



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TEMA:

“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL
TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA – NUMBIARANGA
– PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA
Y MACARÁ, PROVINCIA DE LOJA”

Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniera en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial

Autora:

Maritza Ximena Ochoa Tapia

Director:

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío Mg. Sc.

Loja – Ecuador
2013



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE
VÍA NUEVA FÁTIMA – NUMBIARANGA – PORTACHUELO
DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ. PROVINCIA
DE LOJA”**

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío Mg. Sc.

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación ha sido dirigido y revisado en todas sus partes, por lo que autorizo su presentación y sustentación.

Loja, octubre de 2013.



Ing. Michael Valarezo Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

**Docente de la Carrera de Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial.**

AUTORÍA

Yo, Maritza Ximena Ochoa Tapia declaro ser autora del presenta trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Autor: Maritza Ximena Ochoa Tapia.

Firma:



Cédula: 110438524-8

Fecha: 01 de octubre de 2013.

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL
AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL
O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO
COMPLETO**

Yo, Maritza Ximena Ochoa Tapia declaro ser autora de la tesis titulada: "Estudio Geológico – Geotécnico del tramo de vía Nueva Fátima – Numbiaranga – Portachuelo de los cantones Sozoranga y Macará. Provincia de Loja", como requisito para optar al grado de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, al primer día del mes de octubre del dos mil trece.

Firma:



Autor:

Maritza Ximena Ochoa Tapia.

Cédula:

110438524-8

Dirección:

Av. Manuel Agustín Aguirre y Cuba.

Correo Electrónico: ximenita8at@hotmail.com

Teléfono:

07 2587 411

Celular:

098 518 6038

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director:

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho cariño a mis queridos padres y hermanos quienes con su apoyo incondicional propiciaron la culminación de mis estudios universitarios.

Maritza Ximena



AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y de manera especial al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, carrera de Ingeniería Ambiental y Ordenamiento Territorial, por haberme acogido durante mi formación académica.

Al Ing. Michael Valarezo R. Mg. Sc, Director de Tesis, por su valiosa orientación en el desarrollo de la investigación para el logro de los objetivos propuestos, y de igual forma a los Ingenieros Carlomagno Chamba y Julio Romero por su asesoría técnica para la ejecución del presente estudio.

La Autora



ÍNDICE GENERAL.

| | |
|---|----|
| RESUMEN. ----- | 1 |
| I. INTRODUCCIÓN. ----- | 3 |
| II. OBJETIVOS. ----- | 6 |
| 2.1. Objetivos. ----- | 6 |
| 2.2. Alcance. ----- | 6 |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA. ----- | 7 |
| 3.1. Vialidad en el Ecuador. ----- | 7 |
| 3.2. Los Estudios Geológicos en Infraestructura Vial. ----- | 10 |
| 3.2.1. Aerofotogrametría. ----- | 11 |
| 3.2.2. Geología. ----- | 12 |
| 3.2.3. Geomorfología. ----- | 13 |
| 3.2.4. Geología Estructural. ----- | 13 |
| 3.2.5. Hidrogeología. ----- | 14 |
| 3.3. Estudio Geotécnico en vías. ----- | 15 |
| 3.3.1. Estudio de Suelos y Materiales. ----- | 18 |
| 3.3.2. Muestreo de terreno. ----- | 19 |
| 3.4. Factor de Seguridad (Fs). ----- | 20 |
| 3.4.1. Método de Rebanadas (Método de Bishop). ----- | 20 |
| 3.4.2. Método de Cuñas. ----- | 20 |
| 3.4.3. Métodos de masa total (Método de Taylor). ----- | 21 |
| 3.4.4. Ábacos de Hoek y Bray. ----- | 21 |
| 3.4.5. Método de Rotura Planar. ----- | 23 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS. ----- | 27 |
| 4.1. Materiales. ----- | 27 |
| 4.2. Metodología: Métodos y Técnicas. ----- | 28 |
| V. RESULTADOS. ----- | 41 |
| 5.1. Descripción general del área de Estudio. ----- | 41 |
| 5.1.1. Ubicación del área de estudio. ----- | 41 |
| 5.1.2. Edafología. ----- | 43 |
| 5.1.3. Hidrología. ----- | 44 |



| | |
|--|------------|
| 5.1.4. Precipitación. ----- | 45 |
| 5.1.5. Temperatura. ----- | 45 |
| 5.1.6. Flora. ----- | 45 |
| 5.1.7. Fauna. ----- | 47 |
| 5.1.8. Descripción socio económica de las comunidades beneficiadas por la vía. ----- | 48 |
| 5.2. Estudio Geológico Geotécnico. ----- | 58 |
| 5.2.1. Topografía. ----- | 58 |
| 5.2.2. Pendientes. ----- | 59 |
| 5.2.3. Geomorfología. ----- | 60 |
| 5.2.4. Geología Regional.----- | 61 |
| 5.2.5. Geología Estructural. ----- | 62 |
| 5.2.6. Análisis Geológico – Geotécnico del trazado vial----- | 65 |
| 5.2.7. Geología Local. ----- | 66 |
| 5.2.8. Características Hidrogeológicas. ----- | 76 |
| 5.2.9. Determinación de propiedades físico mecánica de suelos. -- | 77 |
| 5.2.10. Determinación de las características estructurales de las formaciones geológicas. Clasificación geomecánica (Bieniawsky) de los macizos rocosos. ----- | 87 |
| 5.2.11. Taludes. ----- | 94 |
| 5.2.12. Análisis de Estabilidad de taludes. ----- | 96 |
| VI. DISCUSIÓN. ----- | 106 |
| VII. CONCLUSIONES.----- | 110 |
| VIII. RECOMENDACIONES. ----- | 112 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA. ----- | 113 |
| X. ANEXOS. ----- | 115 |



ÍNDICE DE CUADROS.

