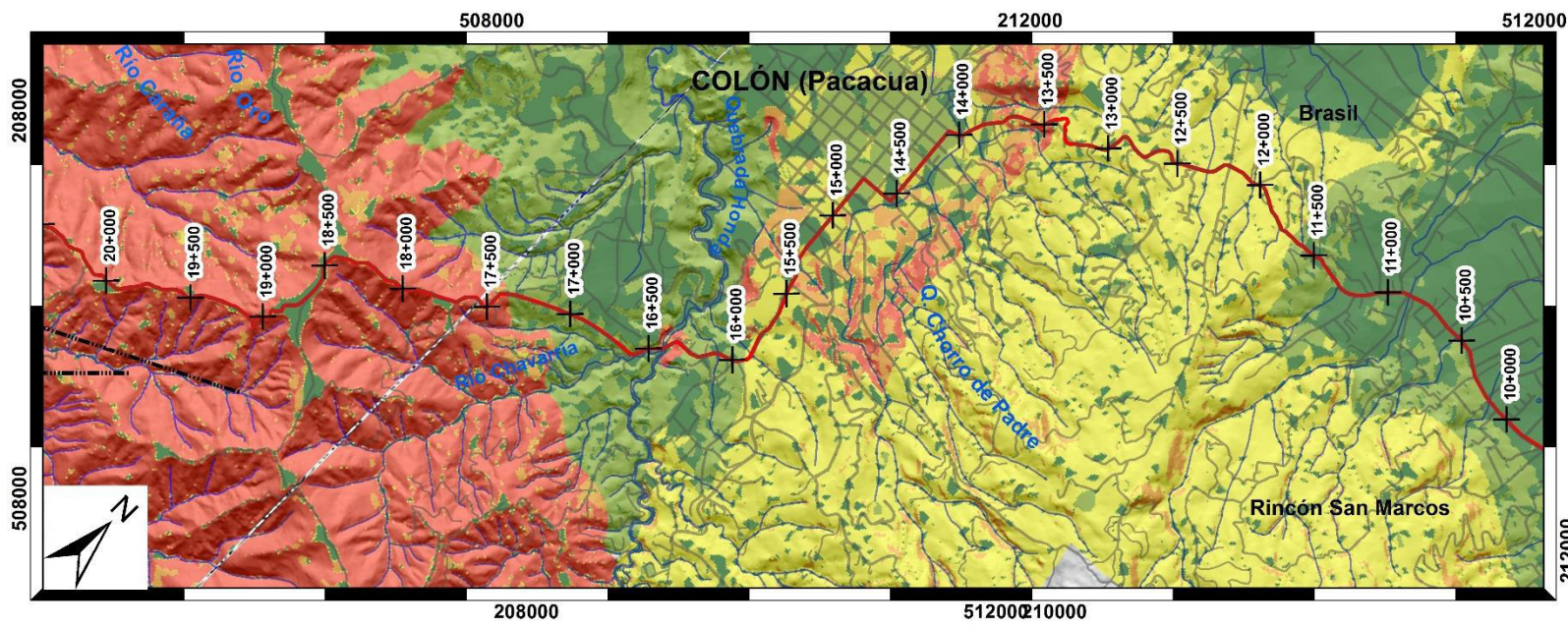
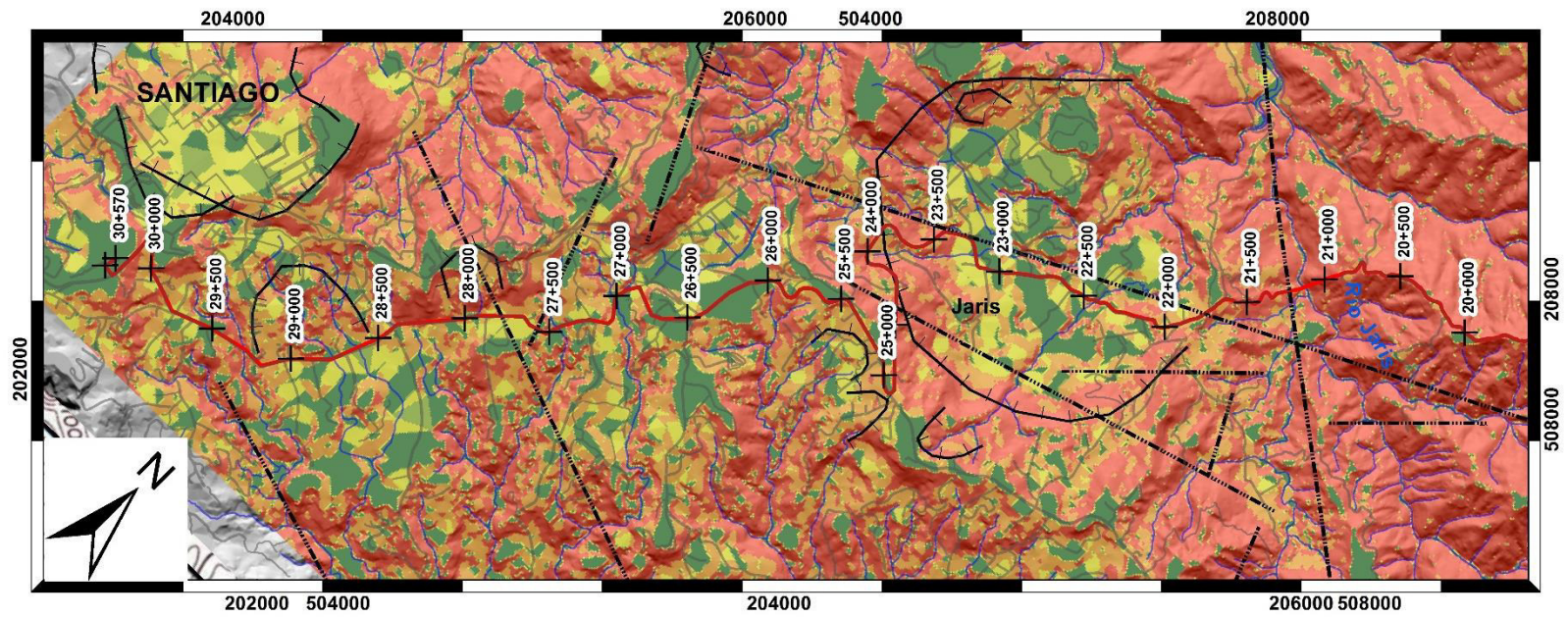


