

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“EVALUACIÓN DE POTENCIALES DAÑOS DE LA TUBERÍA DE POLIDUCTO  
DESDE VICHE HASTA QUININDÉ: CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA  
IDENTIFICAR SITIOS CRÍTICOS Y PROPUESTAS DE VARIANTES”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEOS**

Presentado por:

Mayra Alejandra Gavilanes Bermeo

Félix Alberto Carrión Bravo

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2015

# AGRADECIMIENTO

Al creador de todas las cosas DIOS, por darme la vida a través de mis queridos PADRES quienes con mucho amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como: Hija, Madre y ahora Profesional

A La Escuela Superior Politécnica del Litoral en donde tuve la oportunidad de formarme como Ingeniera en Petróleo.

Mi Agradecimiento al director de la materia de graduación, Dr. Kervin Chunga, por su contribución para la realización de la misma, y aquellas personas cercanas a mí, que de igual forma apoyaron este labor.

A la Doctora Elizabeth Peña, por haberme dado ese voto de confianza para la realización de la misma, cuando más apoyo necesitaba.

A toda mi familia en general que me han apoyado hasta el final de mis estudios.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

***Mayra Gavilanes Bermeo***

# AGRADECIMIENTO

Al creador de todas las cosas DIOS, por todas las bendiciones recibidas y por las que aún están por venir.

A mi Familia y amigos que a lo largo de los años fueron formándome como ser humano, manteniendo siempre el respeto por mis principios y valores

A La Escuela Superior Politécnica del Litoral en donde tuve la suerte de formarme como Profesional.

Al Dr. Kervin Chunga, director de la materia de graduación, por su contribución para la realización de la misma.

A la Doctora Elizabeth Peña, por su gestión inmejorable para la apertura de la materia integradora.

***Félix Alberto Carrión Bravo***

# DEDICATORIA

A Dios, por haberme guiado hasta el fin de mi carrera, superando así todo obstáculo a lo largo de toda mi vida.

A mi Padre Gustavo Gavilanes en especial a mi Madre Margoth Bermeo, por ser el principal pilar demostrándome su apoyo incondicional en las buenas y en las malas.

A mi hijo Gustavo Alexander Vinueza Gavilanes quien es el motivo y la razón que me ha llevado a seguir adelante, para alcanzar mi más grande objetivo concluir mi carrera.

A una persona en especial que hace siete años atrás prometí que iba ser profesional Felipe Quiroz, que a pesar de todo confió en mí que yo iba a salir adelante, que si se quiere se puede lograr muchas metas.

A la ESPOL-Facultad De Ingeniería en Ciencias de la Tierra que nunca olvidare.

***Mayra Gavilanes Bermeo***

## DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la fortaleza que necesité en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi Madre Mercy Bravo y mi Abuela Ofelia Castro, por su apoyo incondicional y por sus consejos impartidos a lo largo de mi carrera Universitaria.

A mis familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron siempre presentes, alentándome para poder alcanzar las metas que me había trazado.

A la ilustre ESPOL-Facultad De Ingeniería en Ciencias de la Tierra que tendré siempre presente donde sea que vaya.

***Félix Alberto Carrión Bravo***

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÒN

---

Dra. Elizabeth Peña Carpio

Presidenta del Tribunal

---

Dr. Kervin Chunga Moran

Director del Proyecto

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de éste Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Félix Carrión Bravo

---

Mayra Gavilanes Bermeo

## RESUMEN

El presente tema se trata de hacer una evaluación en la tubería de poliducto desde el tramo Viche hasta Quinindé (Pk's 40 - 80) identificando así los sitios inestables propensos a deslizamientos y fallas superficiales que provocan daños en las tuberías, para ello se hace un estudio de riesgos geológicos cercanos a la tubería y así proponer soluciones o tipos de variantes.

En nuestro estudio también nos enfocaremos en el nivel de sismicidad de la Provincia de Esmeraldas ya que es una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica del mundo, el cual presenta una alta amenaza a cualquier obra en este caso en un cambio de tubería del poliducto.

También se evaluarán los riesgos que pueden ocurrir en cualquier industria principalmente en la industria petrolera.

En nuestro estudio encontramos once sitios inestables que podrían causar daños a la tubería por deslizamientos por el cual recomendamos así dos cambios de variantes.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÌNDICE GENERAL</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>SIMBOLOGÌA</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÌNDICE DE MAPAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>ÌNDICE DE FOTOS</b> .....	<b>XVI</b>
<b>ÌNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>CAPÌTULO 1</b> .....	<b>19</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>19</b>
1.1 Introducci3n.....	19
1.2 Antecedentes.....	21
1.3 Objetivos del Estudio.....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos especÌficos.....	23
1.4 Fases de investigaci3n Geol3gica y metodologÌa.....	24
1.5 Ubicaci3n General del Àrea.....	25
1.6 Clima y Vegetaci3n.....	29
<b>CAPÌTULO 2</b> .....	<b>33</b>
<b>PRODUCCI3N DE DERIVADOS Y TRANSPORTE A TRAVÈS DE LA TUBERÌA DEL POLIDUCTO</b> .....	<b>33</b>
2.1 Defini3n de poliducto.....	33
2.1.1 Especificaciones fÌsicas del poliducto.....	34
2.2 Proceso de refinaci3n.....	34

2.3 Derivados producidos.....	35
2.4 Transporte de derivados.....	36
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>37</b>
<b>EVALUACIÓN DE RIESGO GEOLÓGICO Y SÍSMICO.....</b>	<b>37</b>
3.1 Delineación de fallas geológicas activas.....	38
3.1.1 Falla Quinindè (F11).....	38
3.1.2 Falla Buga (F4).....	39
3.1.3 Falla Limones (F17).....	39
3.2 Estimación de máximas magnitudes y PGA desde fallas activas.....	40
3.3 Movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes).....	42
3.4 Nivel de sismicidad de la Provincia de Esmeraldas.....	42
3.5 Evaluación del riesgo geológico y sísmico.....	43
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>46</b>
<b>EVALUACIÓN DE RIESGO INDUSTRIAL.....</b>	<b>46</b>
4.1 Riesgo Industrial.....	47
4.2 Metodología de análisis de riesgos industriales.....	47
4.3 Factores de riesgos presentes en el poliducto.....	47
4.4 Plan de manejo ambiental.....	48
4.4.1 Plan de prevención y mitigación de impactos.....	49
4.5 Remediación.....	49
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>51</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS.....</b>	<b>51</b>
5.1 Evaluación geológica del sitio inestable Pk 47+300.....	57
5.2 Evaluación geológica de los sitios inestables Pk 56+150, Pk 56+335, Pk 56+615, Pk 56+770, Pk 57+330, Pk 57+810.....	60
5.3 Evaluación geológica del sitio inestable Pk 61+755.....	66
5.4 Evaluación geológica de los sitios inestables Pk 78+360, Pk 80+150.....	69
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>73</b>

<b>ESTUDIOS DE PROPUESTAS DE VARIANTES DESDE ANÁLISIS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>73</b>
6.1 Introducción .....	73
6.2 Selección de Variantes.....	74
6.2.1 Variante propuesta de Pk 47+300.....	75
6.2.2 Variante propuesta de Pk 83+350.....	78
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>80</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
7.1 Conclusiones.....	80
7.2 Recomendaciones.....	82
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	
<b>ANEXOS.....</b>	

**ANEXO A** Tabla de coordenadas de marcadores kilométricos desde Pk 40-80

**ANEXO B** Tabla de características geomorfológicas para los marcadores kilométricos  
Pk's.....

## ABREVIATURAS

<b>Pk's</b>	Marcadores Kilométricos
<b>NEIC</b>	National Earthquake information Center
<b>M</b>	Magnitud
<b>H</b>	Profundidad
<b>AEOL</b>	Anglo Ecuadorian Oilfields
<b>OCP</b>	Oleoducto de Crudo Pesado
<b>SOTE</b>	Sistema de Oleoducto Transecuatoriano
<b>DDV</b>	Derecho de vía
<b>N</b>	Norte
<b>W</b>	Oeste
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>BPD</b>	Barriles por día
<b>BIs</b>	Barriles
<b>PSI</b>	Libras sobre pulgada cuadrada
<b>GLP</b>	Gas licuado de Petróleo
<b>F</b>	Falla
<b>DEM</b>	Modelos digitales de elevación
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre nivel del mar

## SIMBOLOGÍA

<b>°C</b>	Grado Centígrado
<b>%</b>	Porcentaje
<b>m/s</b>	metros sobre segundos
<b>°</b>	Grados
<b>km</b>	kilómetro
<b>Pulg</b>	pulgada
<b>m</b>	metros
<b>mm</b>	milímetro

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa I. Ubicación de la tubería del poliducto desde el PK 40 al PK 80, cantón Quinindé de la provincia de Esmeraldas.....	26
Mapa II. Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 44 a Pk 51.....	27
Mapa III. Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 59 a Pk 65.....	28
Mapa IV Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 78 a Pk 85, mapa topográfico a escala 1: 50.000 .....	29
Mapa V. Extracto de imagen del Atlas del Ecuador del Instituto Geográfico Militar (IGM).....	31
Mapa VI. Zona de vegetación de la Provincia de Esmeraldas.....	32
Mapa VII. Mapa de fallas geológicas sísmicamente activas y cercanas a la tubería de estudio.....	40
Mapa VIII. Modelo de isosistas de máximas intensidades macrosísmicas estimadas desde análisis de fallas geológicas y de sismos y proyección espacial de la línea del Poliducto.....	44
Mapa IX. Rango de intensidades macrosísmicas para la tubería del poliducto desde el Pk 40 al Pk 80, del cantón Quinindé.....	45

Mapa X. Extractos de las cartas topográficas Mirador y Viche a escalas 1: 50.000. .....	54
Mapa XI. Extracto de la carta topográfica El Mirador a escala 1: 50.000 que proporciona información relevante al sentido del poliducto para el sitio inestable Pk 61+755.....	55
Mapa XII. Extracto de la carta topográfica Rosa Zarate (Quinindé) a escala 1: 50.000 que proporciona información relevante al sentido del poliducto para los sitios inestables Pk 78+360, Pk 80+150, Pk 83+350.....	56
Mapa XIII. Carta topográfica del sector el Roto delineando las variantes 1 y 2 propuestas para el cambio de tubería en el marcador kilométrico PK 47+300.....	76
Mapa XIV. Carta topográfica delineando el derecho de vía del poliducto y el cambio de ruta siguiendo el trazado del OCP.....	77

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Desplazamiento de la tubería del poliducto por subsidencia en zona de terraza aluvial inundable. PK 47+300.....	58
Foto 2. Paisaje geomorfológico del terreno indicando la extensión de la zona de subsidencia y la propuesta para la nueva variante de la tubería del poliducto.....	58
Foto 3. Desplazamiento vertical de la tubería por subsidencia en PK 47+300.....	59
Foto 4. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+150 (660.860mE, 10.056.449mN).....	63
Foto 5. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+335 (660.933mE, 10.056.294mN) .....	64
Foto 6. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+615 (661.051mE, 10.056.051mN).....	64
Foto 7. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+330 (661.415mE, 10.055.524mN).....	65
Foto 8 Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+810 (661.467mE, 10.055.073mN).....	65
Foto 9. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+977 (661.509mE, 10.054.898mN).....	66
Foto 10. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk61+755 (662.336mE,10.051.687mN).....	68

Foto 11. Socavamiento por incisión fluvial profunda en el estero Guacharaco, sitio inestable Pk 78+360 (668.657mE, 10.037.262Mn).....	71
Foto 12. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 83+350 (670.947mE, 10.033.035mN).....	72
Foto13. Ruta de vía del Poliducto y del OCP para el sitio inestable 47+300. Variante propuesta de la opción 2.....	77
Foto 14. Estación Pk 83+350 que evidencia escarpes de deslizamiento y zona de subsidencia que afecta los soportes de la tubería del poliducto. ....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Especificaciones físicas de la tubería del poliducto, desde el Pk-00 en Esmeraldas hasta el Pk-164 en Santo Domingo.....	34
Tabla II: Producción Diaria de la Refinería Esmeraldas.....	36
Tabla III: Estaciones de Muestreos durante la fase de geología de superficie y exploración. En los marcadores kilométricos que inician desde el Pk-47 hasta el Pk-80 se han identificado once sitios inestables.....	53
Tabla IV: Lista de Pk's donde se realizaran variantes. Las coordenadas empleadas en la identificación de los marcadores kilométricos (Pk's) es el WGS 1.984 UTM zona 17 Sur.....	75

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Este trabajo está enfocado en evaluar los fenómenos geológicos que afecten la tubería del poliducto que se extiende desde el poblado Viche hasta Quinindé (Pk's 40 a 80). Análisis multidisciplinarios geológico, geomorfológico y sismológico han permitido identificar sitios inestables propensos a deslizamientos menores y fallamientos superficiales en el substrato rocoso con altas probabilidades de dañar o colapsar la tubería que transporta derivados de hidrocarburos.

Entre los rasgos geológicos que causan daños también tenemos: subsidencia o asentamiento del terreno, derrumbes de estratos rocosos, fracturamiento en el substrato rocoso, planos de fallas geológicas antiguas

que podría causar deslizamientos por gravedad sobretodo en épocas invernales. Una vez identificados los sitios inestables se procedió a establecer medidas de corrección y propuestas de variantes (cambio de ruta de la tubería), permitiendo seleccionar nuevos derechos de vías.

Desde un punto de vista del análisis del riesgo geológico, se consultó datos de sismos históricos del catálogo del NEIC (National Earthquake Information Center), cercanos a la tubería, reportados desde 1.973 hasta el 2.014 con magnitudes comprendidas en el rango de  $4 \leq M \leq 8.8$  y profundidades focales desde  $0,1 \leq H \leq 40$  km.

Desde un punto de vista del análisis geomecánico (resistencia de la roca y su grado de meteorización), hay parámetros no favorables como niveles de rocas de margas y arcillas las cuales son expansivas y provocan inestabilidad en la roca donde se asienta la tubería.

Para el análisis de riesgo sísmico se ha determinado las máximas intensidades macrosísmicas a lo largo de la tubería, y se ha asignado valores aplicando el método de Mora-Vahrson (1992), además en los anexos se encontrarán detalles geomorfológicos observados en los marcadores kilométricos PK's, de aquí la importancia que proporcione información fundamental para próximos estudios de riesgos naturales.

## **1.2 Antecedentes**

Los combustibles en la antigüedad, en la década de 1.930, eran transportados por vía férrea, por este medio de transporte se podía abastecer de combustibles a todo el país. En dicha época solo existía una refinería que fue construida por la empresa Anglo-Ecuadorian Oilfields Ltd. (AEOL) en la libertad, dicha inversión favoreció al país ya que con la producción nacional de gasolina el estado ecuatoriano ahorró divisas al no tener que importar derivados. En la actualidad dicha refinería pertenece al estado ecuatoriano.