| | |
|---|-----|
| Cuadro 1. Red vial nacional según categoría de camino. | 9 |
| Cuadro 2. Número de muestras para la determinación de las propiedades físico – mecánica del terreno. | 30 |
| Cuadro 3. Coordenadas referenciales de ubicación del tramo de vía Nueva Fátima – Portachuelo, cantones Sozoranga y Macará. | 42 |
| Cuadro 4. Ubicación de los drenajes que atraviesan el eje vial Portachuelo – Nueva Fátima. | 44 |
| Cuadro 5. Elementos geomorfológicos presentes en el sector y área ocupada. | 60 |
| Cuadro 6. Descripción de afloramiento 1. | 72 |
| Cuadro 7. Descripción de afloramiento 2. | 73 |
| Cuadro 8. Descripción de afloramiento 3. | 74 |
| Cuadro 9. Descripción de afloramiento 4. | 75 |
| Cuadro 10. Clasificación SUCS de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros. | 79 |
| Cuadro 11. Clasificación AASHTO de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros. | 80 |
| Cuadro 12. Consistencia de los suelos arcillosos y arenosos presentes en la vía. | 83 |
| Cuadro 13. Clasificación cuantitativa de los resultados de CBR. --- | 84 |
| Cuadro 14. Clasificación cuantitativa de los resultados de DCP. --- | 86 |
| Cuadro 15. Parámetros de las discontinuidades. | 90 |
| Cuadro 16. Determinación la clasificación RMR: Granodioritas. ---- | 92 |
| Cuadro 17. Determinación la clasificación RMR: Andesita. | 93 |
| Cuadro 18. Parámetros para el cálculo Rotura Planar. | 99 |
| Cuadro 19. Parámetros de estimación para el Método de Ábacos. | 102 |



ÍNDICE DE TABLAS.

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación de Deere de los macizos rocosos. ----- | 33 |
| Tabla 2. Condiciones de Juntas. ----- | 34 |
| Tabla 3. Valores para determinar el macizo rocoso. ----- | 36 |
| Tabla 4. Clases de macizo rocoso. ----- | 36 |
| Tabla 5. Clasificación Taxonómica de los suelos. ----- | 43 |
| Tabla 6. Clasificación para la elaboración de Mapa de Pendientes. ----- | 59 |
| Tabla 7. Grado de meteorización de las rocas. ----- | 77 |
| Tabla 8. Clasificación típica de CBR y su uso. ----- | 85 |
| Tabla 9. Clases de Macizos Rocosos. ----- | 88 |
| Tabla 10. Clasificación de la resistencia de roca inalterada. ----- | 89 |



ÍNDICE DE GRÁFICAS.

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Sistema de clasificación S.U.C.S.----- | 31 |
| Gráfica 2. Sistema de clasificación AASHTO. ----- | 32 |
| Gráfica 3. Clasificación de los parámetros y sus valores. ----- | 35 |
| Gráfica 4. Ubicación de la Vía Nueva Fátima Numbiaranga, Portachuelo. ----- | 41 |
| Gráfica 5. Vista General de la Vegetación en el área de influencia del proyecto. ----- | 46 |
| Gráfica 6. Distribución poblacional en la parroquia Nueva Fátima. - | 49 |
| Gráfica 7. Flujo migratorio desde Nueva Fátima a España ----- | 49 |
| Gráfica 8. Distribución poblacional en la parroquia Lubushco.----- | 51 |
| Gráfica 9. Flujo migratorio desde Lubushco a España. ----- | 51 |
| Gráfica 10. Distribución poblacional en la parroquia Puritaca. ----- | 53 |
| Gráfica 11. Flujo migratorio de los pobladores de Puritaca a España.----- | 53 |
| Gráfica 12. Distribución poblacional en la parroquia Puritaca. ----- | 55 |
| Gráfica 13. Flujo migratorio desde Numbiaranga a España y EEUU. ----- | 55 |
| Gráfica 14. Distribución poblacional en la parroquia Portachuelos. 56 | |
| Gráfica 15. Flujo migratorio de los pobladores de Portachuelos.---- | 57 |
| Gráfica 16. Afloramiento en la Quebrada Lubushco. ----- | 72 |
| Gráfica 17. Afloramiento cercano al ingreso del barrio Lubushco.-- | 73 |
| Gráfica 18. Afloramiento en la Quebrada Numbiaranga. ----- | 74 |
| Gráfica 19. Intersección de la vía de estudio con la vía Panamericana. ----- | 75 |
| Gráfica 20. Porcentaje de CBR presente en la vía de estudio. ----- | 85 |
| Gráfica 21. Porcentaje de DCP presente en la vía de estudio. ----- | 86 |
| Gráfica 22. Relación de las actuales condiciones métricas. ----- | 95 |
| Gráfica 23. Determinación de los valores para roturas planares en la vía. ----- | 98 |
| Gráfica 24. Grafica de Sensibilidad (GS) relacionando el FS y la | |



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

| | |
|--|-----|
| cantidad de agua ----- | 101 |
| Gráfica 25. Valores graficados en el Abaco de Hoek y Bray para materiales semi-saturados----- | 103 |
| Gráfica 26. Grafica de Sensibilidad al diseño del talud ----- | 104 |



ÍNDICE DE ANEXOS.

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Mapa de Taxonomía de Suelos del sector de estudio.--- | 116 |
| Anexo 2. Mapa de Red Hídrica del sector de estudio. ----- | 117 |
| Anexo 3. Mapa de Isoyetas del sector de estudio. ----- | 118 |
| Anexo 4. Mapa de Isotermas del sector de estudio. ----- | 119 |
| Anexo 5. Mapa de Topografía del sector de estudio.----- | 120 |
| Anexo 6. Mapa de Levantamiento Topográfico de la vía. ----- | 121 |
| Anexo 7. Mapa de Pendientes del sector de estudio. ----- | 122 |
| Anexo 8. Mapa de Geomorfológico del sector de estudio. ----- | 123 |
| Anexo 9. Mapa de Geología Regional del sector de estudio. ----- | 124 |
| Anexo 10. Mapa de Geología Local del sector de estudio. ----- | 125 |
| Anexo 11. Cuadros sintetizados de resultados físico-Mecánicos de suelos. ----- | 126 |
| Anexo 12. Fichas de descripción de Litología de Calicatas.----- | 127 |
| Anexo 13. Fichas modelo de caracterización de taludes. ----- | 128 |
| Anexo 14. Fotocopias de ensayos de laboratorio de Compresión, porosidad y contenido de humedad de rocas.----- | 129 |
| Anexo 15. Registro Fotográfico.----- | 130 |
| Anexo 16. Proyecto de Tesis. ----- | 131 |



RESUMEN

El presente trabajo investigativo se lo ejecutó en los cantones Sozoranga y Macará de la Provincia de Loja, donde se realizó un Estudio Geológico - Geotécnico de la vía Nueva Fátima - Numbiaranga - Portachuelo con la visión de determinar si el tramo de vía antes nombrado, presta las características geológico - geotécnicas aptas para su mejoramiento y ampliación en futuras disposiciones para el desarrollo productivo, ganadero y turístico del sector, ya que este constituye un eje vial de tercer orden.