Figura N° 15 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 10+000 a 20+000.



Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología

Susceptibilidad Intrínseca del terreno 20+000 a 30+570

$$SUSC = Sp * SI * Sh$$

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocotepaque Lambert Norte
Datum Ocotepaque 1935
Esferoide de Clarke 1866



LEYENDA

- Ruta (UEN PyC, 2018)
- Calles
- × Estacionamiento
- Estructuras Geológicas
- Ríos

Susceptibilidad Intrínseca del terreno

- Muy bajo
- Bajo
- Mediano
- Elevado
- Muy Elevado

Figura N° 16 Mapa de susceptibilidad intrínseca del terreno estacionamiento 20+000 a 30+570.

4. CONDICIONES GEOLÓGICAS-GEOMECÁNICAS DE SECTORES DE INTERÉS.

Durante la evaluación de la ruta se analizaron los sectores que se consideran de mayor importancia y que pueden orientar y aportar en los trabajos posteriores de investigación y diseño. La Figura N°17 presenta la ubicación de los sitios analizados.

A continuación se describen los sitios analizados, no se descarta que durante el proceso de diseño y construcción una vez se tengan definidas la ubicación de obras específicas (por ejemplo bloques de anclaje) se requiera realizar revisiones más detalladas.

4.1 Pasos de Ríos-Quebradas Afluyente Río Agres.

En el cauce del primer afluyente se presenta material aluvional (Fotografía N° 5), sin embargo en las inmediaciones del sitio se presentan afloramientos de ignimbritas masivas de buena condición geomecánica. Se recomienda que la cimentación de los bastiones o bloques del futuro puente se realice sobre el macizo rocoso volcánico y no sobre los materiales aluviales, los cuales son más susceptibles a los procesos de socavación y erosión. La capacidad de soporte del medio deberá de calcularse mediante técnicas y metodologías para macizos rocosos. La clasificación geomecánica determinada con base en el RMR es de roca clase buena-muy buena(IIA). El detalle de la clasificación se presenta en la Tabla N°7

En el segundo cauce aflora el macizo rocoso volcánico por lo que no se vislumbre mayores problemas para cimentación de bloques o en su defecto excavación de trinchera. (Fotografía N°6)