Años más tarde se descubrió hidrocarburo en el oriente Ecuatoriano y se construyó la refinería de Esmeraldas, debido a la nueva demanda de combustibles se procedió a construir aproximadamente, 1.596 km de poliductos, interconectados entre si y ubicados estratégicamente en las tres regiones geográficas del Ecuador que permiten transportar derivados a través de nueve diferentes tuberías.

Para la provincia de Esmeraldas son notables tres tuberías, OCP, SOTE y el poliducto, una de las características geológicas del sitio es la inestabilidad del terreno donde múltiples rupturas y derrame de hidrocarburos y derivados de petróleos han sido reportados en los últimos años.

Nuestro estudio comprende el análisis geológico y de sitios críticos propensos a ruptura para la tubería del poliducto desde Viche a Quinindé, delineados por estaciones kilométricas desde el PK-40 al PK-80, aquí se notó varios puntos críticos que podrían estar sujetos a un riesgo geológico en los próximos años, por lo cual se necesitan hacer los correctivos necesarios y en casos más críticos hacer un cambio del derecho de vía con el fin de prevenir daños futuros al medio ambiente, poblaciones cercanas y a la economía del país.

### **1.3 Objetivos del estudio**

Dentro de nuestros objetivos tenemos generales y específicos, el cual se detallan a continuación.

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Identificar los sitios críticos propensos a fenómenos geológicos con potencial daño de tubería del poliducto desde Viche hasta Quinindé, Provincia de Esmeraldas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los tipos de fallas geológicas capaces de generar sismos moderados cercanos a la tubería del poliducto, los cuales podrían generar fenómenos geológicos tales como: subsidencia o asentamiento del terreno, fallamiento superficial, desprendimiento de rocas en el margen fluvial y deslizamientos en el derecho de vía.
- Evaluar sitios críticos que podrían causar daños a la tubería del poliducto por el incremento de tasa de erosión fluvial a los costados del derecho de vía, así como la formación de escarpes de deslizamientos por el represamiento de las aguas de escorrentías.
- Proponer variantes en el derecho de vía de la tubería del poliducto, así como técnicas de tuberías aéreas o enterradas de acuerdo a las condiciones geológicas del sitio.
- Evaluar el tipo de riesgo industrial que podrían afectar en nuestra área de estudio.

#### **1.4 Fases de investigación Geológica y metodología**

En nuestro estudio de geología de superficie e identificación de sitios inestables, son considerados todos los rasgos geológicos estructurales y estratigráficos que indiquen discontinuidades: laterales o cambios litológicos.

La morfología del terreno desde análisis topográficos permitirá establecer la pendiente en el terreno con gradiente variable, así como delimitar sectores de hondonadas (o de represamiento del agua) y altos topográficos, estos últimos son considerados en el análisis de riesgo aplicado a delinear posibles trayectos de la tubería del poliducto.

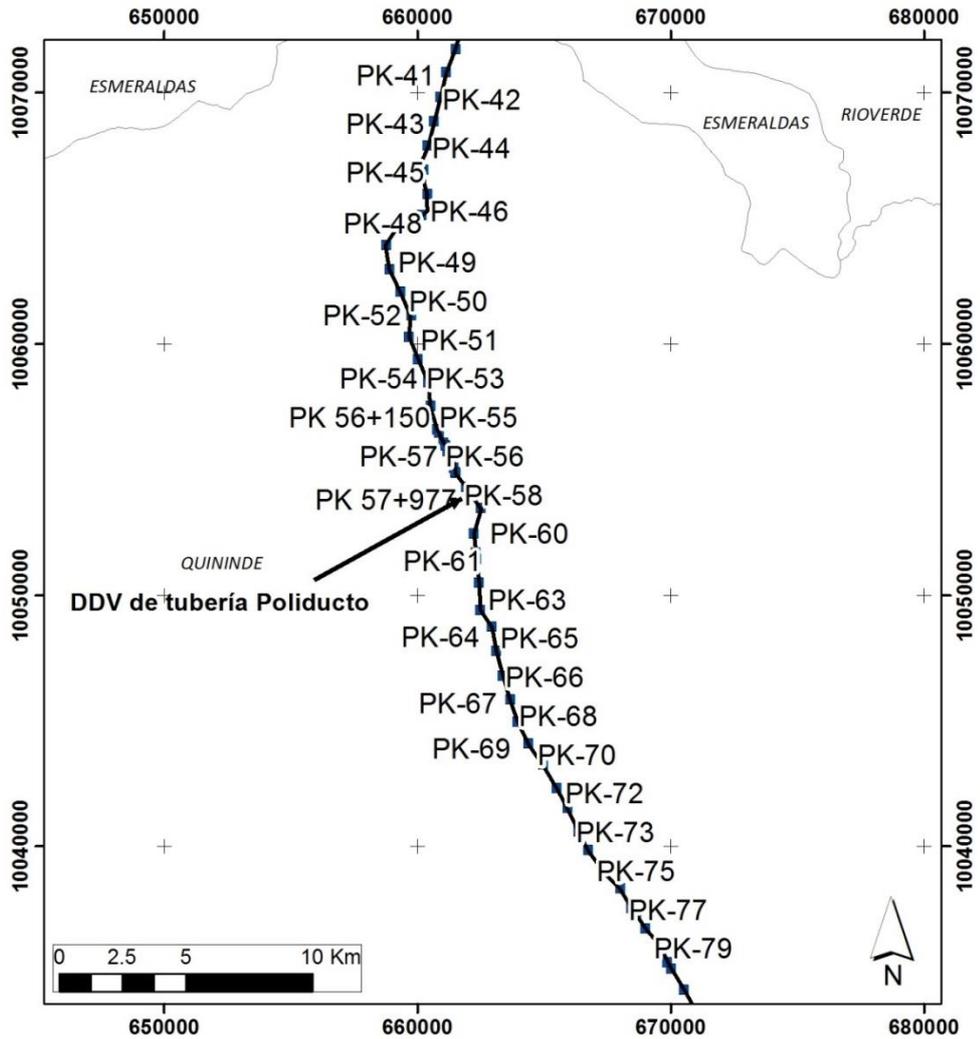
Este trabajo de investigación propuesto es organizado en dos principales fases: la primera fase del área de estudio, permite determinar la morfología, tectónica, procesos sedimentarios y geodinámica del área de estudio, así como aquellos sitios con presencia de deslizamientos, subsidencia del terreno y erosión de márgenes del DDV; para la segunda fase se ha empleado el análisis de fotos aéreas e imágenes satelitales para determinar la dimensión del fenómeno geológico cercano a la tubería del poliducto, revisar las condiciones del terreno para proponer variantes de un nuevo DDV.

Con respecto a la metodología utilizaremos información disponible en revistas científicas especializadas en temas geológicos, websites el cual hemos logrado obtener la mayor información disponible para ejecutar el presente trabajo.

### **1.5 Ubicación General del Área**

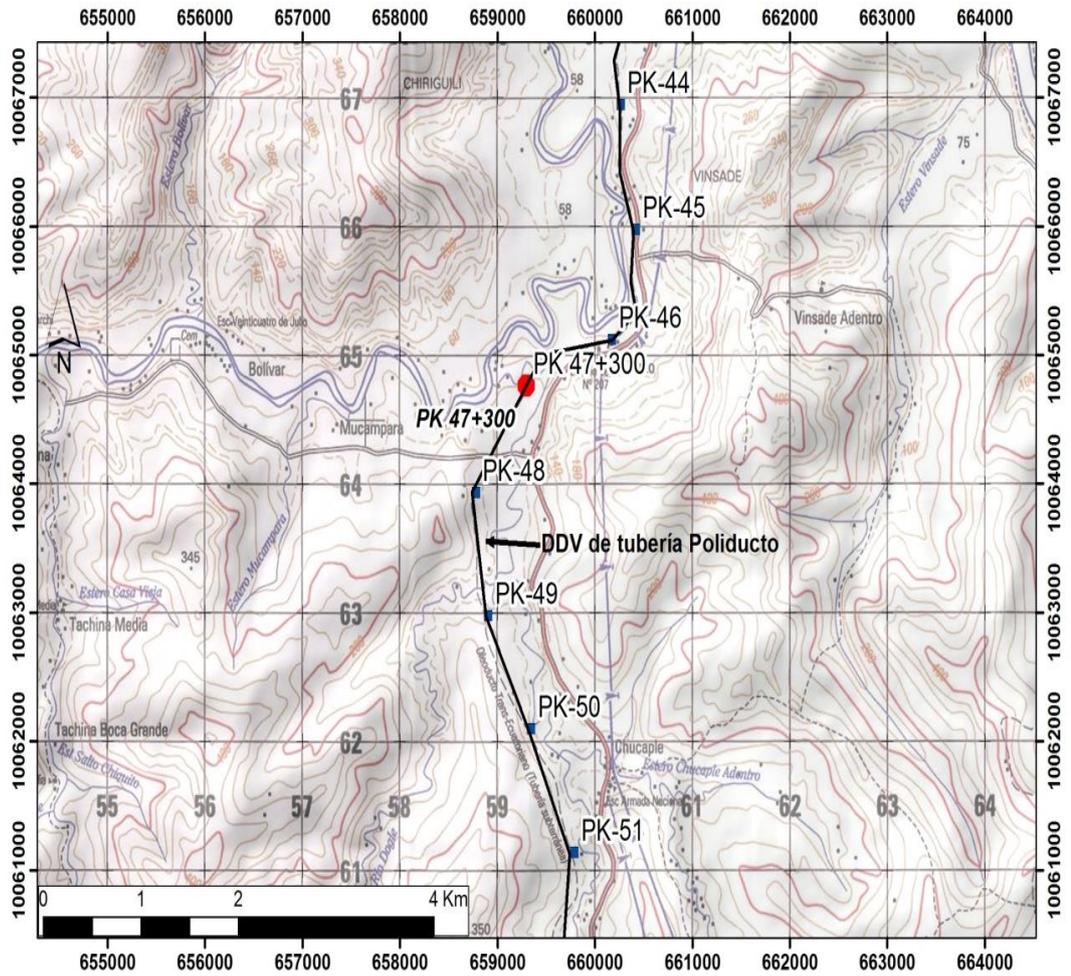
Abarca el tramo del DDV (derecho de vía) de la tubería del Poliducto Viche – Quinindé, actualmente tiene una longitud instalada de 40 Kilómetros. El cantón Quinindé se encuentra localizado a 100 km de la ciudad de Esmeraldas, siendo sus coordenadas geográficas: LATITUD 00°13'33"N y LONGITUD 73°26'00"W.

Durante la fase de geología de superficie y exploración, se trabajó en 40 marcadores kilométricos desde el PK-40 al PK-80.



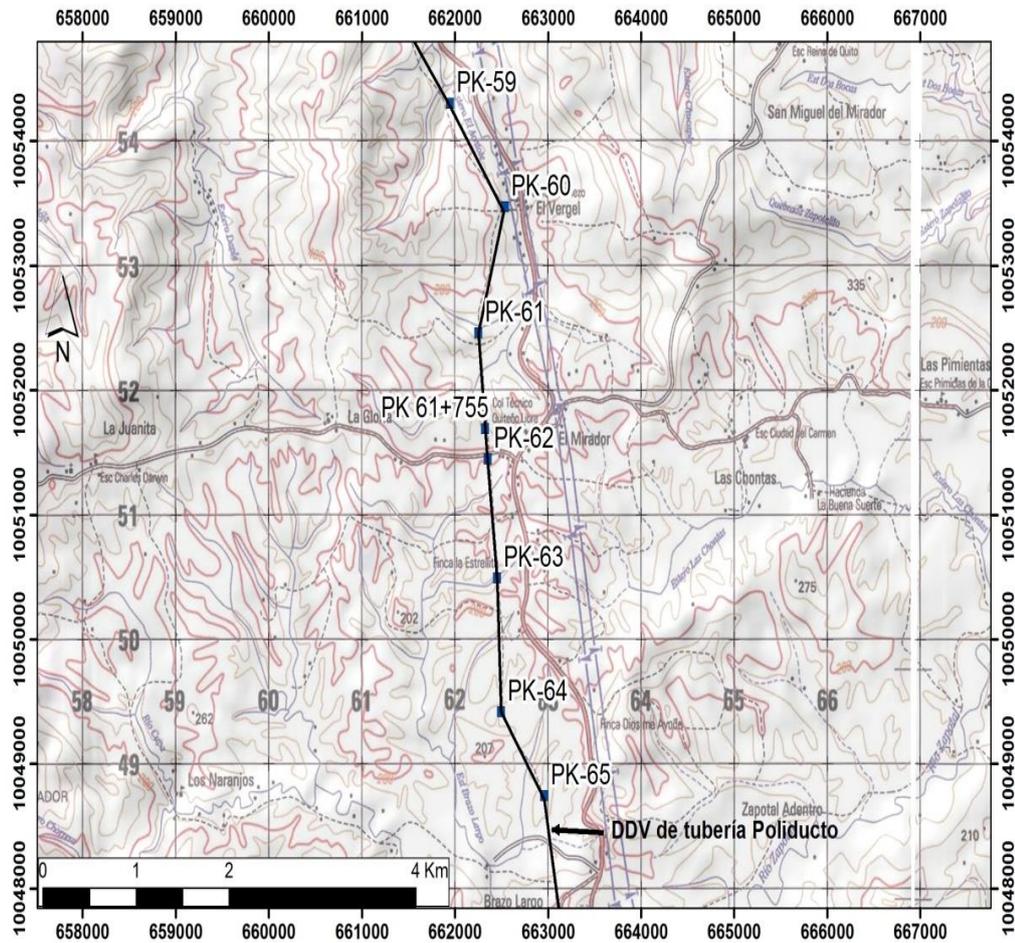
**Mapa I. Ubicación de la tubería del poliducto desde el PK 40 al PK-80, cantón Quinindé de la provincia de Esmeraldas.**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**