La metodología empleada para la ejecución del trabajo investigativo se basó en tres niveles: el primer nivel consistió en recolección de información bibliográfica referente a la zona de estudio y apoyo bibliográfico referente a conceptos teóricos.

El segundo nivel consistió en trabajo de campo y recolección de información in situ donde se llevó a cabo los levantamientos topográfico, geológico y medidas geológico estructurales, así como recolección de muestras de suelos y rocas.

El tercer nivel se basó netamente en la interpretación de toda información obtenida como: información bibliográfica, información topográfica, geológica y estructural de campo e interpretación de resultados de laboratorio sobre las muestras de rocas y suelos.

Como resultado del presente estudio se obtuvo que la vía Nueva Fátima – Numbiaranga – Portachuelo si presta las condiciones geológico – geotécnicas idóneas para su mejoramiento, considerando que para el diseño de asfalto se contemplen todos los parámetros calculados en la presente investigación.



ABSTRACT

This research work is executed in the cantons Sozoranga and Macará of the Province of Loja, which hosted a Geological Survey - New road Geotechnical Fatima - Numbiaranga - Portachuelo with the view of determining whether the section of track above named, provided geological features - geotechnical suitable for future improvement and expansion in productive development provisions, livestock and tourism sector, since this is a third order road axis.

The methodology for the implementation of research work is based on three levels: the first level consisted of collecting bibliography information for the study area and bibliographic support regarding theoretical concepts.

The second level consisted of field work and data collection site where conducted topographic surveys, geological and structural geological measures and collecting soil and rock samples.

The third level was based purely on the interpretation of any information obtained as bibliographic information, topographic, geological and structural interpretation of field and laboratory results on samples of rocks and soils.

As a result of this study it was found that the way New Fatima - Numbiaranga - Portachuelo if given geological conditions - geotechnical suitable for improvement, considering that for the design of asphalt address all of the parameters calculated in the present investigation.



XI. INTRODUCCIÓN

Atendiendo a cifras oficiales del Ministerio de Transportes y Obras Públicas – MTOP¹- y de la Secretaria de la Presidencia de la República del Ecuador, el territorio ecuatoriano para el periodo 2007 – 2012, ha logrado significativamente consolidar una nueva y mejorada infraestructura vial. Económicamente en este periodo, se ha conseguido una inversión superior a los 3.300 millones de dólares relacionando viaductos, puentes, mantenimiento vial y un sistema integrado de vías ya sea de pavimento rígido o flexible. Los denominados circuitos cortos en el sistema jerárquico vial, relacionan los tramos de vías que unen parroquias o cantones – parroquias, complementando vías de segundo y primer nivel. De ese modo se genera un sistema nacional articulado y jerarquizado².

Como proyección, en el Ecuador se cuenta con 187 obras en curso en las diferentes Provincias y Cantones del país y 23 proyectos en estudio. En el orden Zonal la infraestructura vial está a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la misma que ha delegado a los Gobiernos Locales o Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), quienes responden a las exigencias de las comunidades y destinan su maquinaria para obras con una visión a corto plazo y sin mucha planificación únicamente para cubrir las necesidades puntuales de la comunidad. En estos casos se desarrollan obras con mínimos estudios técnicos lo que conlleva a una generación de problemas geológicos, geotécnicos, civiles y ambientales.

El desarrollo de vías suelen generar varias afectaciones ambientales y sociales cuando carecen de un estudio técnico integral y de participación ciudadana; entre los más relevantes, se pueden mencionar la

¹ Informe Oficial. - MTOP - Informe de Rendición de Cuentas 2011.

² Plan Nacional de Desarrollo o Plan Nacional del Buen Vivir. 2009 – 2013. Páginas 384 – 386.



inestabilidad en taludes y laderas, la alteración biofísica del ecosistema, fragmentación de ecosistemas, riesgos a infraestructuras debido a la construcción de vías en lugares no aptos o ineficientes sin tomar en cuenta los códigos y ordenanzas de construcción y, un incremento de la vulnerabilidad social debido a la potencialización de factores desencadenantes de las vías a procesos de geodinámica externa principalmente.

Todas estas eventualidades se desarrollan debido a la falta de estudios que prevean un despeje adecuado del terreno, la interacción del comportamiento geomecánico entre las propiedades mecánicas de las rocas y suelos, la estimación errónea o su omisión de la estabilidad de los taludes, lo que suele generar un deterioro progresivo de la estructura de la vía y de su entorno inmediato, que en casos extremos (especialmente cuando las condiciones meteorológicas son adversas), llega a ocasionar su descomposición total y a tornarse intransitables, provocando pérdidas económicas al estado y pérdidas humanas.

Para minimizar estos riesgos de degradación es necesario desarrollar estudios topográficos, geológicos, geotécnicos que involucren la interrelación de la mecánica de rocas y suelos; se debe efectuar una planificación, organización y seguimiento de la obra concerniente a trabajos de movimientos de tierras y de rocas, así como, un mantenimiento regular del camino y de su entorno que permita eliminar los daños potenciales en la fase inicial, evitando así, un aumento en los efectos negativos.

En el ámbito Provincial, el Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja (GAD-L), y con la finalidad de integrar la Red Vial al desarrollo provincial nacional e internacional, ha definido ejes viales estratégicos al cual se le denomina Plan Vial Provincial, el cual permitirá la integración y el



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

desarrollo productivo, ganadero y turístico, por lo que en la actualidad se considerado como prioritario en la escala jerárquica de ejecución.

La construcción de una de estas vías, dentro del Plan Vial Provincial, es la vía Nueva Fátima – Numbiaranga – Portachuelo, tramo que comprende 15.7 km, la cual tiene como promotor el Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja, quienes respondiendo a las demandas específicas de la comunidad, invierten sus recursos y maquinaria para obras con poca planificación y con una visión a corto plazo. En los dos casos se desarrollan obras con pocos estudios técnicos por lo que se suelen generar problemas geológicos-geotécnicos debido al comportamiento de los materiales en el subsuelo, presencia de aguas subterráneas, falta de identificación de superficies susceptibles, desestimación de cálculo de taludes lo que ocasiona deslizamientos, desplomes, entre otros; problemas geotécnicos a causa del desconocimiento de la capacidad de carga del terreno, desatención de la resistencia de los suelos y rocas ocasionando agrietamiento de la superficie; y problemas ingenieriles de trazado, curvatura, distancias de visibilidad y sin nombrar los graves problemas ambientales.