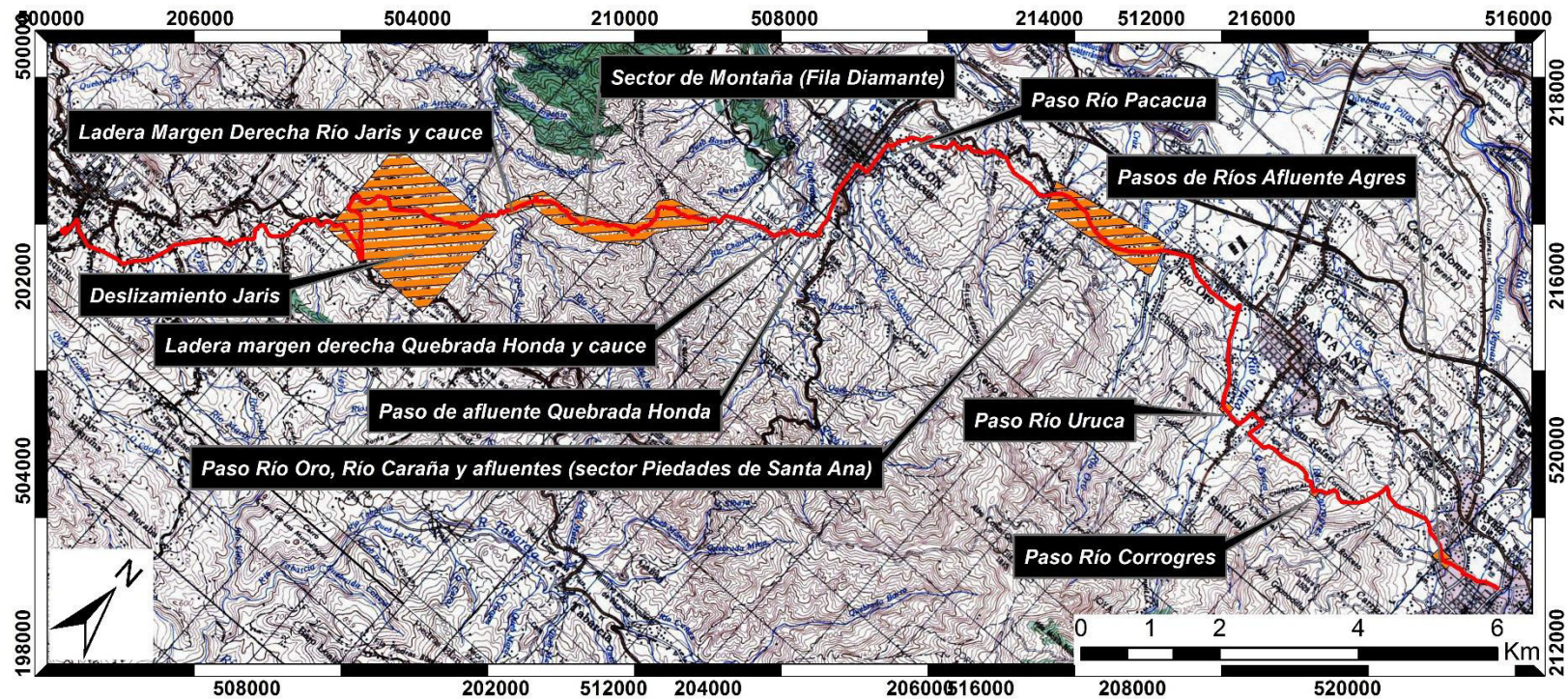
Fotografía N° 5 Paso de río afluyente Río Agres norte 212095/520098.



Fotografía N° 6 Ignimbrita masiva de buena calidad geomecánica aflorando en el segundo cauce las coordenadas lambert norte 212176/519944.

Tabla N° 7 Detalle de clasificación geomecánica para macizo rocoso conformado por roca volcánica ignimbrita. Parámetros estimados de manera cualitativa.

| Parámetro | Rango de valor escogido | Valoración |
|----------------------------------|--|------------|
| Compresión inconfiada de la roca | 100-250 (MPa) | 12 |
| RQD | 75-90 | 17 |
| Separación de discontinuidades | 0.2-0.6m | 10 |
| Condición de la discontinuidad | Persistencia (1-3m) Apertura (<0.1 mm) Rugosidad (Rugosa). Relleno (Duro<5 mm) Alteración (Ligeramente alterada) | 23 |
| Agua Subterránea | Seco | 15 |
| Puntaje: 77 Clase: IIA | | |



**Instituto Costarricense de
Acueductos y Alcantarillados
UEN Gestión Ambiental
Área Funcional de Hidrogeología**

Leyenda

- Ruta
- Sectores de Interés

Hoja Cartográfica Abra & Río Grande I.G.N.C.R 1:50000
Proyección Ocatepeque Lambert Norte
Datum Ocatepeque 1935
Esferoide de Clarke 1866

Figura N° 17 Sitios de interés analizados con mayor detalle.

4.2 Paso Río Corrogres.

El camino actualmente presenta un paso mediante alcantarilla sobre el río, los cabezotes de protección de la alcantarilla se encuentran en buen estado por lo que se considera adecuado la colocación de la tubería ya sea por encima o por debajo de la alcantarilla según lo conversado en campo con los ingenieros de la UEN PyC (Fotografía N°7). Actualmente se presenta una erosión del relleno interno entre la alcantarilla y el cabezote, razón por la cual se deberá de tomar las medidas respectivas para evitar que esto suceda con el paso de la tubería.



Fotografía N° 7 Paso de Río Corrogres. Coordnadas Lambert Norte (211608/518009)