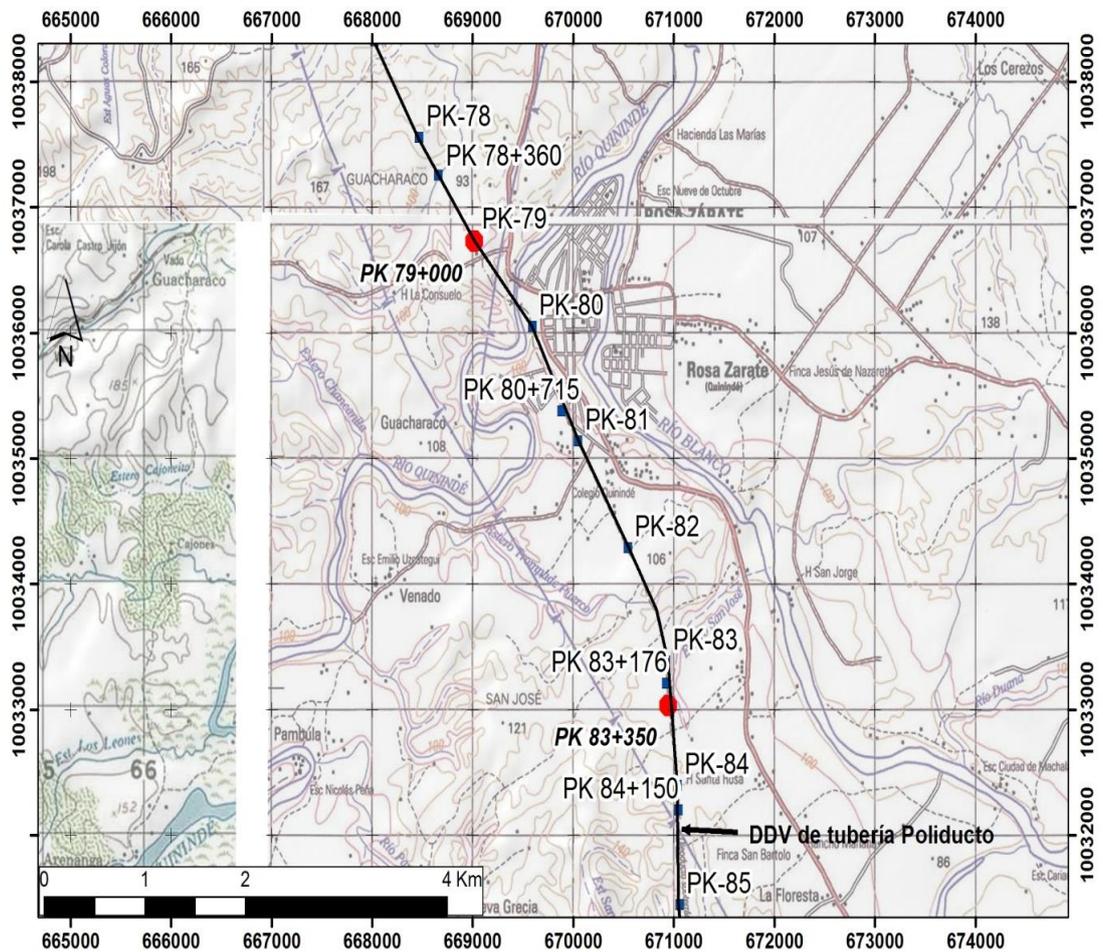
Mapa II. Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 44-a Pk 51.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Mapa III Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 59 a Pk 65.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



**Mapa IV. Ubicación de la tubería del poliducto desde el Pk 78 a Pk 85, mapa topográfico a escala 1: 50.000**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**

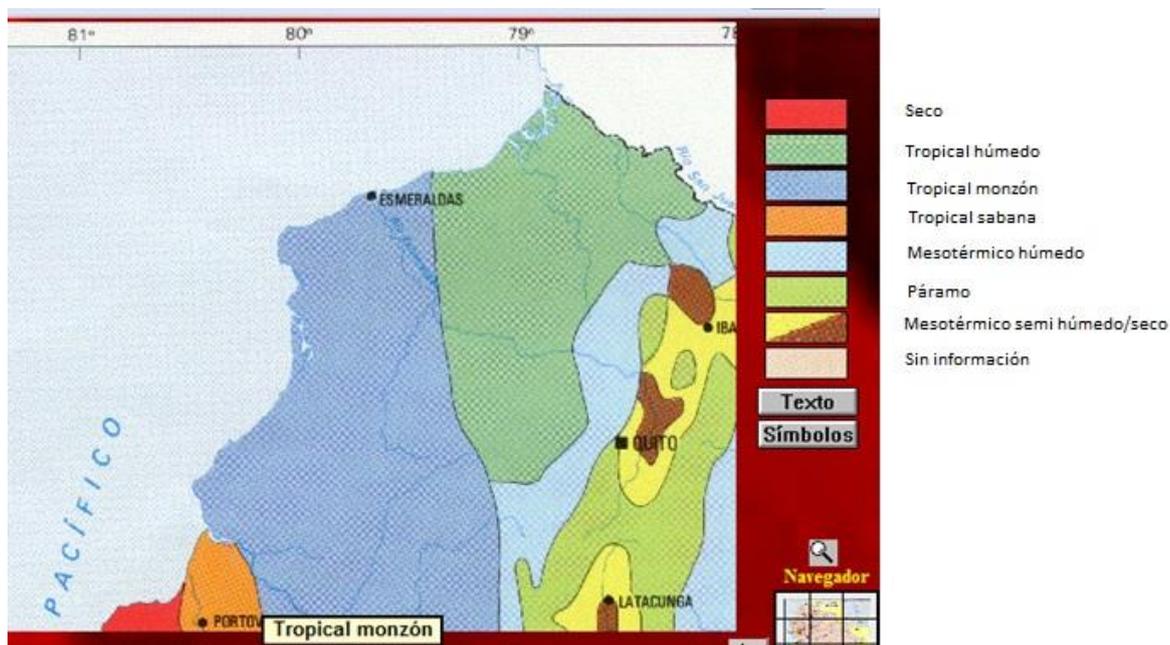
## 1.6 Clima y Vegetación

La provincia de Esmeraldas, en particular el cantón Quindé está sujeta a dos estaciones bien definidas

:

- **Tropical monzón:** Comprendida desde los meses de junio hasta noviembre con una temperatura en promedio de 21°C. Presenta un porcentaje de humedad seca del 40%.
- **Tropical húmedo:** Desde los meses de noviembre a mayo, cuya temperatura promedio es de 28 C. Presenta un porcentaje de humedad casi del 100%.

El promedio anual alcanzando por las precipitaciones de lluvia va desde 2.000 a 3.500 milímetros. En estos meses y debido a la alta precipitación se han reportado colapsos y rupturas de las tuberías que transportan crudo y derivados de petróleos.



**Mapa V Mapa de Climas del Ecuador, Extracto de imagen de la Provincia de Esmeraldas, clima tropical monzón, color celeste.**

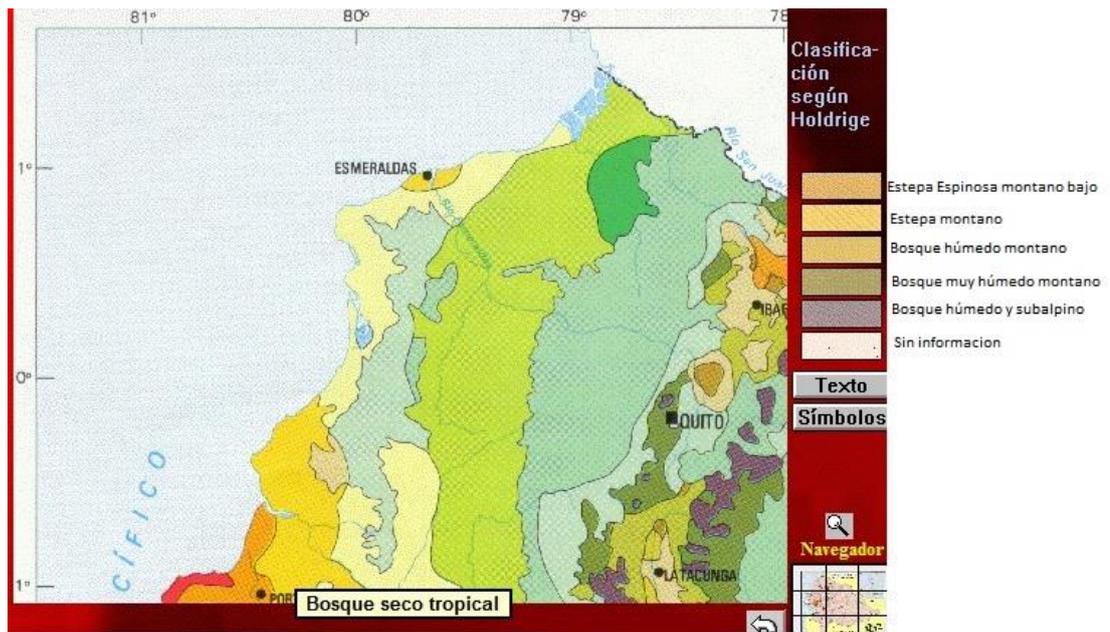
**Fuente: Atlas del Ecuador del Instituto Geográfico Militar (IGM).**

Los vientos de flujo suroeste son los que predominan en la zona, cuya velocidad promedio va desde 2 a 4 m/s, esto se manifiesta entre los meses de julio a octubre.

Los otros meses los vientos provienen del sur, suroeste, oeste y noroeste. El porcentaje de calmas es del 19% del tiempo.

En cuanto a la vegetación Esmeraldas es comúnmente llamada la provincia verde por su flora exuberante. Podemos encontrarnos con árboles de

caucho, de maderas finas, ceibos, tagua, banano y fibras como las de abacá y toquilla.



Mapa VI. Zona de vegetación de la Provincia de Esmeraldas

Fuente: Atlas del Ecuador del Instituto Geográfico Militar (IGM).

# **CAPÍTULO 2**

## **2. PRODUCCIÓN DE DERIVADOS Y TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA TUBERÍA DEL POLIDUCTO**

Este capítulo se basa en la producción de derivados del crudo como también el transporte del mismo a través de la tubería el cual se describirá las características de un poliducto.

El departamento de Transporte Petrocomercial garantiza el abastecimiento de la creciente demanda nacional al transportar los combustibles desde la Refinería de Esmeraldas, hasta los Terminales de todo el país.

### **2.1 Definición de poliducto**

Poliducto son redes de tuberías que tiene como objetivo transportar los derivados del petróleo desde un punto de carga hasta una terminal u otro Poliducto que comprende las instalaciones y equipos necesarios para dicho transporte.

### 2.1.1 Especificaciones físicas del poliducto

Entre las especificaciones del poliducto tenemos las siguientes características:

- Capacidad máxima permitida 72.000 BPD.
- Capacidad con la que opera el poliducto 56.429 BPD.
- Volumen de empaquetamiento de línea diseñado 121.800 bls.
- Presión máxima de descarga 2.000 PSI.
- Presión mínima de succión 50 PSI.

Tramos	Longitud (km)	Diámetro (pulg)	Espesor (mm)	Especificación de la tubería
<b>Esmeraldas - Santo Domingo</b>	<b>164,000</b>	<b>16</b>	<b>9,53</b>	<b>5LX-52</b>

Tabla I: Especificaciones físicas de la tubería del poliducto, desde el PK- 00 en Esmeraldas hasta el PK-164 en Santo Domingo.

Fuente: Proyecto de Graduación, Ing. Francisco Andrade, Escuela Politécnica Nacional.

## 2.2 Proceso de Refinación

El crudo proveniente del oriente ecuatoriano llega a la refinería de Esmeraldas para posteriormente ser sometido a distintos procesos de refinación, primero se quita la sal en un tanque desalador. Luego es calentado en un horno a

temperaturas de hasta 350 °C, convirtiéndolo en vapor y líquido antes de entrar a la torre de destilación atmosférica. En su interior tiene varios compartimientos o platos que están a diferentes alturas y temperaturas, aquí se acumulan los distintos derivados del hidrocarburo. Por densidad los más livianos se ubican en la parte superior y los más pesados quedan como líquidos en los distintos platos de la torre de destilación.

En el fondo de la torre de destilación queda la parte pesada del petróleo que no alcanzó a dividirse en esta primera fase. Este residuo de las torres de destilación atmosférica ingresa a otras torres en las que se hace vacío, para obtener gasóleos, que a su vez son enviados a la planta de craqueamiento catalítico fluido, para ser transformados en gas de uso doméstico y gasolina de alto octanaje (EP PETROECUADOR, El petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera, Primera edición junio 2.013).

Las gasolinas obtenidas en las torres de destilación atmosférica tienen octanajes bajos.

### **2.3 Derivados producidos**

La Refinería Estatal Esmeraldas produce diariamente los siguientes derivados de hidrocarburo:

<b>Producción Diaria de la Refinería Estatal Esmeraldas a 110.000 BPD</b>	
<b>GLP</b>	<b>5.000</b>
<b>Gasolina</b>	<b>30.800</b>
<b>Kerosene (Diesel 1)</b>	<b>1.000</b>
<b>Jet Fuel</b>	<b>3.700</b>
<b>Diesel 2</b>	<b>26.000</b>
<b>Fuel Oil</b>	<b>45.500</b>
<b>Asfalto</b>	<b>2.000</b>
<b>Azufre</b>	<b>30 Tm/día</b>

**Tabla II.: Producción Diaria de la Refinería Esmeraldas**

**Fuente: Proyecto de Graduación, Ing. Francisco Andrade, Escuela Politécnica Nacional**

## **2.4 Transporte de derivados**

Este poliducto es abastecido por la Refinería Estatal Esmeraldas que se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, es la más grande del país con una capacidad operativa de 110.000 barriles por día. Uno de sus principales problemas es la disminución de su producción de derivados, esto se debe a que fue construida para el procesamiento de crudo liviano y actualmente procesa crudo semi pesado.

El volumen y tipo de derivados que se transportan a través del poliducto diariamente varían dependiendo de su demanda.

Los derivados que se transportan a través de este sistema de poliductos son: Gasolinas, Diesel 1, Diesel 2, Fuel Oil, GLP y Jet Fuel, debiendo aclarar que en total solamente se consideran a los volúmenes transportados desde los centros de producción.

# **CAPÍTULO 3**

## **3. EVALUACIÓN DE RIESGO GEOLÓGICO Y SÍSMICO**

En este capítulo se hará un análisis sobre los posibles riesgos geológicos que puede ocurrir tanto en la estación de bombeo de Quinindé como en la tubería del poliducto.

Los riesgos geológicos, según la definición de Ayala et al. (Riesgos Geológicos, IGME 1.987), pueden dividirse en dos grandes grupos: riesgos de origen interno asociado a la geodinámica interna (terremotos de subducción, etc) y de origen externo (movimientos de ladera, subsidencias naturales, expansividad, erosión y deformaciones en el terreno).

Los procesos geodinámicos pueden constituir riesgos geológicos al afectar, de forma directa o indirecta, a las estructuras proyectadas en tanto en cuanto que estas interaccionan con el terreno circundante

En nuestra zona de estudio tienen especial importancia los riesgos geológicos derivados de la actividad sísmica de la zona.

### **3.1 Delineación de fallas geológicas activas**

La falla geológica se puede definir como aquel plano a lo largo del cual dos bloques se dislocan (o se desplazan) relativamente, la línea de la falla es la intersección de este plano con la superficie del terreno. Cuando existen muchos planos de fallas en un espacio limitado, expuestos casi en paralelo entre sí, son definidas como zona de fallas.

Algunas fallas activas, están relacionadas con la reactivación de discontinuidades antiguas que separan los grandes conjuntos litológicos.