Por tal motivo, el desarrollo de un estudio geológico – geotécnico en estas vías, es de gran relevancia e importancia técnico-social, ya que permitirá dotar con la información necesaria para la cimentación de esta obra, evitando a futuro procesos geológicos y geotécnicos como hundimientos, deslizamientos entre otros, pudiesen llegar a afectar la inversión que el Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja va a destinar para su construcción.



XII. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo General

- Realizar el estudio Geológico – Geotécnico de 15.7 kilómetros de vía que comprende los sectores de Nueva Fátima – Numbiaranga – Portachuelo.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento topográfico y mapeo geológico de 15.7 kilómetros de vía que comprende los sectores Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas del suelo presente en la vía de 15.7 kilómetros que comprende los sectores Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo.
- Estimar el Factor De Seguridad -FS- en los taludes más representativos de 15.7 kilómetros de vía que comprende los sectores Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo.

2.2. Alcance

El alcance de este trabajo investigativo fue realizar un estudio geológico – geotécnico del tramo Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo en una longitud de 15.7 Km. aproximadamente, zona que se caracteriza por poseer un tipo de terreno montañoso ondulado con fuertes pendientes.



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

Este estudio tiene los siguientes objetivos básicos:

- Describir el marco geológico regional y específico a lo largo de la vía.
- Determinar las características del terreno en base a las características físico – mecánicas de los suelos.
- Determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso.
- Determinar el factor de seguridad en taludes con litología ígnea intrusiva (granodiorita) y extrusiva (andesita).



XIII. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Vialidad en el Ecuador

Según IIRSA (2005), la red estatal ecuatoriana, a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), está integrada por un Sistema Nacional, que a su vez, está conformada por las redes viales primaria y secundaria, y por un Sistema Provincial conformado por las redes terciaria y vecinal. El Sistema Nacional representa el 22% del total y el Provincial, el 78%³. La longitud total de la red se aproxima a los 43 250 kilómetros, 22 000 están en la Sierra, 16 000 en la Costa y 4 000 en la Amazonia; en Galápagos hay 185 kilómetros.

El 12% de la red vial total está pavimentada y el 57% se encuentra con superficie de rodadura afirmada; entre ambos aseguran la movilización continua durante todo el año entre las regiones del país. Sin embargo, algo más de la cuarta parte de la red lo conforman caminos de tierra que presentan condiciones muy precarias de circulación; la mayor parte de éstos pertenece a caminos terciarios y vecinales.

El sistema vial ecuatoriano se encuentra estructurado en tres ejes longitudinales y cuatro ejes transversales. La red nacional aglutina los caminos que registra el mayor tránsito de vehículos y comunican a las capitales de provincia, cabeceras de cantón, los puertos marítimos, los pasos de frontera internacionales, con o sin aduana, y los grandes y medianos centros de actividad económica. La mayor parte de esta red está constituida por carreteras de dos carriles, pero cerca de los grandes centros urbanos se encuentran autopistas. Además, hay importantes sectores viales con tres carriles.

³ Informe Oficial. - MTOPE - Informe de Rendición de Cuentas 2011.



Importantes sectores de la red nacional han sido concesionados por el MTOP, igualmente varios Gobiernos Provinciales ha adjudicado concesiones en proyectos viales siguiendo el esquema internacional B.O.T (Construir, Operar, Transferir) que implica la construcción de un proyecto de carácter público por parte de un agente privado, para su explotación durante un tiempo, al final del cual se revierte a la entidad concedente⁴.

La red provincial está compuesta por caminos terciarios que conectan las cabeceras de parroquias y zonas de producción con los caminos de la red nacional. La red vecinal está constituida por los caminos vecinales, los cuales cuentan con un bajo volumen de tráfico. En el Cuadro 1 se presenta la clasificación de los caminos, según su categoría.

Cuadro 20. Red vial nacional según categoría de camino.

| Clasificación de Caminos | Longitud km | % Total de la Red |
|---------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Caminos primarios | 5 608,84 | 12,98 |
| Caminos secundarios | 3 876,42 | 8,97 |
| Caminos terciarios | 11 105,93 | 25,71 |
| Caminos vecinales | 22 153,98 | 51,29 |
| Caminos locales | 452,20 | 1,05 |
| TOTAL | 43 197,37 | 100,00 |

Fuente: Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana. (IIRSA), 2005.

De la infraestructura vial, las obras de mayor envergadura se describen a continuación:

- Ruta de Spondylus, con una longitud de 1 042 km y una inversión superior a los 800 millones de dólares

⁴ Paredes, F. 2008. Esquema de Concesiones Viales en el Ecuador.



- El puente sobre el Estuario del Río Chone, que une los cantones de Bahía de Caráquez y San Vicente,
- La Troncal amazónica, con una longitud de 1.057,44km y una inversión de 364 millones de dólares
- La Troncal de la Sierra. Panamericana, con una longitud de 1.076,54km y una inversión superior a los 397 millones de dólares
- Rehabilitación y mantenimiento de la vía Santo Domingo – Huaquillas, con una longitud de 575,5 km y una inversión de 127 millones de dólares.

Como se puede determinar, los proyectos viales son vehículos de integración, inclusión, comunicación espacial entre regiones y provincias, permiten la aproximación a mercados y la posibilidad de mejorar el acceso a servicios de educación y salud y la generación de empleo. La construcción de más de 140 proyectos viales (2012) atrajeron la participación de 80 contratistas y generaron, según cálculos del Ministerio de Transporte y Obra Pública (MTO) unos 45 mil puestos de trabajo.

3.2. Los Estudios Geológicos en Infraestructura Vial

Inicialmente se debe señalar que desde los estudios geotécnicos pre-preliminares de un territorio o de un proyecto lineal como es una carretera, se inician con la consulta a la información geológica existente, pues ésta es la base fundamental desde la cual se obtienen conclusiones geotécnicas muy importantes, en especial para obras de gran costo o valía en un territorio.