4.3 Paso Río Uruca.

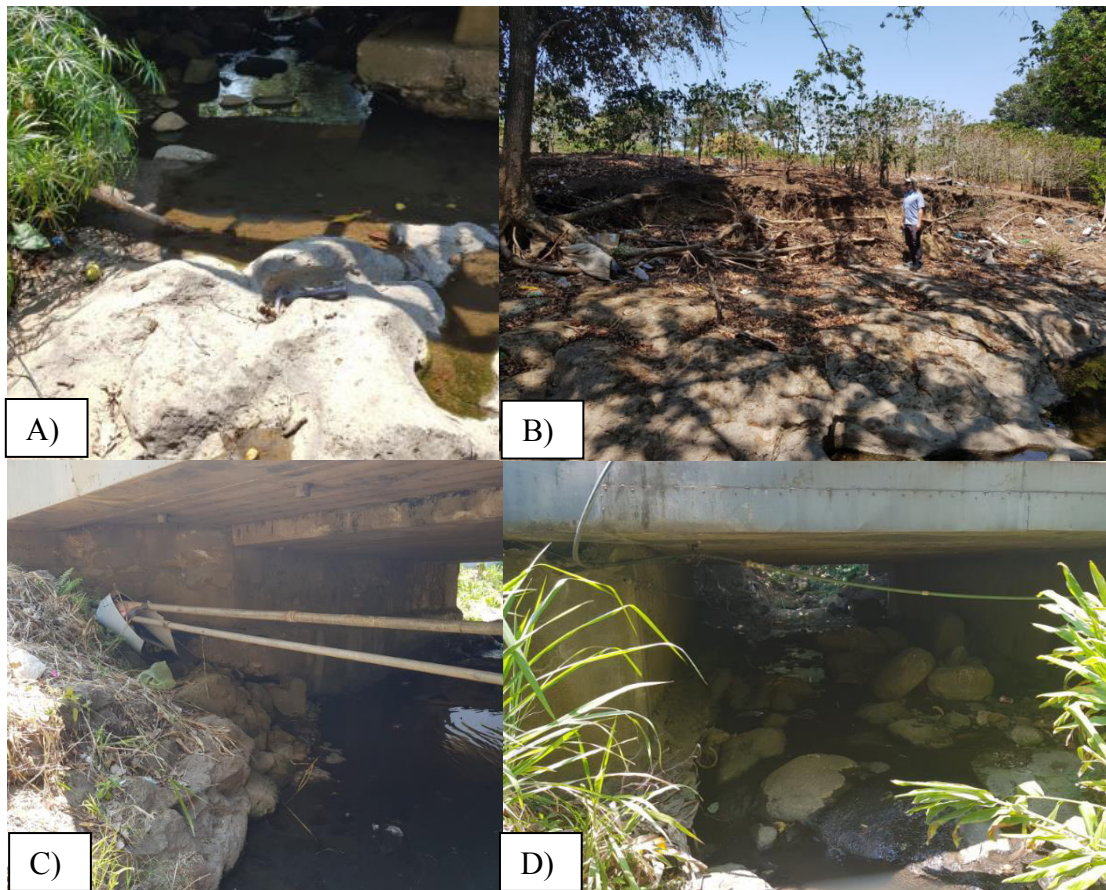
Presencia de materiales aluviales en el cauce y zonas aledaña al río, por las condiciones geomorfológicas y las evidencias de campo no se observa de manera somera la presencia de un macizo rocoso. Esta condición obliga a la cimentación de los bloques o bastiones del futuro puente en material aluvional. Estos bloques deben de construirse dentro del área de los rellenos de aproximación del puente carretero y/o bastiones para garantizar la protección de los mismos ante procesos de erosión del río. Los bastiones del puente carretero presentan rellenos de protección antes los procesos de socavación los cuales servirán de protección para la obra a construir. (Fotografía N°8) De ser posible reforzar los rellenos de protección actuales.



Fotografía N° 8 Vista de paso de Río Uruca desde margen derecha. Nótese la estructura de protección de los bastiones del puente y la socavación de la misma. Coordenadas Lambert Norte (211608/518009)

4.4 Paso Río Oro, Río Caraña y afluentes de río Caraña. (sector Piedades de Santa Ana)

De manera general para los tres pasos inspeccionados (Fotografía N°9) se presenta aflorando el macizo rocoso conformado por la ignimbrita el cual presenta las mismas características geomecánicas de la descrita en la Tabla N°5 clasificando como un macizo de calidad buena (IIA). De igual manera se presentan espesores variables entre 1-2 m de suelos y materiales aluviales. Se recomienda cimentar las estructuras (bastiones o bloques) en el macizo rocoso para evitar problemas de socavación. No se vislumbra mecanismo de falla del macizo asociado a discontinuidades que puedan afectar las cimentaciones. La capacidad del soporte deberá definirse para el macizo rocoso.



Fotografía N° 9. A) Paso Río Oro. Nótese el macizo rocoso aflorando a nivel de cauce. B) Sector Aguas Abajo de Río Oro. Nótese el espesor de suelo sobreyaciendo la ignimbrita. C) Paso Río Caraña. Nótese los bastiones del puente carretero cimentados en el macizo. D) Paso afluente de río Caraña. Nótese la presencia del macizo rocoso aflorando a nivel de cauce.