Para el sitio de estudio se ha delineado tres fallas geológicas activas y capaces de generar terremotos, los cuales son las fallas: Quinindé, Buga y Limones (ver mapa VII). Esta información ha sido proporcionada por el mapa de fallas activas Egrez (2002), Chunga (2010).

#### **3.1.1 Falla Quinindé (F11)**

La Falla Quinindé se encuentra al Sur del inicio del trazado. La longitud de la falla es de 48,3 km., con una profundidad de 18 km. el rumbo promedio es N25°E, el ángulo del buzamiento es desconocido, con tendencia hacia el Oeste. Sentido del movimiento probablemente transgresivo inverso.

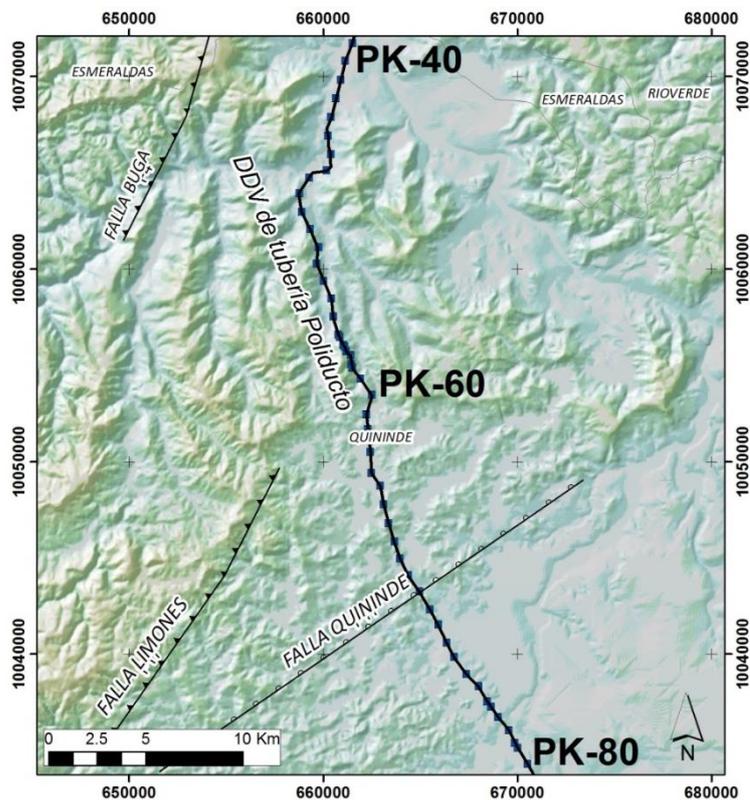
El río Quinindé discurre a lo largo del trazo de la falla. Constituye el límite occidental de la Cuenca de Santo Domingo. Esta estructura sería el borde de los sedimentos continentales cuaternarios de la cuenca de Santo Domingo con el ante arco de la zona costera.

### **3.1.2 Falla Buga (F4)**

La Falla Buga, entre 2 y 14 km al Oeste de la ruta de la carretera. Tiene una longitud de 24,8 km. el rumbo promedio es N13°E, el ángulo del buzamiento es desconocido, con tendencia hacia el Oeste. Sentido del movimiento inverso. Las formas de esta falla presentan un alineamiento de débil expresión en las imágenes Radar. (“Estudio de ingeniería de la carretera Santo Domingo-Esmeraldas y la estructuración jurídica, tectónica y económico-financiera RE-20-EIS-MTOP-2.012)

### **3.1.3 Falla Limones (F17)**

La Falla Limones tiene una longitud de 18 km y cuya profundidad es de 15 km.



Mapa VII. Mapa de fallas geológicas sísmicamente activas y cercanas a la tubería de estudio.  
Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.

### 3.2 Estimación de máximas magnitudes y PGA desde fallas activas

Para esta sección se determina las máximas magnitudes asociadas y valores de PGA estimados desde el análisis de fallas geológicas seleccionadas. Para entender bien la dinámica y cinemática de las fallas hacemos referencia a la nomenclatura empleada.

Se ha registrado 414 eventos sísmicos con valores de magnitudes comprendidas entre los 4 y 4.5, mientras que magnitudes moderadas están en el orden de los 5 a 6, desde el 23 de noviembre de 1.990 al 11 de mayo de 1.994.

El desplazamiento a lo largo del plano de falla es frecuentemente expresado como vector. Tales vectores pueden ser representados en dos componentes: el componente **horizontal o cizalla** (ie. fallas “strike slip”) y el componente **vertical** a lo largo de la inmersión (ie., “dip-slip”, inversa o normal).

En nuestro análisis usaremos los términos “hangingwall” y “footwall” en referencia a la posición de la tubería del poliducto.

Esta información contiene:

- Tipo, geometría, y longitud de la falla,
- Cinemática y profundidad asociada al plano de falla, estimada desde los datos hipocentrales de sismos instrumentales,
- Forma, tendencia estructural y morfológica sobre el terreno a través del uso de modelos digitales de elevación (DEM, siglas en inglés) con resolución de cerca 30 metros de alcance. (Chunga 2.010, Ego et al. 1.996 y 1.997, Eguez et al. 2.003.)

El acercamiento más usual para estimar la máxima magnitud es a través de una comparación de la longitud de la ruptura de la falla y su magnitud asociada. Las fallas más cercanas al tramo del Poliducto son la F.Quinindé, F. Buga y F.Limones, con estimaciones de máximas magnitudes entre los 6,1 y 6,6 grados y valores de PGA entre los 0,45 a 0,48. (Respectivamente).

Estos valores de máximas magnitudes y PGA estimados desde el análisis de fallas permiten aproximarnos a comprender los niveles de sismicidad cuando los datos de sismos históricos son muy escasos y de corto intervalo de tiempo (desde 1.973 a 2.013).

### **3.3 Movimientos en masa (deslizamientos y derrumbes)**

En general dentro de este tipo de riesgo geológico se incluyen los movimientos de ladera asociados a inestabilidades gravitacionales. Varios criterios influyen en los movimientos en masa, entre ellos el grado de pendiente, la extensión de las vertientes, las formaciones geológicas subyacentes, las precipitaciones (cantidad y repartición anual), la presencia de fallas, la ocurrencia de sismos, y la alteración superficial o por modificaciones artificiales de las geometrías estables.

Las características estructurales de las litologías y su disposición pueden tener incidencia negativa en la construcción de desmontes, existiendo un cierto riesgo de que se produzcan inestabilidades en los taludes de excavación.

### **3.4 Nivel de Sismicidad de la provincia de Esmeraldas**

Esmeraldas se ubica en una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica del mundo, en el denominado Cinturón Circumpacífico, donde se libera la mayor cantidad de energía sísmica a nivel mundial. La actividad sísmica presenta una alta amenaza a cualquier obra. Por tal motivo se debe evaluar el peligro sísmico de la zona de estudio. Recordemos que Esmeraldas registra el sexto terremoto de subducción más fuerte en el mundo, ocurrido el 31 de enero de 1.906 con magnitud de 8,8, escala Richter.

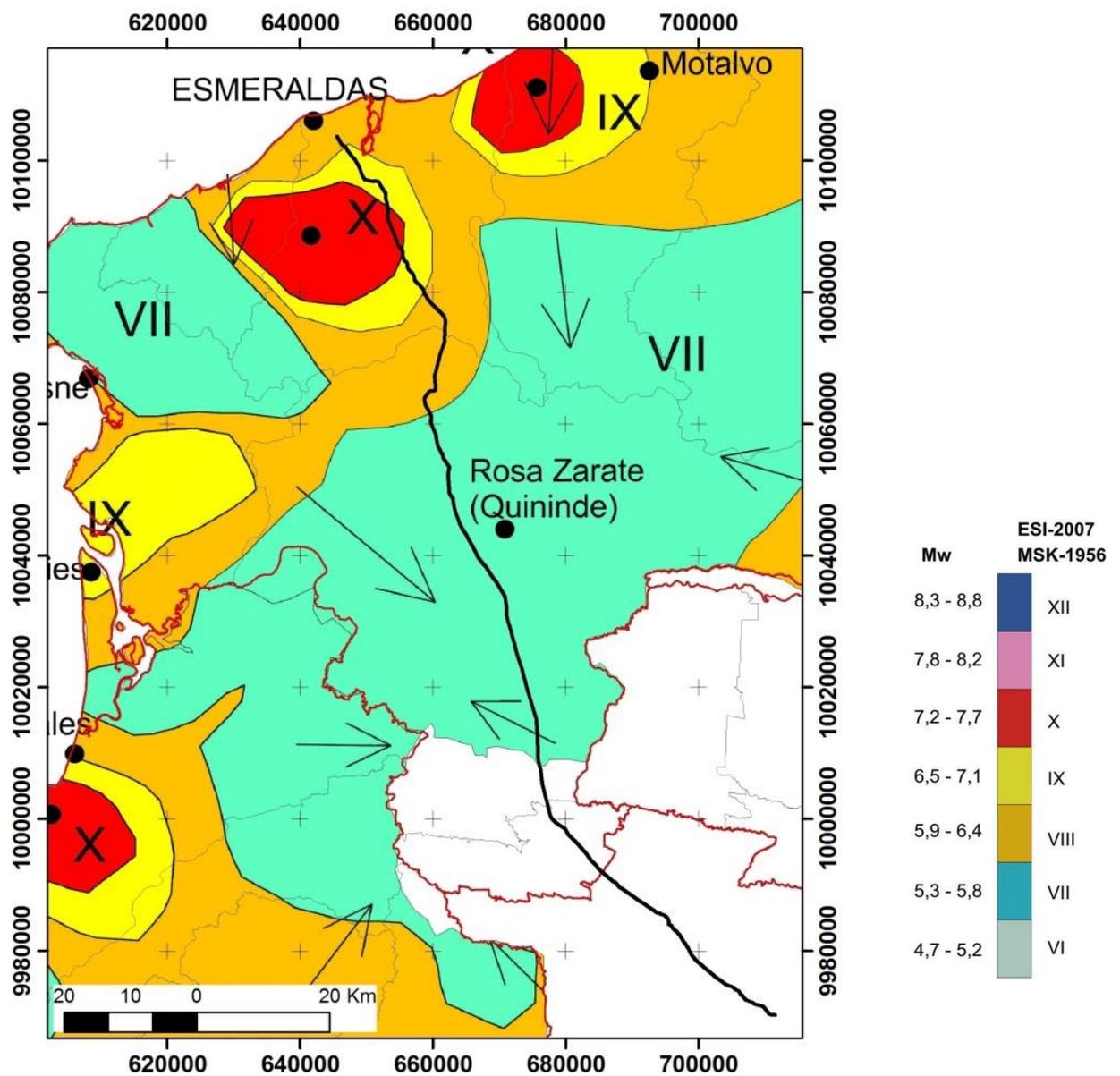
Esta sismicidad obedece principalmente a procesos de subducción (caracterizadas por sismos localizados a profundidades entre 1 a 20 km, margen de placas tectónicas) y a la actividad de fallas corticales (sismos localizados a profundidades menores a los 40 km). Dadas las características sísmicas de esta zona costera en particular se le ha asignado una peligrosidad sísmica alta a muy alta. La evaluación de la sismicidad histórica es de gran importancia dentro de las estimaciones de peligro sísmico, ya que permite corroborar la presencia de actividad sísmica en las estructuras tectónicas en la zona de interés.

Nuestro estudio caracteriza cada fallas geológica cercana a la tubería, basándose en la geometría y cinemática de la estructura se puede estimar las máximas magnitudes asociadas, desde aplicación de fórmulas propuestas por Well & Coppermish (1.994) y por Leonard (2.010). También se puede obtener valores de aceleraciones en las rocas (PGA, Peak Ground Acceleration) desde análisis de fallas geológicas y de las magnitudes estimadas

### **3.5 Evaluación del riesgo geológico y sísmico**

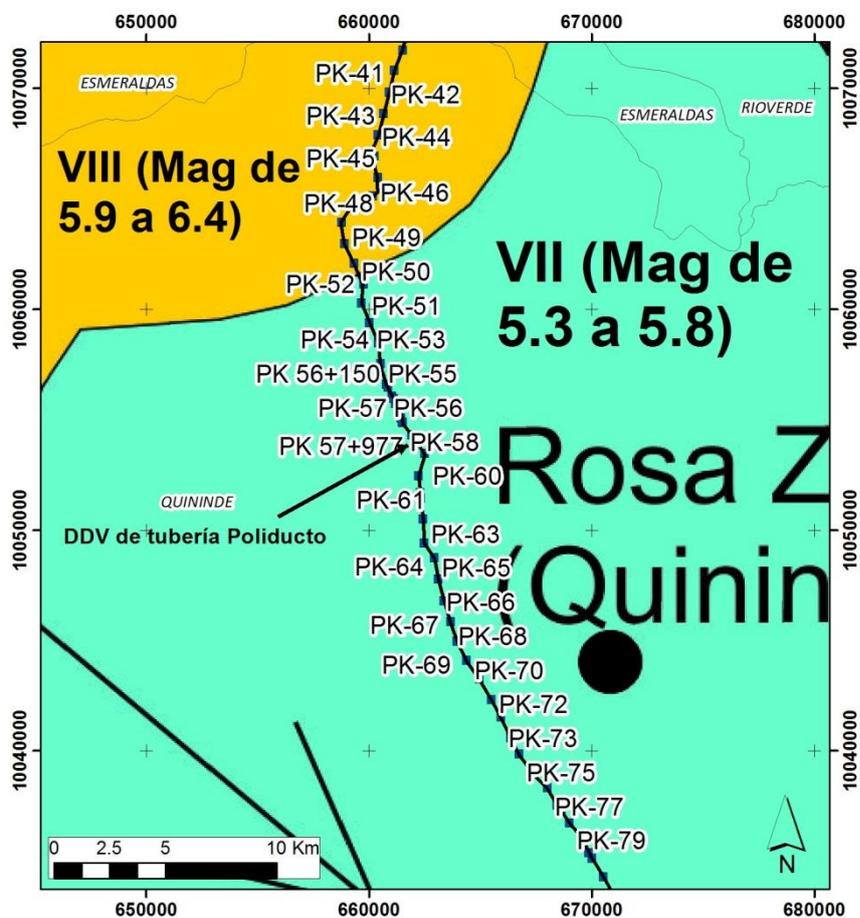
Para obtener una evaluación del riesgo sísmico se ha realizado el análisis de las máximas magnitudes que cada una de las fallas geológicas podría generar, así como corroborar sus intensidades macrosísmicas como lo demuestra el mapa VIII Se ha estimado la máxima intensidad para los marcadores kilométricos Pk's correspondiente al trazado de la tubería del Poliducto, es así

que Pk 40 a Pk 50 representa el máximo grado de intensidad VIII (magnitudes en el orden de 5,9 a 6,4), mientras que para los Pk 51 a Pk 80 se estiman la menor intensidad de grado VII (magnitudes en el orden de 5,3 a 5,8).