Los estudios geológicos están orientados a la determinación de las características litológicas-estructurales y geomecánicas de los materiales existentes en un sitio de estudio, mediante un conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan para reconstruir la historia geológica. Los



estudios geológicos se apoyan en diversas ciencias y conocimientos, de los cuales se hace un breve recuento a continuación:

3.2.1. Aerofotogrametría

Según Bonneval⁵, la fotogrametría está definida como “La técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”. En el presente trabajo investigativo se la desarrollará como un sistema de captura de información, las cuales, en la actualidad, se consideran como interrelacionadas a las técnicas de percepción remota y las de fotointerpretación, tres técnicas que se complementan entre sí; no obstante, se puede afirmar que la aerofotogrametría se concretará en la interpretación cuantitativa de fotografías aéreas y otros materiales aerofotográficos con el objetivo primordial de obtener mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos, uso del suelo, hidrografía, entre otros.

Dentro siempre de esta idea se han dado distintas definiciones de aerofotogrametría, entre las que cabe destacar las siguientes:

“Arte, ciencia y tecnología orientada a obtener información relevante de diversos objetos físicos de la corteza terrestre y de su medio ambiente, a través de procesos de medición e interpretación de imágenes fotográficas y de patrones de energía electromagnética radiante” (Herrera, 1987).

Esta ciencia dentro de la aplicación de la Geología en la Ingeniería facilita la generación de mapas temáticos como: topográficos, geológicos, estructurales, geomorfológicos; entre otros, los cuales apoyan al estudio de la corteza terrestre, y principalmente a la determinación de las características geológicas del terreno al momento de la instalación de

⁵ Bonneval, H. 1972. Photogrametrie Generale. Tomo I. p 231. Eyrolles. Paris.



estructuras ingenieriles, razón por la cual es considerada una herramienta importante dentro de los Estudios Geológicos.

3.2.2. Geología

Atendiendo a Gorshkov, el cual define a la Geología como un tratado de la tierra (griego; geo, ‘tierra’ y logos, “tratado”), se puede entender que es la ciencia que trata la Tierra, su constitución, estructura y desarrollo, y de los procesos que tiene lugar en ella, en sus envolturas aéreas, hídrica y pétreas.”⁶

Un contexto más amplio, la geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describiendo los materiales que la forman, indaga su historia y su evolución externa e intenta, así como intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos.

En la actualidad la ingeniería geológica se describe como la aplicación de los conocimientos y métodos derivados de las diferentes ramas de la geología los problemas y procesos de la ingeniería civil. Obras humanas tales como presas, embalses, túneles, carreteras, aeropuertos, minas, y edificios altos o pesados se construyen en la forma más satisfactoria cuando previamente se determinan las condiciones geológicas del terreno y se toman en consideración en el diseño y la construcción de estructuras. En la actualidad, más que en ningún tiempo pasado, se construyen mayores túneles, presas, aeropuertos para grandes aviones, cortes más profundos para autopistas y terraplenes de mayor altura. Para la seguridad en el diseño de estas obras y para asegurar su estabilidad se deben realizar estudios preliminares y definitivos basados en la geología y geotecnia.

⁶ Gorshkov G. 1970. Geología General. Moscú. 5 p. Moscú, Rusia.



3.2.3. Geomorfología

La geomorfología desde un punto de vista práctico, detalla definiciones dadas por varios autores; así por ejemplo Viers G (1973), en la que expone literalmente “La Geomorfología es una ciencia de síntesis que tiene por objeto clasificar y explicar las formas del relieve”⁷; para Derruau M. (1966), la define como una ciencia que se propone describir las formas y explicar el relieve, su evolución y los procesos de su modelado; en cambio para Soeters R. (1976), define a la Geomorfología como la ciencia que trata de la superficie terrestre y sus orígenes.

Según estas definiciones, la geomorfología tiene por objeto la descripción de las formas del terreno, la explicación de su génesis, es decir de su origen y evolución a través del tiempo geológico, así como la explicación y descripción de los agentes geomorfológicos modeladores.

En ese sentido, la geomorfología describe el relieve terrestre y hace referencia a las formas que tiene la corteza terrestre o litosfera en la superficie, lo que nos permite tener un amplio conocimiento de la superficie terrestre.

3.2.4. Geología Estructural

Según Belousov, “La geología Estructural es una parte de la Geotectónica, es decir, de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionada a los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que tiene lugar en ella”.⁸

⁷Viers, G. 1973. Geomorfología. Las rocas y su génesis. 52-60 p. Madrid, España.

⁸ Belousov V. 1979. Geología Estructural. Segunda Edición. 5 p. Moscú, Rusia.



Con esta definición se puede establecer que la Geología Estructural estudia e interpreta la arquitectura de la corteza de la tierra y su relación espacial, mediante este trabajo se determina las deformaciones.

En esta temática se considerará como estructuras geológicas a cualquier falla o fractura en la corteza terrestre que se dividen bloques con movimiento relativos entre ellos. Según este movimiento se clasifica como fallas de salto en dirección y son sub-verticales, separan bloques que se mueven lateralmente.

3.2.5. Hidrogeología

Según Mijailov define “La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación”⁹.

Con esta definición se establece que la Hidrogeología es una ciencia importante considerada dentro de los estudios Geológicos, ya que esta ciencia mediante la toma de muestras de rocas y suelos, medidas de indicadores de estructura y con información de perforaciones, sondeos, trabajos de geofísica aportan información relevante sobre las estructuras profundas de las diferentes capas de terrenos y especialmente para determinar los volúmenes de agua subterránea.

⁹ Mijailov, L. 1989. Hidrogeología. Editorial Mir Moscú. 288 p. Moscú, Rusia.



3.3. Estudio Geotécnico en vías

La Ingeniería Geotécnica es la rama de la Ingeniería Geológica que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Un Estudio Geotécnico es importante porque se investiga el suelo y las rocas por debajo de la superficie, para determinar sus propiedades físico-mecánicas y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como, vías, edificios, puentes, estabilizar taludes.

En el contexto geotécnico, el presente trabajo investigativo, considerará el análisis de:

- Zonas de turbas, arcillas expansivas o cualquier tipo de relleno inestable.
- Zonas de nivel freático muy superficial.
- Zonas de rocas alteradas, diaclasamientos.
- Erosiones y arrastres de materiales en laderas.
- Vados o zonas inundables.
- Carreteras en la proximidad de ríos y arroyos.
- Fallas geológicas.

En lo referente a las propiedades físicas mecánicas del terreno, las cuales son las que controlan las características resistentes y deformaciones de la matriz rocosa, se detallará y analizarán:

- **Ensayo de contenidos de humedad.** El contenido de humedad de una determinada muestra de suelo, estará definida como el peso del agua, sobre el peso de los sólidos por cien (para dar el valor en porcentaje), y estará definida por la letra W.
- **Ensayos de peso específico.** El peso específico de la roca es la relación numérica entre el peso de un cuerpo y el peso de igual



volumen de agua a 4°C, esto es la relación entre las densidades del cuerpo y la del agua. Esta propiedad es adimensional (no se expresa en términos de unidades determinadas) ya que es la relación entre dos cantidades con la misma dimensión. Dado que el volumen del agua varía con la temperatura, se toma como referencia la densidad del agua a 4°C.