4.5 Paso Río Pacacua.

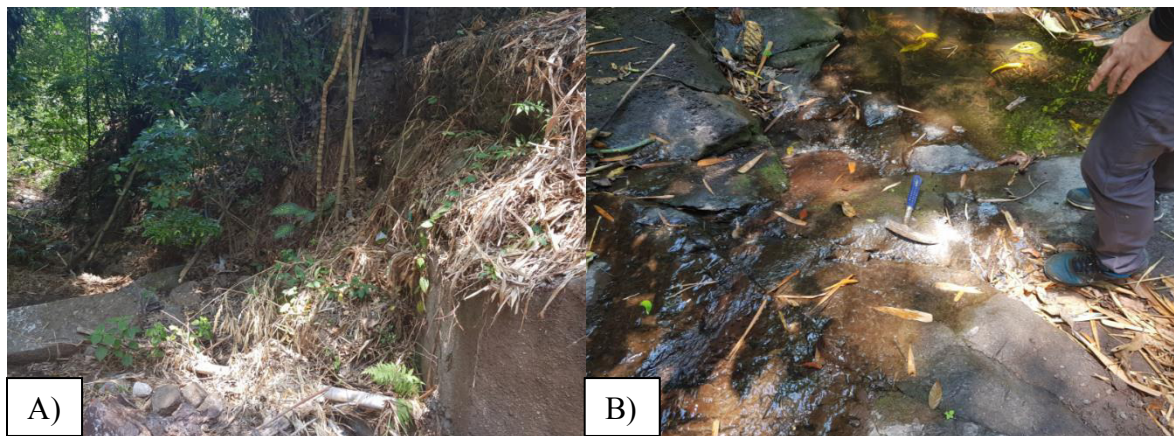
Presencia de aluvión grueso con bloques de 1 a 2 m de diámetro. Bastión de puente carretero con ciclópeo de protección. No se observa aflorando el macizo rocoso. La construcción del nuevo puente deberá de realizarse en del depósito aluvial ya que por sus dimensiones no es rentable hacer una excavación profunda para buscar el macizo rocoso. Se debe de tener las precauciones durante el diseño y establecer medidas de protección para evitar la socavación de la cimentación, tal como las presenta el puente carretero. (ciclópeo de protección). (Fotografía N°10)



Fotografía N° 10. Vista de bastión de margen derecha de puente carretero sobre el Río Pacacua. Nótese el ciclópeo de protección medida que deberá de ser considerada para proteger los cimientos del nuevo puente.

4.6 Paso de afluente Quebrada Honda.

Paso de quebrada por medio de alcantarilla. Se nota un importante grado de erosión y socavación de las laderas aguas debajo de la alcantarilla. La construcción de las nuevas estructuras deberá de realizarse en el sector de agua arriba de la alcantarilla. Presencia de brecha volcániclastica intercalada con niveles de areniscas de tonalidad moradas el cual clasifica como una roca tipo buena-media (IIB) (Tabla N°8). Se recomienda la cimentación de las nuevas obras directamente sobre este macizo.



Fotografía N° 11. A) Socavación aguas abajo de alcantarilla. B) Brecha volcániclastica aflorando en cauce de quebrada.

Tabla N° 8 Detalle de clasificación geomecánica para macizo rocoso conformado por roca volcánica ignimbrita. Parámetros estimados de manera cualitativa.

| Parámetro | Rango de valor escogido | Valoración |
|-----------------------------------|--|------------|
| Compresión inconfínada de la roca | 50-100 (MPa) | 7 |
| RQD | 50-75 | 13 |
| Separación de discontinuidades | 0.2-0.6m | 10 |
| Condición de la discontinuidad | Persistencia (1-3m) Apertura (<0.1 mm) Rugosidad (Ligeramente Rugosa). Relleno (Duro<5 mm) Alteración (Ligeramente alterada) | 20 |
| Agua Subterránea | Seco | 15 |
| Puntaje: 65 Clase: IIB | | |

4.7 Ladera margen derecha Quebrada Honda y paso de Quebrada Honda.

La margen derecha de la quebrada Honda corresponde con un depósito coluvio-aluvial el cual podría generar inestabilidades durante la construcción y operación del proyecto, se recomienda evaluar la estabilidad de está ladera. (Fotografía N°12).

El cauce de la Quebrada Honda está caracterizado por la presencia de material aluvional, por las condiciones geológicas identificadas el espesor de este material es importante por lo que la nueva estructura deberá de cimentarse sobre estos depósitos. Actualmente el puente carretero ha sufrido procesos de socavación razón por lo que la nueva estructura deberá ser diseñada considerando estructuras de protección para evitar un comportamiento similar.



Fotografía N° 12. Vista de ladera de margen derecha de Quebrada Honda.

4.8 Sector de Montaña (Fila Diamante)

Este sector está conformado por intercalaciones de arenisca y lutitas fuertemente fracturadas y meteorizadas con una dirección preferencial de buzamiento hacia NE. Se identificaron zonas inestables asociadas principalmente a deslizamientos superficiales en pendientes muy altas en donde se da una remoción principalmente de la capa superficial. En aquellos sectores en donde el camino realiza un corte de ladera las condiciones son estables, por el contrario en otros sectores se evidencia inestabilidades superficiales aledañas al camino (Fotografía N°13). No se identificó ningún proceso de remoción en masa grande por lo que es factible el paso de la tubería por esta zona.

En etapas de diseño final y construcción será necesario evaluar las condiciones geológicas-geotécnicas de los sitios de construcción de los bloques de anclaje. Preliminarmente considerando que cualquier movimiento en masa de mayor tamaño pueda ocurrir como una falla planar a través de la junta principal del macizo rocoso (dirección de buzamiento), se presenta en la figura 18 un análisis de admisibilidad cinemática en donde cualquier ladera o corte producto de excavación con una orientación NE puede ser susceptible a fallar de forma planar, no se descarta la presencia de fallas por cuña por lo que en etapas posteriores es necesario realizar estos análisis en mayor detalle.



Fotografía N° 13. Inestabilidad superficial a orilla de camino.