Mapa VIII. Modelo de isosistas de máximas intensidades macrosísmicas estimadas desde análisis de fallas geológicas y de sismos y proyección espacial de la línea del Poliducto

Fuente: Chunga et al., 2.013.



Mapa IX. Rango de intensidades macrosísmicas para la tubería del poliducto desde el Pk 40 al Pk 80, del cantón Quindí.

Fuente: Chunga et al., 2.013.

# **CAPÍTULO 4**

## **4. EVALUACIÓN DE RIESGO INDUSTRIAL**

En este capítulo se analizará los riesgos que pueden ocurrir en cualquier industria principalmente en la industria petrolera es por eso que empezaremos definiendo el riesgo industrial y con ello conoceremos que factores de riesgo tipo industrial podría afectar en el poliducto desde el tramo Viche – Quinindé, también se manejará un plan tipo ambiental con el fin de reducir impactos provocados por rupturas de tubería en las actividades de transporte y almacenamiento en el sistema de poliductos, sin olvidar que en cada impacto ambiental podemos buscar soluciones o tipos de remediación para el mismo.

#### **4.1 Riesgo Industrial**

Un riesgo en la industria se puede definir como cualquier evento que puede desarrollar una serie de acontecimientos que pueden dañar la infraestructura de la planta, provocar daños al personal, o a una población que se encuentre cercana a la planta, además de provocar severos daños al medio ambiente.

#### **4.2 Metodología de análisis de riesgos industriales**

Los análisis de riesgos sirven para la identificación, evaluación y control de los riesgos en la industria. El cual se compone de dos partes, un análisis de consecuencias y una revisión de riesgos del proceso. El análisis de consecuencias se encarga de revisar los escenarios de los eventos que pueden resultar en accidente, además de seleccionar el escenario del peor caso y por último estimar los efectos destructivos causados por dichos escenarios. Por otra parte, la revisión de los riesgos de proceso abarca un análisis del tipo de infraestructura, de esta manera, considera riesgos, accidentes pasados, detección de nuevas fuentes de peligro y algunos factores humanos como capacitación u orientación a soluciones.

#### **4.3 Factores de riesgos presentes en el poliducto**

Entre los factores que pueden poner en riesgo a la tubería tenemos los siguientes:

- Presión máxima de operación
- Sistema de detección y localización de fugas, cambios importantes en la protección catódica u otras condiciones de operaciones.
- Señalización horizontal y vertical en los cruces con calles nuevas, carreteras que se ha registrado en algunas ocasiones golpes a la tubería, que se ha puesto en alto riesgo la integridad de la tubería.

#### **4.4 Plan de manejo ambiental**

El Plan de Manejo Ambiental está conformado por medidas, planes y programas, cada uno de los cuales en su totalidad o en parte contribuirán a evitar, rectificar, reducir o compensar los impactos provocados por la actividad de Transporte y Almacenamiento en el Sistema de Poliductos, correspondiente al derecho de vía del ducto.

Los planes y programas, que en parte o en su totalidad se han estructurado en función de los impactos ambientales negativos, se agrupan en:

- Plan de Prevención y Mitigación de Impactos
- Plan de Contingencias
- Plan de Capacitación Ambiental
- Plan de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial
- Plan de Manejo de Desechos

- Plan de Relaciones Comunitarias
- Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas
- Plan de Abandono (Diagnóstico y Plan de Manejo Ambiental del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y Sistema de Poliductos Shushufindi – Quito y Esmeraldas – Quito )

#### **4.4.1 Plan de Prevención y Mitigación de Impactos**

Está conformado por un grupo de sugerencias administrativas y medidas ambientales, durante las actividades de Transporte y Almacenamiento en el Sistema de Poliductos correspondientes al derecho de vía del ducto y para las actividades realizadas en las estaciones de bombeo.

Las medidas ambientales consideradas dentro del Plan de Prevención y Mitigación de Impactos son acciones puntuales que se deben aplicar en todo el Sistema de Poliductos, así como otras más específicas respecto a cada componente ambiental cuyo desarrollo se encuentra en los diferentes Planes y Programas de este estudio.

#### **4.5 Remediación**

La remediación es una medida correctiva utilizada para la recuperación de un sitio o terreno contaminado. Se debe encontrar y conocer el origen de la contaminación con el fin de que no se contaminen otras áreas.

## **Técnicas de descontaminación**

Existen tres tipos de técnicas que nos ayudan a remediar suelos contaminados y así poder recuperarlo eficientemente.

**1. Técnica de aislamiento:** esta técnica emplea métodos como, la vitrificación in situ, disminución de la volatilización, la estabilización-solidificación y por último el método de sellado, donde se utiliza las técnicas de cubrimiento, como por ejemplo los vertederos, y la tecnología de pantalla.

### **2. Técnica de descontaminación:** •

- **Descontaminación física química:** Aquí se utiliza los métodos de extracción de vapores, la inyección de aire, bombeo de aguas, lavados de suelos, tratamiento electrocinética, también tratamientos químicos y además con barreras reactivas permeables.
- **Descontaminación biológica:** Este procedimiento consiste en un tratamiento a través de microorganismos naturales, como por ejemplo levaduras, hongos y bacterias. Esto es para poder descomponer o degradar sustancias peligrosas. Podemos encontrar los métodos; biodegradación in situ, biodegradación ex situ on site, etc.

**3. Técnica térmica:** En este tipo de procedimiento se utiliza los métodos de incineración y de desorción térmica.

# **CAPÍTULO 5**

## **5. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS**

Este capítulo describe los sitios con evidencia de inestabilidad en el terreno que podrían afectar el sistema operativo de la tubería del Poliducto, los rasgos geológicos más significativos identificados a lo largo del tramo desde Viche hasta Quinindé son:

- Deslizamientos y/o movimientos de tierra superficiales,
- Deslizamientos y/o movimientos de tierra profundos,
- Subsistencia o hundimiento paulatino del terreno,
- Fallamiento superficial y diaclasamiento en el substrato rocoso,

- Erosión fluvial en los estratos blandos ubicados en los márgenes del DDV y desmoronamiento de estratos más resistentes, y
- Sitios con erosión activa en los taludes provocando colapsos en los muros de contenciones.

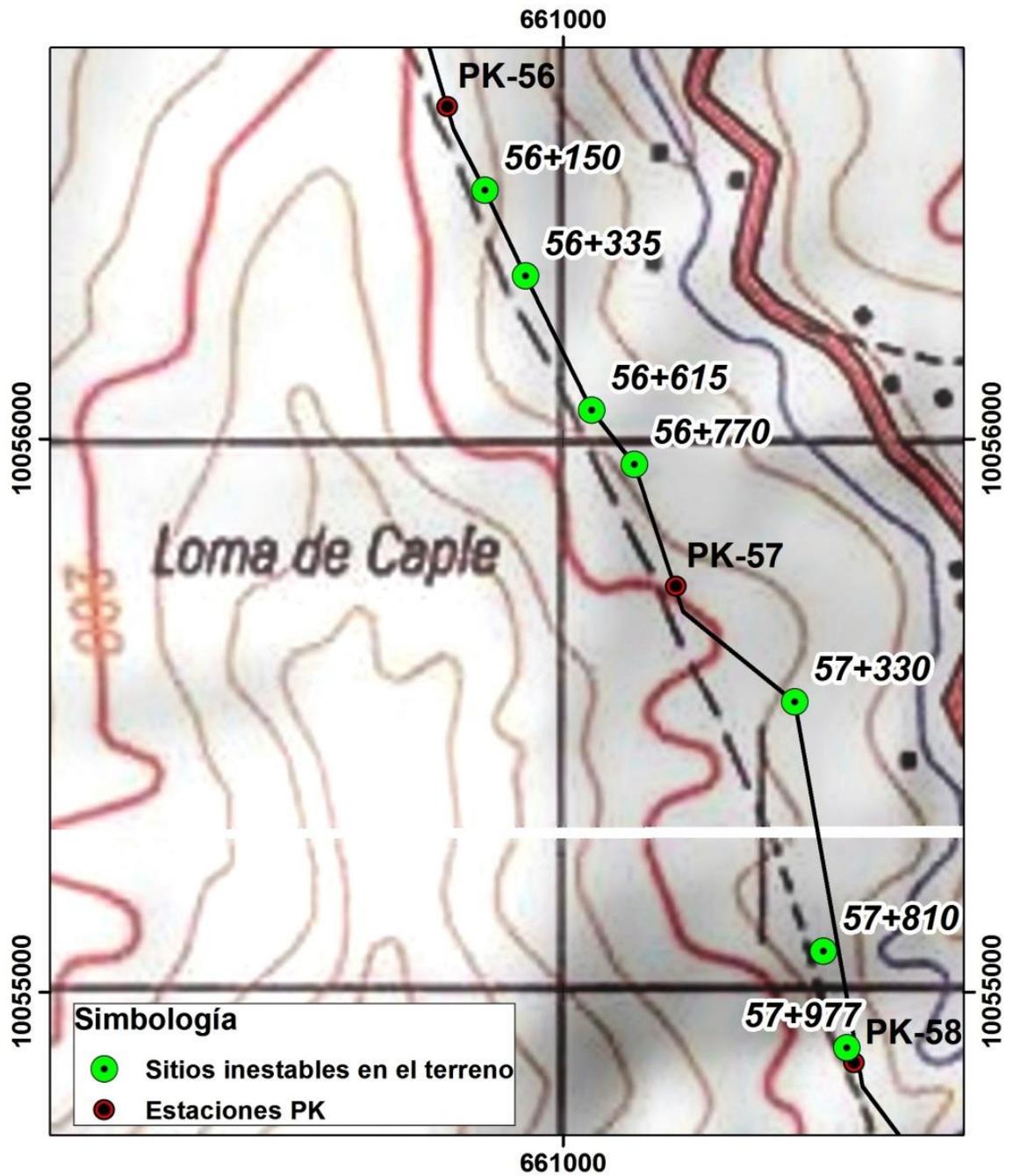
La compilación de información geológica ha sido realizada a detalle cubriendo en su totalidad todo el tramo del DDV del poliducto, se han considerado también los pasos aéreos de la tubería y en algunos casos específicos, junto al equipo de estudios ambientales, se ha considerado las áreas densamente pobladas y sectores industriales en desarrollo.

Para nuestro tramo en estudio desde el Pk's 40 al 80 durante la fase de geología (definido también como levantamiento geológico) se han identificado doce sitios inestables, en la Tabla III se identifica los rasgos geológicos que incrementa la inestabilidad en el terreno así como su ubicación en coordenadas UTM y en referencia a los marcadores kilométricos PK's, tales como:

<b>Id.</b>	<b>PK's</b>	<b>X (mE)</b>	<b>Y (mN)</b>	<b>Amenaza geológica</b>
<b>1</b>	47+300	659298	10064761	Represamiento - Subsistencia rápida
<b>2</b>	56+150	660860	10056449	Deslizamiento
<b>3</b>	56+335	660933	10056294	Deslizamiento
<b>4</b>	56+615	661051	10056051	Deslizamiento
<b>5</b>	56+770	661128	10055953	Deslizamiento
<b>6</b>	57+330	661415	10055524	Deslizamiento
<b>7</b>	57+810	661467	10055073	Deslizamiento
<b>8</b>	57+977	661509	10054898	Deslizamiento
<b>9</b>	61+755	662336	10051687	Deslizamiento
<b>10</b>	78+360	668657	10037262	Incisión fluvial - rápida erosión
<b>11</b>	80+150	669887	10035377	Sedimentación
<b>12</b>	83+350	670947	10033035	Deslizamiento y Subsistencia

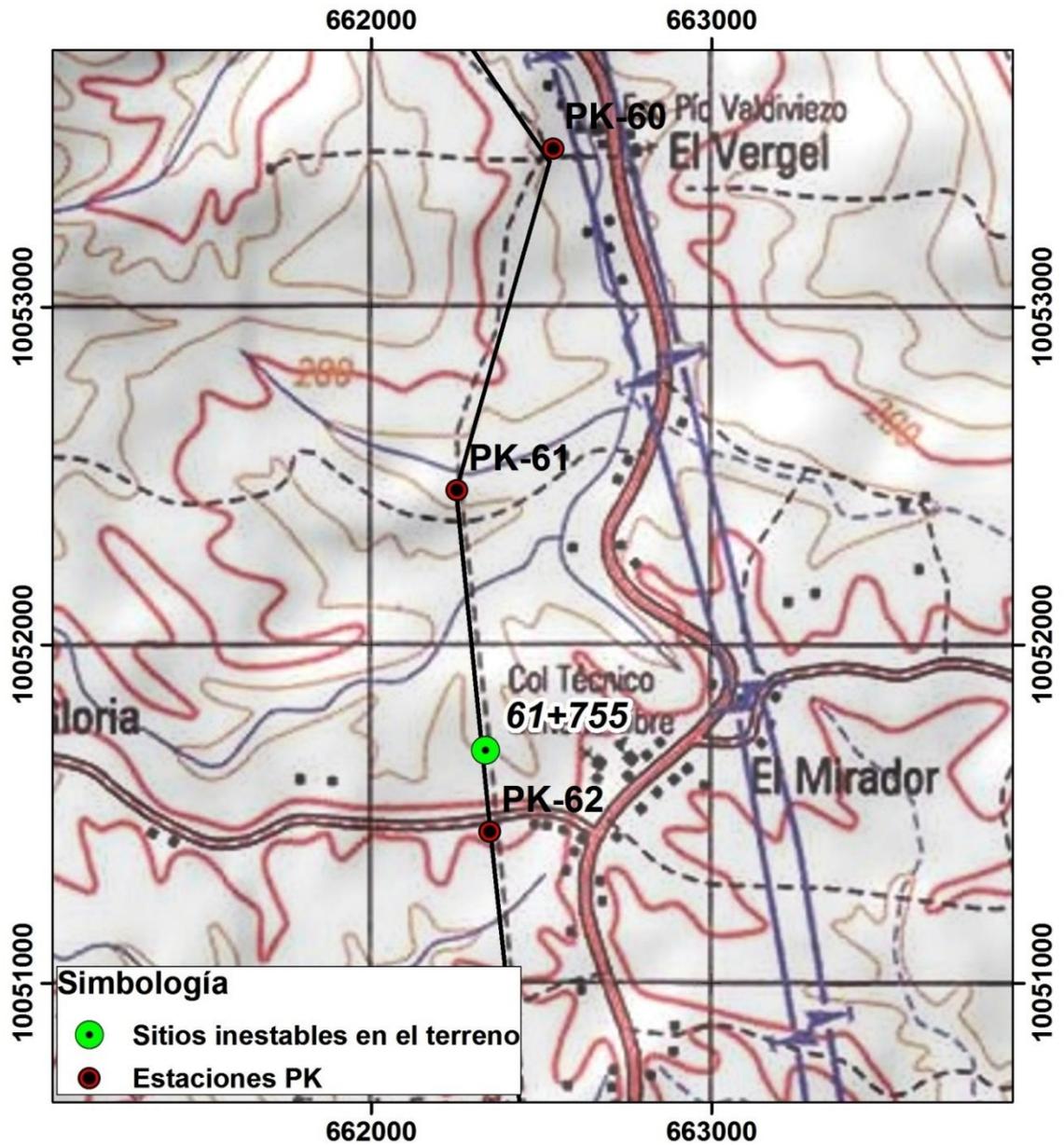
**Tabla III.: Estaciones de Muestreos durante la fase de geología de superficie y exploración. En los marcadores kilométricos que inician desde el Pk-47 hasta el Pk-80 se han identificado once sitios inestables.**