- **Análisis granulométrico.** El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada, la misma que debe ser representativa. La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo.
- **Límites de Atterberg.** Los suelos que poseen algo de cohesión, según la naturaleza y calidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro.

El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denomina límites de Atterberg. Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente, los cuales son: Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP). Además se define el índice de plasticidad (IP) como resultado de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. ($IP = LL - LP$)

- **Clasificación de suelos según la AASHTO y SUCS.** Los métodos más utilizados para la clasificación de los suelos son: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el de la Asociación



Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO), ya que existe mucha similitud entre estos dos métodos. Estos sistemas de clasificación antes señalados utilizan primordialmente los límites de Atterberg, con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo.

En lo referente a las Propiedades Mecánicas, las cuales tienen la finalidad de conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos. Entre las propiedades mecánicas tenemos:

- **Ensayos de compactación.** La compactación de los suelos se produce por la reorientación de las partículas o por la distorsión de las partículas y sus capas absorbidas. En un suelo no cohesivo la compactación ocurre mayormente por la reorientación de los granos para formar una estructura más densa. La presión estática no es muy efectiva en este proceso porque los granos se acunian unos contra otros y resisten el movimiento.

En los suelos cohesivos la compactación se produce por la reorientación y por la distorsión de los granos y sus capas absorbidas. Esto se logra por una fuerza que sea lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre las partículas.

Para lograr una compactación eficiente en los suelos no cohesivos se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones más altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumentan.



Otros ensayos que se considerarán son:

- **Ensayo CBR.** (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California). Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno.

Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado. Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

- **Ensayo DCP.** El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados. Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.

El equipo puede ser utilizado en: Identificación de tramos homogéneos, control de la construcción de las distintas capas de pavimento y determinación de la eficiencia de equipos de compactación, evaluación de un suelo colapsable, estabilidad de taludes entre otros.

3.3.1. Estudio de Suelos y Materiales

El estudio de suelos es el proceso de identificar los estratos de depósitos que subyacen a una estructura propuesta y sus características físicas se denominan generalmente exploración del subsuelo, cuyo propósito es



obtener información que ayude al ingeniero al ingeniero en geotecnia en las siguientes tareas.¹⁰

- Seleccionar el tipo y profundidad de una cimentación adecuada para una estructura dada,
- Evaluar la capacidad de carga de la cimentación.
- Determinar problemas potenciales de la cimentación (por ejemplo, suelo expansivo, suelo colapsable, rellenos sanitario, vías, etc.).
- Establecer métodos de construcción para condiciones cambiantes del subsuelo.

3.3.2. Muestreo de terreno

Es el procedimiento mediante el cual se recolecta muestras significativas de un área específica de terreno para determinar las propiedades y características pertinentes y necesarias para un determinado proyecto. La fase de campo consiste en planear, hacer barrenos, calicatas, etc. y recolectar muestras de suelo a intervalos deseados para observaciones y pruebas de laboratorio subsecuentes. Los ensayos más frecuentes para la obtención de información del terreno son:

- Humedad Natural del Suelo.
- Granulometría del Suelo, Límite de consistencia del Suelo.
- Peso Específico, límites de Atterberg, Compactación.
- Clasificación del Suelo por los métodos AASHTO Y SUCS.
- Ensayo de cono de Penetración Dinámico (DCP).
- Ensayo CBR.

¹⁰ Branja, M. Fundamentos de Ingeniería Geológica. University, Sacramento. p 587. California, Estados Unidos.



3.4. Factor de Seguridad (Fs)

Existen varios autores, métodos y fórmulas que se pueden utilizar para el cálculo del factor de seguridad, la mayoría en la actualidad aporta cálculos de computación, pero se debe entender que la lógica de interpretación solo se la aplica en el modelo de campo. Los métodos más generalizados son:

3.4.1. Método de Rebanadas (Método de Bishop)

La hipótesis de Taylor asume que las tensiones normales en la superficie de rotura están concentradas en un único punto, lo que supone un cierto error, aunque, en general, queda del lado de la seguridad. Además, el ábaco de Taylor solo permite introducir la presencia de agua en el caso de suelo homogéneo y nivel freático horizontal. Para evitar estos inconvenientes, Bishop desarrolló en 1955 un método “de rebanadas, el método de Bishop, con las siguientes hipótesis y desarrollo:

- Se supone una superficie de rotura circular.
- La masa deslizante se divide en n rebanadas o fajas verticales.
- Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes.

3.4.2. Método de Cuñas

En este caso se considera una superficie de forma poligonal, que tiene dos o más bloques que se apoyan en los contiguos, puede reproducir adecuadamente el problema en algunos casos como presas de tierras terraplenes sobre suelos blandos, siempre que se admita una ley de rotura de tipo Mohr-Coulomb en los planos de rotura.

Para este tipo de análisis (denominado “método de las cuñas”, aunque no tiene ninguna relación con la rotura tipo cuña en macizos rocosos



fracturados) la masa deslizante se divide en varios bloques mediante líneas verticales. El coeficiente de seguridad es la relación entre la resistencia tangencial disponible y la requerida para el equilibrio. Es frecuente suponer que $\delta=0$, es decir, que los empujes entre bloques son horizontales, aunque en el caso de presas de tierra se suele asumir un cierto valor de δ para representar mejor la cinemática del problema.

3.4.3. Métodos de masa total (Método de Taylor)

La utilización de superficies de rotura circulares en dos dimensiones es una hipótesis muy utilizada en la práctica y representa el problema real en taludes de altura finita, cuando no existen zonas de terreno que definen claramente el desarrollo de superficies de rotura. Sobre la superficie de rotura se ejercen las acciones que se esquematizan.

3.4.4. Ábacos de Hoek y Bray

Los ábacos de Hoek y Bray (1977) proporcionan un límite inferior del factor de seguridad, asumiendo que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un solo punto.