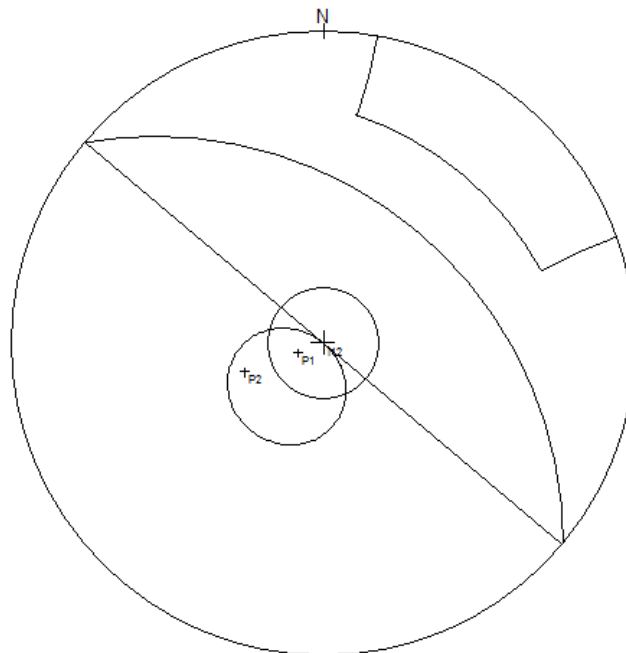


Figura N° 18 Análisis de admisibilidad cinemática considerando la junta principal con una dirección de 070° y un ángulo variable entre 10 y 30° , para laderas o cortes de excavación con orientación preferencial NE. Ángulo de fricción 20° .

4.9 Ladera margen derecha Río Jaris y cauce Río Jaris.

La ruta actual de la tubería en este sector se considera adecuada, ya que no se identificaron inestabilidades importantes. La orientación de la ladera con respecto a la estructura observada del macizo rocoso es apropiada.

En el cauce del río Jaris se identificaron rocas sedimentarias de buena calidad geomecánica por lo que la cimentación de los bastiones del puente debe de realizarse en este macizo rocoso (Fotografía N° 14). Deberá de evaluarse la capacidad de soporte para el mismo y modos de falla asociados a falla planar o en cuña una vez definida las dimensiones y distribución de las obras.



Fotografía N° 14. Inestabilidad superficial a orilla de camino.

4.10 Deslizamiento Jaris

La presencia de un deslizamiento en la zona de Jaris de grandes dimensiones podría comprometer la operación del acueducto durante su vida útil. Dada esta condición y debido a que no se tiene información de estaciones de monitoreo topográfico que permitan definir tasas de movimiento y su comportamiento, se recomienda evaluar un cambio en la ruta tal como se muestra en la figura N° 19.