**Fuente: Reporte técnico, Consulsística**



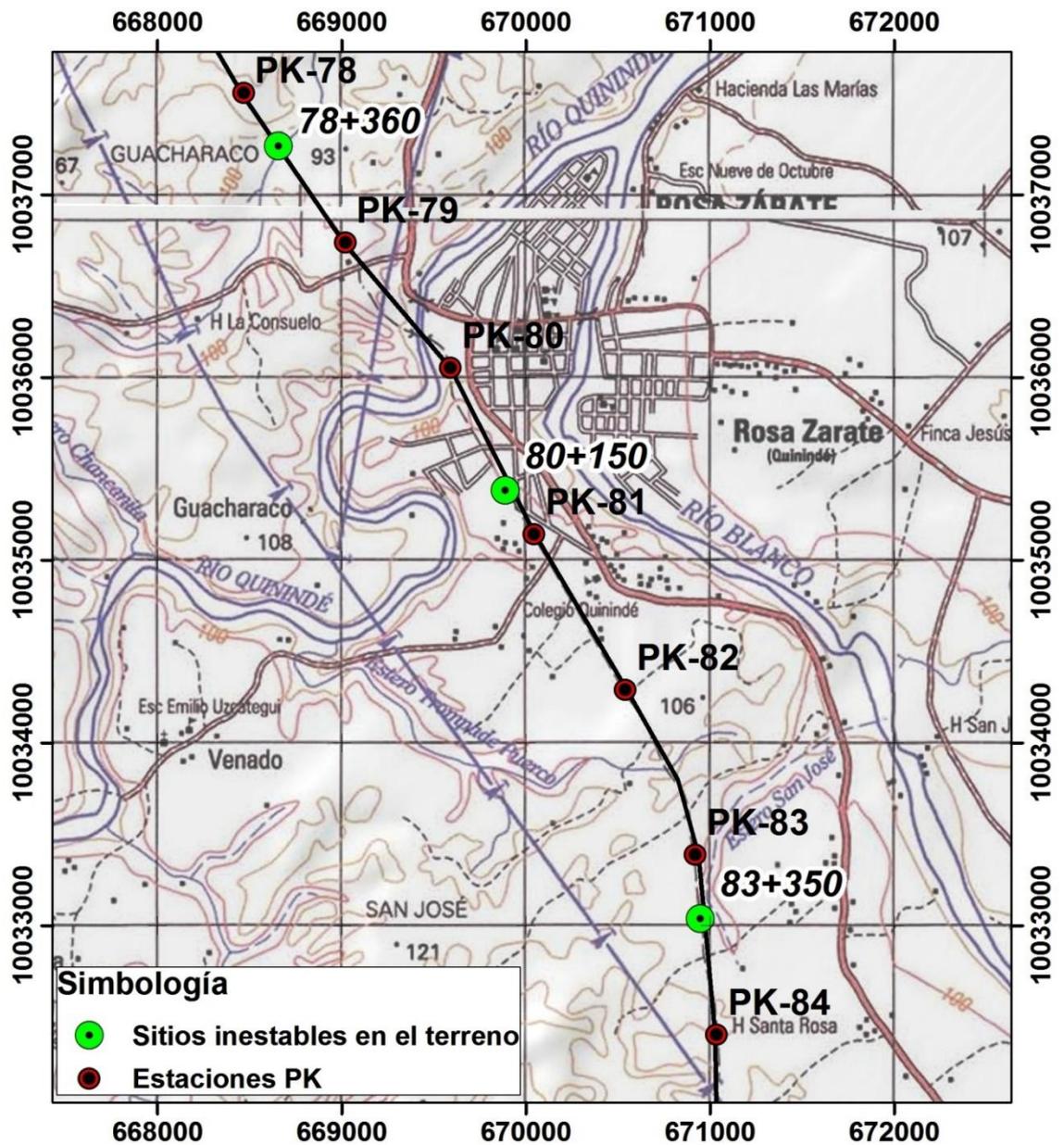
Mapa X. Extractos de las cartas topográficas Mirador y Viche a escalas 1: 50.000.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Mapa XI. Extracto de la carta topográfica El Mirador a escala 1: 50.000 que proporciona información relevante al sentido del poliducto para el sitio inestable PK 61+755.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Mapa XII. Extracto de la carta topográfica Rosa Zarate (Quinindé) a escala 1: 50.000 que proporciona información relevante al sentido del polducto para los sitios inestables Pk 78+360, Pk 80+150 y Pk 83+350

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.

## **5.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO INESTABLE PK 47+300**

### **Aspectos geomecánicos de la deformación del terreno.**

El sitio inestable se localiza a pocos metros de la comuna El Roto del cantón Quininde, en las coordenadas UTM 659.298mE, 10.064.761mN (datum WGS 1.984, 17 Sur), referenciada también a lo largo de la tubería del poliducto con las abreviaciones Pk 47+300. De acuerdo a la topografía realizada, la altitud donde yace la tubería es de 35 m.s.n.m.

La tubería se encuentra asentada en una terraza aluvial inundable donde las condiciones geomecánica del material no son las adecuadas para soportar el peso de estructura de la tubería del poliducto.

La ausencia de muros de contención y de una correcta planificación de estabilización del terreno ha incrementado el nivel de inestabilidad del sitio y una rápida aceleración de la erosión por dinámica fluvial, en este momento el desbordamiento del estero ha formado el fenómeno de subsidencia o asentamiento del soporte "H", este desplazamiento vertical es continuo y puede provocar colapso y ruptura de la tubería del poliducto.



Foto 1. Desplazamiento vertical de la tubería por subsidencia en Pk 47+300.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Foto 2. Paisaje geomorfológico del terreno indicando la extensión de la zona de subsidencia y la propuesta para la nueva variante de la tubería del poliducto

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



**Foto 3. Desplazamiento de la tubería del poliducto por subsidencia en zona de terraza aluvial inundable. Pk 47+300.**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.**

## **5.2 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS SITIOS INESTABLES Pk 56+150, Pk 56+335, Pk 56+615, Pk 56+770, Pk 57+330, Pk 57+810**

### **Aspectos geomecánicos de la deformación del terreno**

Los sitios inestables Pk56+150, Pk56+335, Pk56+615, Pk56+770, Pk57+330, Pk57+810, y Pk61+755 se encuentran ubicados al norte del Recinto Vergel del cantón Quinindé, entre los marcadores kilométricos Pk56 a Pk58, este sitio también es conocido como “Loma de Caple”.

Esta sección describe las características geológicas y de riesgo para los seis sitios inestables abreviados en el párrafo anterior. Todos estos sitios inestables están ubicados en el flanco este de la Loma de Caples, la cual es litológicamente conformada por estratos rocosos de limolitas y areniscas correspondiente a la formación geológica Viche.

Geomorfológicamente, el relieve es caracterizado por colinas de pendiente suave entre los 10 y 30 grados de inclinación en ambas laderas, en las zonas bajas de hondonadas y cursos de esteros se han desarrollado activos escarpes de deslizamientos.

Para el sitio inestable Pk56+150 (660.860mE, 10.056.449mN.), la tubería se encuentra entre los 153 y 155 m.s.n.m. Aquí, se evidencia un escarpe activo de deslizamiento que está cortando el derecho de vía.

Este escarpe tiene dos comportamientos diferentes en referencia a la tendencia de la tubería, que se ha desarrollado en sentido paralelo de la tubería tiene desprendimiento laterales que han dejado al descubierto el poliducto, la tendencia de este deslizamiento puede ocasionar daños moderados, no obstante el daño más considerable lo puede hacer el escarpe de deslizamiento con sentido perpendicular a la tendencia de la tubería, el cual puede provocar un colapso de la infraestructura.

En el sitio inestable Pk56+335 con coordenadas UTM (660.933mE, 10.056.294mN) la tubería se encuentra entre los 120 y 130 m.s.n.m. En este sitio también se evidencia un escarpe activo de deslizamiento con características similares al descrito para el Pk56+150. Así mismo, el comportamiento geomécanico de los escarpes de deslizamientos tiene tendencias diferentes en referencia a la posición de la tubería.

En el sitio inestable Pk56+615 con coordenadas UTM (661.051mE, 10.056.051mN), la tubería se encuentra entre los 156 y 160 m.s.n.m. Un escarpe activo de deslizamiento es evidenciado con características similares

al descrito para los sitios Pk56+150 y Pk56+335. En este sitio hay evidencia de formación de humedales por represamiento de aguas de escorrentías, las cuales son indicios de potenciales formadores de escarpes deslizamiento de plano profundo de tipo rotacional. No hay sistemas de canales en la zona de ladera.

En el sitio inestable Pk56+770 con coordenadas UTM (661.128mE, 10.055.953mN), la tubería se encuentra entre los 156 y 160 m.s.n.m. Aquí, se evidencia la formación de potenciales escarpes de deslizamientos y humedales. Desde un punto de vista del análisis del riesgo geológico, considerando las condiciones climáticas entre febrero a abril y la ausencia de canales captadores de agua de escorrentía, los escarpes pueden alcanzar el nivel considerable para socavar el terreno en un corto periodo de tiempo.

En el sitio inestable Pk57+330 con coordenadas UTM (661.415mE, 10.055.524mN) se encuentra entre los 135 a 140 m.sn.m. de altitud, desde un punto de vista del análisis de riesgo, presenta una serie de escarpes complejos los cuales han provocado la reducción del acceso del derecho de vía DDV.

En el sitio inestable Pk57+810 con coordenadas UTM (661.467mE, 10.055.073mN) y altitud entre los 160 m.s.n.m, presenta evidencia también un escarpe activo de deslizamiento con características similares a los descritos en este sector de Loma de Caple. En este sitio aún no se han formado los humedales, no obstante y por la falta de canales captadores de las aguas de escorrentía, pueden incrementar la tasa de velocidad de los escarpes de deslizamientos con movimiento perpendicular a la dirección de la tubería, recordando que estos son los más significativos de daño a la infraestructura.

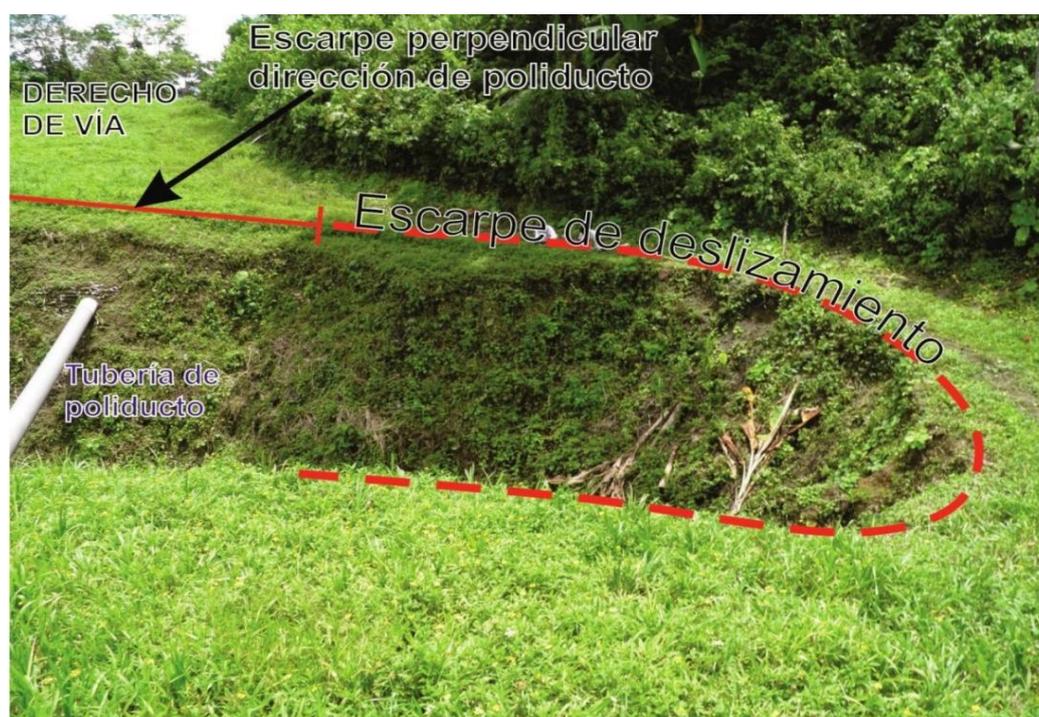
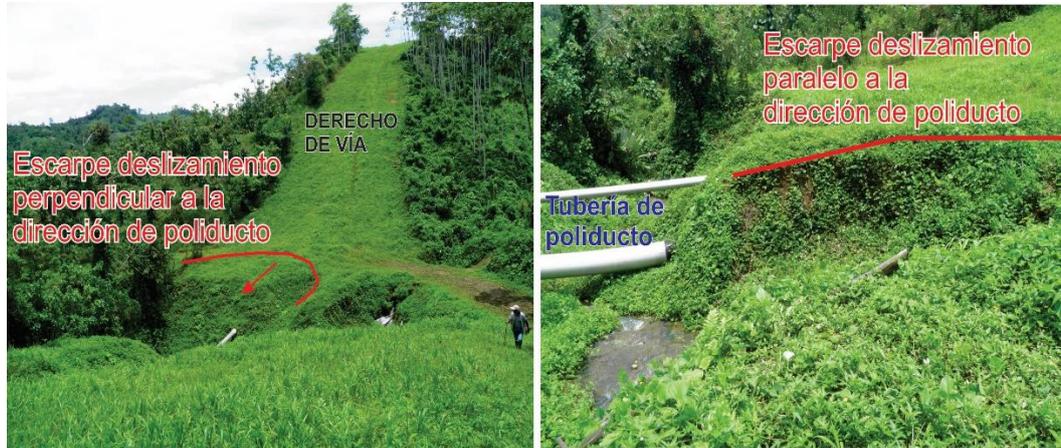


Foto 4. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+150 (660.860mE, 10.056.449mN).