En la construcción de los ábacos se han tenido en cuenta diferentes condiciones de presiones intersticiales debidas a la presencia de un nivel freático en el terreno, que divide el talud en una zona seca y otra saturada. Se cuenta con 5 ábacos, dos de ellos para talud totalmente seco y totalmente saturado y 3 para casos intermedios (diferentes alturas del nivel freático). En el gráfico, Y indica la altura del talud y X la distancia entre el pie del talud y el punto de corte del nivel freático con la superficie del terreno. Los ábacos se han construido con las siguientes condiciones:

- El material constitutivo del talud se considera homogéneo en toda la extensión del mismo



- El círculo de rotura se hace pasar siempre por el pie del talud
- Se considera la existencia de una grieta de tracción que puede estar situada por encima o por debajo de la cresta del talud

En los ábacos se utiliza la siguiente expresión¹¹: $R1 = \frac{c'}{\gamma \times H \times \tan \emptyset}$

Dónde:

R1= Resultante

C'= Cohesión del material

γ = Densidad

H = Altura de talud

∅ = Ángulo de reposo interno

ψ = Ángulo de trabajo

Fs = Factor de Seguridad

La forma de utilizar los ábacos es la siguiente:

- Se selecciona el ábaco cuyas condiciones de nivel freático se acerquen más a las del talud en cuestión.
- Se calcula el valor del parámetro adimensional $R1 = \frac{c'}{\gamma \times H \times \tan \emptyset}$ que nos proporciona una recta radial en el ábaco en cuestión.
- La intersección de dicha recta con la curva correspondiente al ángulo del talud no da un valor de $y = \frac{\tan \emptyset}{Fs}$ y de $x = \frac{c'}{\gamma \times H \times Fs}$. Cualquiera de los dos nos sirve para obtener el factor de seguridad (**Fs**)

¹¹ González de Vallejo, L. 2006. Ingeniería Geológica. 715 p. Madrid, España.



3.4.5. Método de Rotura Planar

La ingeniería geológica y geotécnica posee muchos campos de interrelación, uno de estos, es el cálculo de estabilidad de taludes, pudiéndose distinguir varios métodos de cálculo en base a la diferente formulación matemática utilizada, que representan la diversidad de escenarios de la geomecánica y suelos inestables.

El conocimiento detallado del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas, repercute enormemente en los costes y en la seguridad, por ello, las investigaciones de campo (in situ) y de laboratorio como análisis y ensayos, deben ser las suficientes como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomecánicas del macizo y el comportamiento mecánico de los suelos.

Uno de los principales obstáculos a solventar es diferenciar y aplicar los métodos de cálculo para analizar la estabilidad de un talud. Los métodos se pueden clasificar en dos grandes grupos: 1) Métodos de cálculo en deformaciones y 2) Métodos de equilibrio límite.

Mientras los métodos de cálculo en deformaciones consideran el cálculo las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática, los métodos de equilibrio límite basan su eficacia exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, no tienen en cuenta las deformaciones del terreno y suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Los métodos de equilibrio límite se pueden clasificar a su vez en dos grupos: 1) Métodos exactos, que se basan en la aplicación de las leyes de la estática proporcionan una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de



equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la superficie de rotura, entre otras). Esto sólo es posible en taludes de geometría sencilla, como por ejemplo la rotura planar y la rotura por cuñas. 2) Métodos no exactos, basados en que el problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución. Se pueden considerar así los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante, hoy en desuso, y los métodos de las dovelas o rebanadas, que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de las dovelas o rebanas pueden clasificarse en dos grupos: 1) Métodos aproximados, que no cumplen todas las ecuaciones de la estática. Se pueden enunciar por ejemplo los métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado. 2) Métodos precisos o completos, que cumplen todas las ecuaciones de la estática; los más conocidos son los de Morgenstern-Price, Spenser y Bishop riguroso.

En el análisis en taludes y/o laderas en roca se analiza esencialmente la rotura planar. Estas roturas planar o plana a aquella en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud¹².

Estas roturas en nuestro medio pueden considerarse dos variantes: a) terrenos granulares en los que, entre dos terrenos de buenas características resistentes, se intercala un estrato de poco espesor de material con menos resistencia y b) cuando los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20°.

¹² Herrera Rodríguez, F. 2000. Análisis De Estabilidad De Taludes. Geotecnia.



En el caso de rotura planar el factor de seguridad FS se obtiene de forma directa como cociente entre las fuerzas que tienden a producir el movimiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de rotura. Al calcular FS de esta manera, se supone implícitamente constante a lo largo de toda la superficie de rotura, lo cual se acepta a pesar de no ser estrictamente cierto.

En el caso más general, se considera que el plano de deslizamiento se encuentra limitado en su parte superior por una grieta de tracción, que se puede suponer plana, total o parcialmente llena de agua. En el plano de rotura aparecen unas presiones intersticiales que dependen de la situación de la línea de saturación y de las características del terreno. En este caso el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{c' * A + (W * \cos \psi_p - U - V * \sin \psi_p) * \tan \psi_p}{W * \sin \psi_p + V * \cos \psi_p}$$

$$A = \frac{H - Z}{\sin \psi_p}$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w * Z_w \left(\frac{H - Z}{\sin \psi_p} \right)$$

$$V = \frac{1}{2} * \gamma_w * Z_w^2$$

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * \left[\frac{1 - \left(\frac{Z}{H} \right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right]$$

Dónde:

c' = cohesión efectiva en la superficie de deslizamiento.



f = ángulo de rozamiento interno efectivo en la superficie de deslizamiento.

A = área de la superficie de deslizamiento, supuesta de ancho unidad.

W = peso de la masa deslizante, supuesta de ancho unidad.

Y_p = ángulo que forma el plano de deslizamiento con la horizontal.

U = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre el plano de deslizamiento.

d = ángulo que forma la grieta de tracción con la vertical.

V = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre la grieta de tracción.

g = aceleración de la gravedad.

Cuando el factor de seguridad FS de un talud determinado se considere insuficiente (< 1.2) se puede mejorar la estabilidad por medio de la colocación de anclajes, retaludamientos, drenes o medidas de protección superficial, consiguiendo así aumentar el valor de FS y por ende su seguridad.



XIV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.3. Materiales

Los materiales que se utilizarán para el trabajo serán los siguientes:

Materiales de Campo

- Estación Total Trimble S6.
- GPS Garmin.
- Brújula.
- Martillo Geológico.
- Flexómetro.
- Cámara Fotográfica.
- Libreta de Campo.