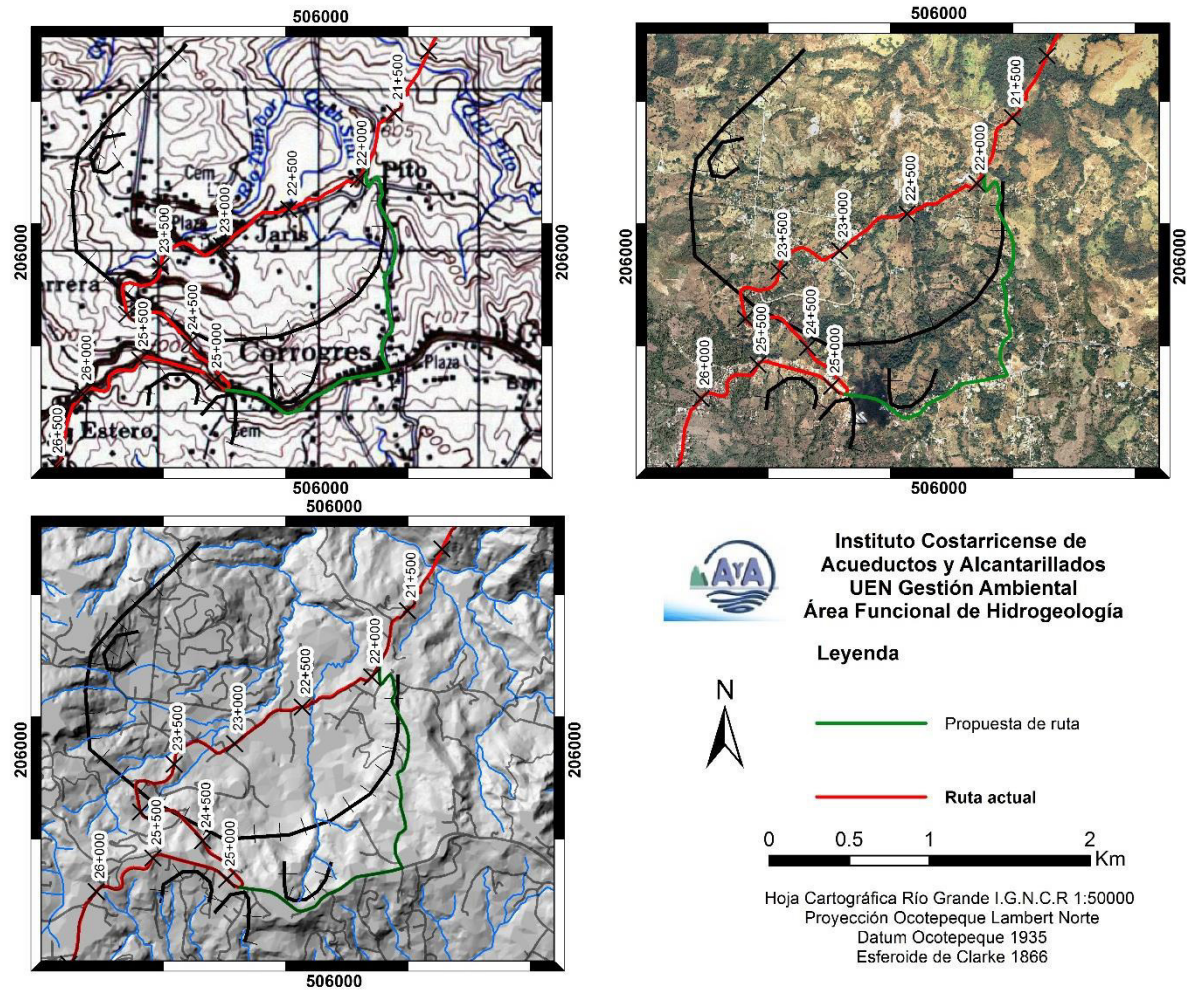


Figura N° 19 Propuesta de modificación de ruta entre estacionamientos 22+000 y 25+000. Base Hoja cartográfica, foto área y modelos de sombras

5. RECOMENDACIONES PARA ETAPAS POSTERIORES DE INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.

A partir de los principales resultados de la evaluación geológica se mencionan a continuación recomendaciones para las etapas posteriores de investigación, diseño y construcción con el objetivo principal de optimizar recursos y garantizar el éxito del proyecto.

5.1 Investigación geofísica

Dada a la poca presencia en gran parte de la ruta de grandes espesores de suelos, se recomienda utilizar técnicas geofísicas principalmente sísmicas para evaluar y caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales. De ser necesario obtener parámetros en aquellos pasos de ríos donde se encuentra aflorando el macizo rocoso de manera somera se recomienda realizar ensayos de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW). Donde se presentan espesores de aluvión importante como el caso del paso de la Quebrada Honda se recomienda la ejecución de ensayos de refracción sísmica para evaluar la profundidad del basamento y caracterizar el aluvión.

De utilizarse técnicas constructivas tales como la perforación horizontal dirigida, hincado de tubería (pipe Jacking) o microtúnel se recomienda realizar ensayos de refracción para obtener los parámetros de V_p y poder seleccionar de mejor manera el equipo a utilizar. De igual manera en aquellos sectores en los que el espesor de suelo es prácticamente nulo se recomienda realizar ensayos de control para conocer la ripabilidad del material particularmente en los sectores donde aflora la ignimbrita y el sector montañoso donde afloran las areniscas y lutitas.

5.2 Investigación Geotécnica.

No se recomienda la ejecución de perforaciones tipo SPT en los pasos de ríos en los que se presenta roca aflorando. La evaluación de la capacidad de soporte debe de realizarse mediante una adecuada caracterización del macizo rocoso, de ser necesario se pueden realizar extracción de núcleos del macizo para realizar ensayos de compresión simple o de tracción. Dada la magnitud de la obra se considera que con una adecuada caracterización del macizo mediante métodos indirectos es posible obtener resultados acordes a las necesidades de la obra.

A partir del estacionamiento 22+500 en lo que corresponde al sector de Santiago Puriscal se han registrado mayores espesores de suelos y de roca meteorizada por lo que la aplicación de la perforación tipo SPT podría ser más útil en estos sectores.

En los sectores con presencia de depósitos aluviales es preferible la investigación mediante trincheras y la recolección de muestras para su caracterización y/o la estimación de parámetros mediante ensayos in situ como el ensayo de veleta.

Métodos de exploración como el SDMT y el CPT suelen limitarse a suelos y rocas blandas por lo que la aplicabilidad de esta técnica podría darse principalmente en el sector de Santiago de Puriscal.

5.3 Aspectos constructivos

Las condiciones geológicas del sitio permiten la utilización de técnicas de excavación como la perforación horizontal dirigida, hincado de tubería y microtúnel. Se recomienda la valoración de estas técnicas en los primeros 15.5 km de la ruta en las zonas de mayor densidad urbana, con el objetivo de reducir PI de la tubería y darle una mayor rectitud a la ruta. Particularmente estas técnicas pueden utilizarse en la excavación de los depósitos de las ignimbritas con un equipo adecuado para la excavación roca dura. En el caso de la perforación horizontal dirigida (HDD) los sistemas maxi-HDD (perforación gran diámetro) y midi-HDD (perforación de mediano diámetro) permiten la colocación de revestimiento de acero. (Minguez, 2015)

Entre las ventajas de estas técnicas se destaca la poca afectación de vía pública y capacidad de pasar por debajo de infraestructura privada. De igual manera la tubería a colocar puede realizarse de concreto reforzado apoyada en el macizo rocoso distribuyendo los esfuerzos en el mismo de manera adecuada, para este último caso sería necesario la ejecución de ensayos de hidrogateo a la profundidad estimada de colocación del tubo para evaluar la capacidad del macizo rocoso.