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



**Foto 5. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+335 (660.933mE, 10.056.294mN).**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**



**Foto 6. Activo escarpe de deslizamiento para el sitio inestable Pk 56+615 (661.051mE, 10.056.051mN).**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**

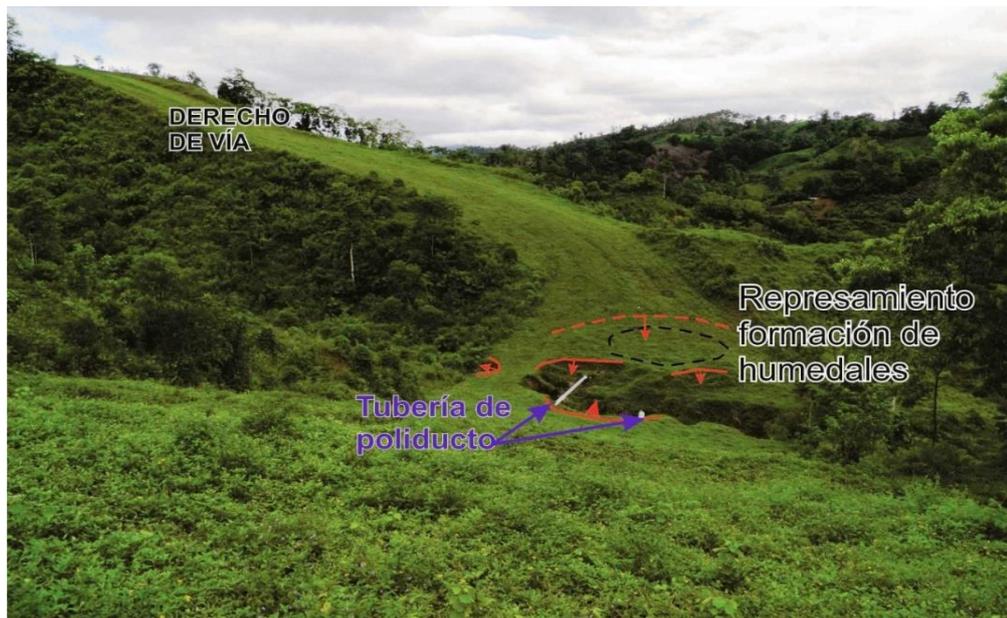


Foto 7. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+330 (661.415mE, 10.055.524mN).

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Foto 8. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+810 (661.467mE, 10.055.073mN).

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.



Foto 9. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 57+977 (661.509mE, 10.054.898mN).

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.

### 5.3 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL SITIO INESTABLE Pk 61+755

#### Aspectos geomecánicos de la deformación del terreno

El sitio inestable se localiza en el sector El Mirador del cantón Quinindé, en las coordenadas UTM son 662.336mE y 10.051.687mN. (Datum WGS 1984, 17 Sur), referenciada también a lo largo de la tubería del poliducto con las abreviaciones Pk 61+755.

La tubería del poliducto, en este tramo, se encuentra asentada en una colina media con altitudes entre los 175 a 180 m.s.n.m., a una distancia de 4 m en referencia a la tubería del SOTE que es descubierta, en su parte superior, por los desmoronamientos y derrumbes del margen de la quebrada.

En este sector de “El Mirador”, la tubería del poliducto descansa sobre estratos rocosos de limolitas y areniscas correspondientes a la formación geológica Borbón.

Geomorfológicamente, el relieve es caracterizado por colinas de pendiente suave entre los 8 y 28 grados de inclinación en sus laderas, en las zonas bajas de hondonadas y cursos de esteros se han desarrollado, posición lateral en sentido de la ladera, activos escarpes de deslizamientos que está cortando el acceso de derecho de vía.

En el terreno se puede evidenciar planos lístricos (semicircular donde se ha desplazado el estrato rocoso) de tres deslizamiento de tipo rotacional, la dirección de desplazamiento se localiza en la parte lateral del derecho de vía.

No se evidencia deslizamientos con movimientos perpendiculares a la dirección de la tubería (como las descritas en los marcadores kilométricos Pk 56+150 a Pk 61+755), sin embargo y debido a la ausencia de canales captadores de agua de escorrentía, puede formar zonas de humedales (hondonadas en zona de terraza) y posteriormente escarpes de deslizamientos.



**Foto 10. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 61+755 (662.336mE, 10.051.687mN).**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**

#### **5.4 EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS SITIOS INESTABLES Pk 78+360, Pk 80+150, Pk 83+350**

##### **Aspectos geomecánicos de la deformación del terreno**

El sitio inestable Pk 78+360 se encuentra a 1,1 Km noroeste del Poblado de Quinindé, cantón del mismo nombre. Las coordenadas UTM datum WGS 1.984 de 17 sur son 668.657mE, 10.037.262mN, referenciada también a lo largo de la tubería del poliducto con las abreviaciones Pk 78+360.

En este sector la tubería del poliducto se encuentra enterrada en una zona baja de valle, los estratos rocosos de limolitas y areniscas correspondientes a la formación geológica Borbón no son aflorantes, solo puede ser observado antiguos sedimentos caóticos con incrustaciones de troncos de árboles, asociado a un probable evento de avalancha.

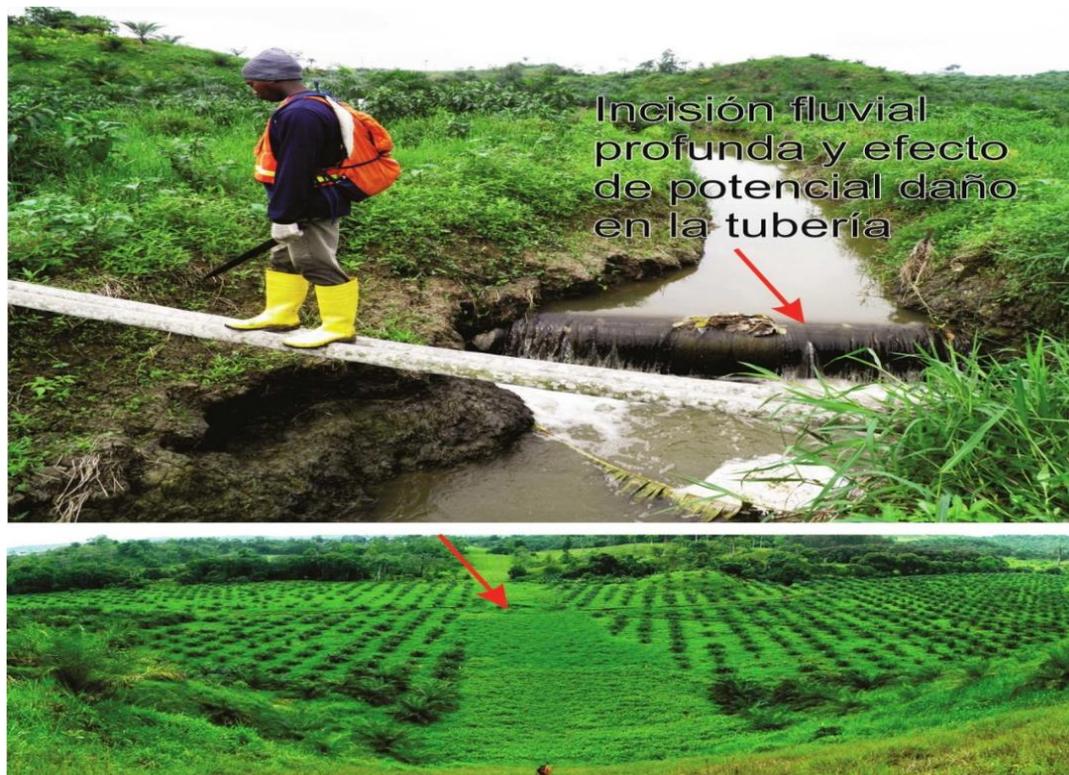
El estero Guacharaco ha iniciado considerablemente en el terreno dejando al descubierto la tubería del SOTE. Las actuales condiciones de exposición de la tubería del SOTE y la probabilidad de dejar descubierto la tubería del poliducto pueden ser afectado por el arrastre de cantos o bloques de rocas desde la laderas altas de la zona ponen en riesgo de un posible colapso de la infraestructura.

Geomorfológicamente, esta zona es caracterizada por su forma de valle, las trayectoria de las aguas de escorrentías de diferentes direcciones de laderas son justificadas por los bajos grados de inclinación en las laderas entre 4 y 28°, así como la rápida erosión e incisión fluvial del terreno, demostrando también que si puede ocurrir arrastres de bloques rocosos a través del estero Guacharaco.

El sitio inestable Pk 80+150 se encuentra al sur del poblado de Quinindé, en las UTM, 669.887mE y 10.035.377mN, referenciada también a lo largo de la tubería del poliducto con las abreviaciones Pk 80+150. Este sitio es caracterizado por presentar una rápida sedimentación durante periodos invernales de alta precipitaciones. Este sitio presenta un bajo nivel de inestabilidad ya que los aportes de sedimentos desde los canales y de quebradas fluviales son poco significativos para provocar colapsos y daños a la tubería, sin embargo presta una mayor atención en corregir los costados del canal para evitar caídas de detritos y arrastre de sedimentos.

En el sitio inestable Pk 83+350 se localiza a 3 Km sur del poblado de Quinindè, en las coordenadas UTM 670.947mE y 10.033.035mN, asentada en una zona de terraza con altitud de 100 m.s.n.m., esta estación es referenciada a lo largo de la tubería del poliducto con las abreviaciones Pk 83+350. Rasgos de inestabilidad en el terreno es asociada a asentamiento

y/o subsidencia que a la vez permiten la formación de humedales o zonas de represamiento de agua de escorrentía.



**Mapa 11. Socavamiento por incisión fluvial profunda en el estero Guacharaco, sitio inestable Pk 78+360 (668.657mE, 10.037.262mN).**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.**



Foto 12. Activos escarpes de deslizamientos para el sitio inestable Pk 83+350 (670.947mE, 10.033.035mN).

Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.

# **CAPÍTULO 6**

## **6. ESTUDIOS DE PROPUESTAS DE VARIANTES DESDE ANÁLISIS GEOLÓGICOS**

De acuerdo a la evaluación geológica de los sitios inestables que se hizo en el capítulo anterior necesitamos realizar los posibles cambios de variantes el cual se detallará en este capítulo.

### **6.1 Introducción**

Se ha realizado un Estudio de variantes o alternativa de obras de protección en sitios de inestabilidad geológica, a lo largo del tramo de derecho de vía (DDV) de la tubería del poliducto. Las alternativas de variantes donde se ha perdido el derecho de vía por invasión de población, principalmente en la zona de Quinindé.

Durante la fase de geología de superficie y exploración, se realizó un levantamiento geológico – geomorfológico en los 40 marcadores kilométricos desde el Pk-40 al Pk-80, de los cuales se encontró sitios que meritan variantes en los, Pk 47+300 y Pk 83+350. En las secciones siguientes se detalla el análisis geológico y propuesta de alternativas a las variantes identificadas en el DDV de la tubería del poliducto.

## **6.2 Selección de Variantes**

Se ha realizado un Estudio de variantes o alternativa de obras de protección en sitios de inestabilidad geológica, a lo largo del tramo de derecho de vía (DDV) de la tubería del poliducto. Las alternativas de variantes donde se ha perdido el derecho de vía por invasión de población, principalmente en la zona de Quinindé.

Durante la fase de geología de superficie y exploración, se realizó un levantamiento geológico – geomorfológico en los 40 marcadores kilométricos desde el Pk-40 al Pk-80, de los cuales se encontró sitios que meritan variantes en los, Pk 47+300 y Pk 83+350. En las secciones siguientes se detalla el análisis geológico y propuesta de alternativas a las variantes identificadas en el DDV de la tubería del poliducto.

Como resultado de los análisis geológicos de doce (12) sitios inestables se ha seleccionado dos estaciones que meritan realizar variantes en el cambio de la tubería del poliducto, estas son:

Variante	PK's	X (mE)	Y (mN)	Cota (m.s.n.m)	Amenaza geológica
1	47+300	659298	10064761		Represamiento - Subsistencia rápida
2	83+350	670947	10033035	100	Deslizamientos y subsidencia

**Tabla IV.: Lista de Pk's donde se realizaran variantes. Las coordenadas empleadas en la identificación de los marcadores kilométricos (Pk's) es el WGS 1984 UTM zona 17 Sur.**

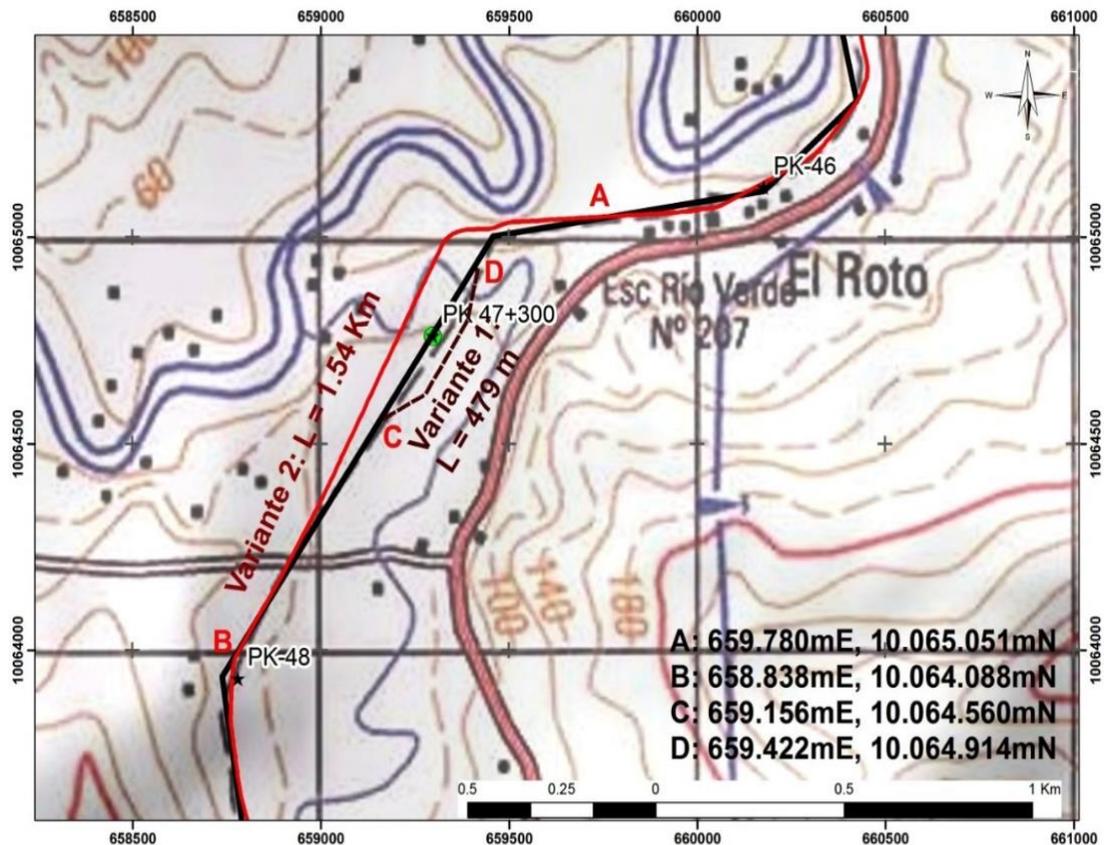
Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.