5.4 Aspectos ambientales.

Los impactos ambientales de mayor envergadura que se visualizan durante la ejecución del proyecto corresponden a los del factor socio-económico. A pesar de que el análisis detallado de estos impactos debe de ser realizado por los profesionales en antropología y/o sociología se incluye dentro de la discusión de este informe ya que las causas y posibles medidas de mitigación y evitación obedecen a aspectos de diseño y constructivos.

El mayor impacto se asocia la intervención de vías públicas que se traduce en un congestionamiento vial y por ende en una afectación indirecta a las actividades económicas y socioculturales de los centro poblacionales. Debe de ser evaluado durante los estudios ambientales las pérdidas económicas que genera la intervención de vías públicas con el método de excavación tradicional (zanjas) contra posibles intervenciones subterráneas ya sea mediante perforación horizontal dirigida, microtúnel o hincado de tubería. Estos costos deben de reflejarse en los costos totales del proyecto previo a realizar una comparación presupuestaria entre métodos tradicionales y mecanizados de colocación de tubería.

09. CONCLUSIONES

A) Los primeros 17.5 km de la ruta de tubería de forma general no presentan una susceptibilidad intrínseca al deslizamiento elevada. Por el contrario de los 17.5 km hasta los 30.570 km la susceptibilidad es elevada.

B) No se identificaron deslizamientos de grandes dimensiones o que pueden comprometer la operación del acueducto en el sector de montaña (Fila Diamante) (kilómetro 17 a 21)

C) El trazo de la ruta actual por el sector de margen derecha del Río Jaris se considera adecuado y no se vislumbran mayores problemas en este sector para la construcción del acueducto.

C) Es necesario evaluar el tramo entre los 22 y 25 km por la presencia del deslizamiento de Jaris y considerar la propuesta de cambio de ruta de ese sector incluida en este informe.

D) La utilización de técnicas de excavación mecanizadas, principalmente el caso de la perforación horizontal dirigida de gran o mediano diámetro, mitigarían en gran medida uno de los principales impactos ambientales del proyecto.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 12: 1-59

ISRM, 1981: Rock characterization. Testing and monitoring. ISRM suggested methods. Brown, E. T. Ed. Commission on testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press.

MINGUEZ, F., 2015: Métodos de excavación sin zanjas.-82págs.-Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Tesis Master Universitario.

MORA, S., VAHRSON, G., 1992 Determinación “a priori” de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. Ier simposio internacional sobre sensores remotos y sistema de información geográfica (SIG) para el estudio de riesgos naturales, Bogota.

MORA, R., VAHRSON, W. & MORA, S., 1992: Mapa de Amenazas de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. Centro de coordinación de prevención de desastres naturales en América Central (CEPREDEMAC)

MORA R., CHAVES J. & VASQUEZ M., 2002: Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora, r., et al., 1992). III Curso Internacional sobre microzonificación y su

aplicación en la mitigación de desastres, Lima.

MORA, S., SABORIO M. & BARRIENTOS R., 2015: Inestabilidad de laderas: Indicadores de las amenazas, vulnerabilidad y riesgo en la Autopista Durango-Mazatlán. Consorcio AGIL-CREA-TGC-SEMIC-MAPA. Caminos y Puentes Federales; Secretaría de Comunicaciones y Transportes. República de México. Informe interno inédito. Setiembre; 2015. 115pp+22 planos.

PALMSTROM, A. (2005). Measurements of and correlations between block size and Rock Quality Designation (RQD). *Tunnels and Underground Space Technology* 20 (2005) p. 362-377

ROMANA, M. (2001). Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles. *Revista de Obras Públicas*, Marzo 2001, N°3408, pp. 17-28



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
San José, Costa Rica
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5000. josalar@aya.go.cr

MEMORANDO

PARA: Ing. Gerardo Rivas Rivas
Director Área Funcional de Diseño
UEN Programación y Control

FECHA: 9 marzo, 2018

COPIA

DE: 
Geól. Jorge Alejandro Salazar Chacón
Área Funcional Hidrogeología
UEN Gestión Ambiental

No. UEN-GA-2018-00657

ASUNTO: **EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO MEJORAMIENTO DEL ACUEDUCTO DE SANTIAGO DE PURISCAL: ABASTECIMIENTO A PARTIR DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO**

En atención a la solicitud realizada se hace entrega de la Evaluación geológica del proyecto mejoramiento del Acueducto de Santiago de Puriscal: abastecimiento a partir del acueducto metropolitano.




VB° MSc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección Área Funcional Hidrogeología
Dirección UEN Gestión Ambiental



C: Ing. Andrés Sáenz Vega, Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo
Ing. Saúl Trejos Bastos, Director UEN Programación y Control
Ing. Marco Alvarado Cordero UEN Programación y Control
Archivo Á.F. Hidrogeología (ci: 199)