### 6.2.1 Variante propuesta de Pk 47+300

Este sitio se encuentra en una zona activa de subsidencia la cual forma parte de la planicie aluvial del estero, las bases de sostenimiento de la tubería del poliducto continúan en descenso, por lo que se recomienda emplear una de las siguientes variantes propuestas:

- **Opción 1:** está representada como la variante 1 con longitud de 479 m, aquí se recomienda desplazar la tubería a 50 metros de distancia horizontal hacia el este, previo los respectivos trámites de compra del terreno colindante. Además de construir obras civiles y muros de contención que direccionen el caudal del estero y eviten una continua expansión hacia el este de la planicie de inundación.
- **Opción 2:** Esta variante sugiere desviar la tubería en el Pk 46+400 continuando con el derecho de vía del OCP, desplazando la tubería del

poliducto en la estación A y de allí siguiendo en tendencia paralela a la tubería del OCP por 1,54 km de longitud hasta conectarse nuevamente con la estación B, cercana al punto Pk 48+700. No se ha podido realizar o compilar datos topográficos o muestras de suelo sin el debido permiso y autorización del OCP.



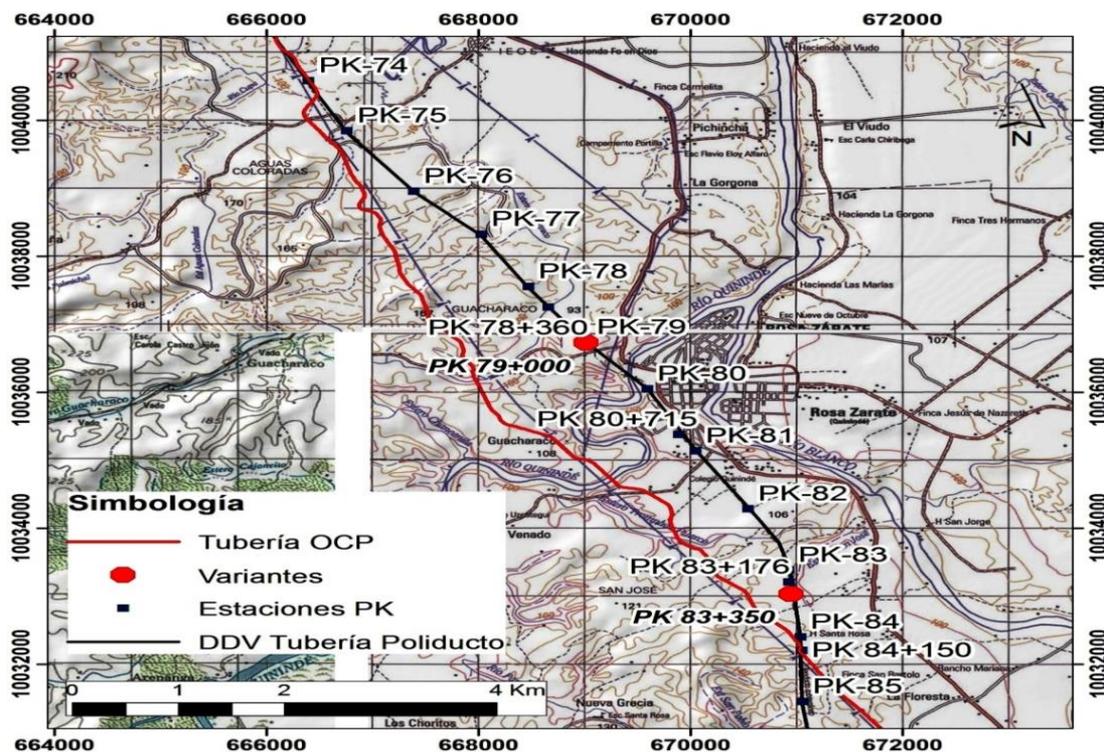
**Mapa XIII. Carta topográfica del sector el Roto delineando las variantes 1 y 2 propuestas para el cambio de tubería en el marcador kilométrico PK 47+300.**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.**



Foto 13. Ruta de vía del Poliducto y del OCP para el sitio inestable 47+300. Variante propuesta de la opción 2.

Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.



Mapa XIV. Carta topográfica delineando el derecho de vía del poliducto y el cambio de ruta siguiendo el trazado del OCP

Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.

Para realizar la variante propuesta debemos establecer el estudio del terreno el cual presenta las siguientes características:

- Limos
- Arcillas de color gris oscuro a café claro, con lentes de arenas, residuos vegetales y pintas de oxidación.

### **6.2.2 Variante propuesta de PK 83+350**

Este sitio es caracterizado por múltiples fenómenos geológicos, escarpes activos donde los planos de deslizamientos son profundos y provocan a su vez subsidencia en las bases o soportes de la tubería del poliducto. Desde un punto de vista del análisis geomorfológico, se propone dos opciones de cambio de tubería:

- **Opción 1:** construir un paso aéreo de 128 metros de longitud desde los puntos más altos de la colina, desde las coordenadas 670940mE y 10.033,084mN hasta los 670953mE y 10.032,956mN, atravesando el sitio inestable.
- **Opción 2:** Se recomienda desviar la tubería del poliducto en el marcador kilométrico Pk 74+215 (666.478mE y 10.040.379mN) justo en la intersección con el DDV de la tubería del OCP hasta conectarse nuevamente con el derecho de vía del Poliducto en el Pk 84+150 (671.030mE y 10.032.254mN), en total la longitud de esta variante es de 10.04 km. Cabe indicar que esta variante resuelve la problemática de

invasión poblacional en Quinindé del sitio inestable (análisis de estudio ambiental) de la estación Pk 79+00.



**Foto 14. Estación PK 83+350 que evidencia escarpes de deslizamiento y zona de subsidencia que afecta los soportes de la tubería del poliducto.**

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsísmica.**

Las características del terreno para realizar la variante propuesta tenemos que son las siguientes:

- Arena arcillosa café amarillenta con pintas de oxidación.
- Grava de hasta 1<sup>1/2</sup>".

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

1. Se Identificó tipos de fallas geológicas capaces de generar amenazas de origen natural.
2. Se concluyó que esta sismicidad obedece principalmente a procesos de subducción caracterizadas por sismos localizados a profundidades entre 1 a 20 km y que la actividad de fallas corticales se encuentran localizados a profundidades menores a los 40 km
3. Se ha estimado la máxima intensidad para los marcadores kilométricos PK's correspondiente al trazado de la tubería del Poliducto, es así que PK 40 a PK 50 representa el máximo grado de intensidad VIII, mientras que para los PK 51 a PK 80 se estiman la menor intensidad de grado VII.

4. Se Evaluó los daños de tubería del poliducto desde Viche hasta Quinindè conociendo así los sitios inestables y proponiendo propuestas de variantes.
5. Durante el trabajo de campo se han identificado 12 sitios inestables, rasgos geológicos que podrían causar daño a la tubería tales como: deslizamientos y/o movimientos de tierra superficiales, subsidencia o hundimiento paulatino del terreno y derrumbes
6. Como resultado de los análisis geológicos se ha seleccionado dos propuestas de variantes que meritan realizar el cambio de la tubería del poliducto, estas son: Pk 47+300 y PK 83+350, además para proteger los sitios de inestabilidad geológica; o en donde se ha perdido el derecho de vía por alta tasa de erosión o por activos escarpes de deslizamientos.

## 7.2 Recomendaciones:

1. En la variante 47+300 se sugiere continuar con el derecho de vía del OCP, desplazando la tubería del poliducto en la estación B (Pk 46+400) y de allí siguiendo en tendencia paralela a la tubería del OCP por 1,7 km de longitud hasta conectarse nuevamente con la estación A, cercana al punto Pk 48+700.
2. En los sitios inestables del Pk 56+150, Pk 56+335, Pk 56+615, Pk 56+770, Pk 57+330, Pk 57+810 se debe direccionar a los escarpes con movimientos perpendiculares a la dirección de la tubería, ya que estos rasgos pueden causar daño directo y colapso de la infraestructura.
3. Para evitar el continuo desarrollo de los escarpes en el Pk 61 + 755 se recomienda realizar un modelamiento del terreno a través de bermas que a su vez será adaptado al sistema de canal de recepción de agua y desemboque directamente a los esteros y ríos.
4. Para las variantes 79+00 (estudio ambiental) y 83+350 se recomienda desviar la tubería del poliducto en el marcador kilométrico Pk 74+215 (666.478mE y 10.040.379mN) justo en la intersección con el DDV de la tubería del OCP hasta conectarse nuevamente con el derecho de vía del Poliducto en el Pk 84+150

(671.030mE y 10.032.254mN), en total la longitud de esta variante es de 10.04 km

5. En el sitio inestable Pk 80+150, se recomienda construir un canal que evite aportes de sedimentos desde los costados, de este modo se disminuye el aporte de sedimentación.
6. En las intersecciones de los cauces fluviales (ríos menores y esteros), se recomienda colocar la tubería en posición subfluvial, ya que no se ha encontrado rasgos de inestabilidad en los mismos. Un cruce aéreo de la tubería es recomendada en el marcador kilométrico Pk 83+350.
7. Para próximos estudios en la determinación de riesgos por deslizamiento se recomienda realizar una topografía a detalle de 500 metros de distancia desde cada lado de la tubería del poliducto, este dato es fundamental para determinar potenciales amenazas lejanas que podrían afectar la tubería y operación de la misma.

# Bibliografía

1. Catálogo. del Neic (National Earthquake Information Center).
2. "Estudio de Geología de Superficie: Estudios de ingeniería básica y de detalle para el cambio de la tubería del poliducto Esmeraldas-Santo Domingo", en Consulsísmica 04 Julio 2013
3. "Instituto Geográfico Militar del Ecuador: el Atlas Multimedia del Ecuador".
4. "El comercio exterior del Ecuador: Análisis del intercambio de bienes desde la colonia hasta la actualidad", en Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 173, 2012.
5. "EP Petroecuador: Petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera", primera edición, Junio 2013.
6. "Escuela Politécnica Nacional: Control y visualización de las etapas de recepción, filtración y despacho de combustible de la planta Jet Fuel del terminal El Beaterio de Petrocomercial", Francisco Andrade, Septiembre 2007.

7. Ayala et al. (Riesgos Geológicos, IGME 1987).
8. “Chunga 2010, Ego et al. 1996 y 1997, Eguez et al. 2003.)”
9. "Petroecuador: Diagnóstico y Plan de Manejo Ambiental del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y Sistema de Poliductos Shushufindi – Quito y Esmeraldas – Quito"
10. Jose Luis Vivanco collaguazo(Julio 2010).Tesis de grado” Desarrollo y aplicación del procedimiento para el cambio de tubería en el poliducto Esmeraldas-Quito(tramo santo Domingo-Beaterio) por deterioro de la misma en el año 2009.
- 11.“Estudio de ingeniería de la carretera Santo Domingo-Esmeraldas y la estructuración jurídica, tectónica y económico-financiera RE-20-EIS-MTOP-2012”.
- 12.“Well & Coppermish (1994) y por Leonard (2010)”.
- 13.“Diagnóstico y Plan de Manejo Ambiental del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y Sistema de Poliductos Shushufindi – Quito y Esmeraldas – Quito “

# **ANEXOS**

**ANEXO A:** Tabla de Coordenadas de marcadores kilométricos desde PK-40 a PK-80

<b>Estación</b>	<b>X (mE)</b>	<b>Y (mN)</b>
PK-40	661147	10070825
PK-41	660935	10069840
PK-42	660671	10068877
PK-43	660415	10067911
PK-44	660264	10066941
PK-45	660420	10065971
PK-46	660176	10065120
PK-47	659252	10064676
PK-48	658779	10063931
PK-49	658908	10062974
PK-50	659344	10062096
PK-51	659788	10061135
PK-52	659682	10060274
PK-53	660023	10059401
PK-54	660429	10058479
PK-55	660541	10057543
PK-56	660792	10056600
PK-57	661202	10055733
PK-58	661522	10054871
PK-59	661948	10054299
PK-60	662536	10053468
PK-61	662254	10052456
PK-62	662350	10051445
PK-63	662453	10050492
PK-64	662496	10049416
PK-65	662960	10048744
PK-66	663140	10047775
PK-67	663381	10046777
PK-68	663682	10045853
PK-69	663982	10044972
PK-70	664416	10044107
PK-71	664978	10043252
PK-72	665512	10042318
PK-73	665944	10041529
PK-74	666397	10040581
PK-75	666760	10039843
PK-76	667389	10038954
PK-77	668024	10038323

<b>Estación</b>	<b>X (mE)</b>	<b>Y (mN)</b>
PK-78	668469	10037554
PK-79	669021	10036735
PK-80	669592	10036048

**Fuente: Reporte Técnico, Consulsística.**

**ANEXO B:** Tabla de características geomorfológicas para los  
 marcadores kilométricos PK's

Id.	Estaciones PK's	Descripción geomorfológica
U109	38 a 44	Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial limo-arcillosos y areno-limosos.
U9	44 a 47	Relieve de colinas altas, potente sedimentación oligo-miocena de arcillas y lutitas (formación Viche) con intercalaciones de areniscas y conglomerados poco cementados, limolitas y tobas volcánicas
U109	47 a 50	Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial limo-arcillosos y areno-limosos.
U9	50 a 59	Relieve de colinas altas, potente sedimentación oligo-miocena de arcillas y lutitas (formación Viche) con intercalaciones de areniscas y conglomerados poco cementados, limolitas y tobas volcánicas
U58	59 a 66	Colinas bajas, colinas deprimidas y paisajes ondulados por debajo de los relieves tabulares areniscosos, suelos fersialíticos y arcillosos.
U25	66 a 73	Relieve de mesas derivadas, colinas y lomos alargados de oeste a este, con cimas redondeadas y vertientes rectilíneas desarrolladas sobre las limolitas y areniscas de la formación Onzole, suelos mólicos de profundidad variable asociados con suelos fersialíticos más o menos lixiviados.
U27	73 a 79	Relieve de colina baja, inclinada entre 4 a 9°, también cimas planas de poco desnivel, conformada por estratos alterados de areniscas y limolitas, suelos fersialíticos arcillosos lixiviados.
U109	79 a 83	Terrazas escalonadas conformadas por material aluvial limo-arcillosos y areno-limosos.

**Fuente:** Reporte Técnico, Consulsísmica.