Materiales de Oficina

- Computador.
- Materiales de Oficina.
- Impresora.
- Resultados de análisis geotécnicos del sector de estudio. Los ensayos geotécnicos que se realizarán se detallan a continuación:
 - Ensayo de contenidos de humedad.
 - Ensayos de peso específico.
 - Análisis granulométrico.
 - Límites de Atterberg.
 - Clasificación de suelos según la AASHTO y SUCS.
 - Ensayos de compactación.
 - Ensayo C. B. R.
 - Ensayo DCP.



4.4. Metodología: Métodos y Técnicas

En el siguiente sección se establece en detalle la metodología a utilizarse para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo investigativo.

- **Recopilación y análisis de información disponible**

La recolección de esta información se relacionó con estudios previos realizados en el área del proyecto, proveniente de entidades gubernamentales como: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), Gobierno Provincial de Loja, PREDESUR; y entidades no gubernamentales como ONG's.

Además se tomó como información geológica base la carta geológica de Cariamanga a escala 1:100000 y la hoja topográficas Sozoranga a escala 1:50000, la misma que sirvió para corroboración de la información geológica que se obtuvo en campo.

- **Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico se lo realizó con la ayuda de la estación total Trimble S6, la misma que dio como resultado los puntos levantados en campo. A partir de los puntos levantados en campo se procedió a la generación del mapa topográfico para lo cual fué necesario la utilización de tres software: ForeSight, Autocad y ArcGis.

Para el desarrollo de la Geología del sector del estudio se procedió de la siguiente manera:



- **Reconocimiento Geológico en campo**

Con las bases temáticas preliminares se llevó a cabo un reconocimiento a lo largo de la vía, recogiendo la información más relevante en cuanto a información geomorfológica, geológica, estructural, geotécnica y posibles zonas inestables.

En el desarrollo de los estudios geológicos puntuales se analizó levantamientos geológicos a detalle, además se realizó el estudio kilométrico de los materiales existentes a lo largo de la ruta, con la determinación de las características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas: litología, estructura de las rocas y cualidades físico-mecánicas de los materiales.

Finalmente, se consideró la información recolectada en campo a partir de calicatas ejecutadas a lo largo de la vía cada 500 y 2.000 metros.

Al concluir estas etapas de campo y luego del procesamiento de toda la información obtenida, se realizó el presente informe donde se plasma la información requerida.

- **Análisis Fotogeológico**

Para determinar la geomorfología se realizó un análisis de fotointerpretación con criterio geológico y geomorfológico para complementar con la información recolectada en campo.

Además se procedió a recopilar y archivar toda la información para la generación del mapa índice, el mismo que sirvió de base para la elaboración de los mapas temáticos como: red hídrica, geomorfología, entre otros.



El mapa índice de líneas de vuelo y fotografías aéreas (PHILO-G-04), corresponden a la hoja Geológica de Cariamanga, en dos líneas de vuelo L-17 y L-18 de dirección norte–sur y cubren la zona de estudio. Las fotografías aéreas emitidas por el IGM escala 1:60.000 del proyecto carta Nacional corresponden a los números 2291 y 2290 en L-17, y los números 3929 y 3930 a L-18; las mismas que abarcan la superficie de la vía.

En base a las marcas fiduciales de las fotografías, se indicaron todos los centros en las mismas, luego se hizo la transferencia del centro de una fotografía a la ubicación correspondiente a la otra y viceversa, todo esto con la finalidad de encontrar la dirección de la línea de vuelo, este proceso es repetitivo para todas las fotografías.

- **Determinación de las propiedades físico – mecánicas del suelo**

La determinación de las propiedades físico – mecánicas del terreno se realizó siguiendo un plan de muestreo, el que señala que se tomó una muestra para los ensayos de contenido de humedad, peso específico, análisis granulométrico, límites de Atterberg y clasificación de suelos según la AASHTO y SUCS cada 500 m a una profundidad de 0.50 m., 1.00 m. y 1.50 m.; y, ensayo de compactación, ensayo de cono de penetración dinámico (DCP) y ensayo de CBR cada 2000 metros. Con las muestras obtenidas se realizaron los ensayos de laboratorio correspondientes. El número total de muestras que se utilizaron se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 21. Número de muestras para la determinación de las propiedades físico – mecánica del terreno.

| Ensayo | Distancia de muestreo | Número de muestras |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| Ensayo de contenidos de humedad. | 500 metros | 23 calicatas (69 muestras) |
| Análisis granulométrico. | | |
| Límites de Atterberg. | | |
| Clasificación de suelos según la AASHTO y SUCS. | | |



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

| | | |
|-----------------|-------------|------------|
| Ensayo DCP. | 2000 metros | 7 muestras |
| Ensayo C. B. R. | | |

Para la determinación de la clasificación AASHTO Y SUCS se utilizó las siguientes tablas presentadas en las figuras 1 y 2:

Gráfica 27. Sistema de clasificación SUCS.

| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S." | | | | | | |
|---|---|--------------------------------|---|--|----|---|
| DIVISIONES PRINCIPALES | | Símbolos del grupo | NOMBRES TÍPICOS | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO | | |
| SUELOS DE GRANO GRUESO | GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm) | Gravas limpias | GW | Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >4 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo. | | |
| | | (sin o con pocos finos) | GP | | | |
| | | Gravas con finos | GM | | | |
| | | (apreciable cantidad de finos) | GC | | | |
| | ARENAS Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200 | Arenas limpias | SW | <5% ->GW,GP,SW,SP. >12% ->GM,GC,SM,SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo. Cu=D ₆₀ /D ₁₀ >6 Cc=(D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan | | |
| | | | (pocos o sin finos) | | SP | |
| | | Arenas con finos | SM | | | |
| | | | (apreciable cantidad de finos) | | SC | |
| | | SUELOS DE GRANO FINO | Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50 | | ML | Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad. Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas. Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. |
| | | | | | CL | |
| OL | | | | | | |
| MH | | | | | | |
| Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50 | CH | | Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos. Arcillas inorgánicas de plasticidad alta. Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos. Turba y otros suelos de alto contenido orgánico. | | | |
| | OH | | | | | |
| | PT | | | | | |
| | Suelos muy orgánicos | | | | | |



Fuente: Manual de laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil. Página 74.



Gráfica 28. Sistema de clasificación AASHTO.

| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-------|-------|---|-----|-------------------|-----|
| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200) | | | | | | Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200) | | | |
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Grupo: | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | | | | |
| Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0,425mm) Nº 200 (0,075mm) | 50 máx 30 máx 15 máx | - 50 máx 25 máx | - 51 mín 10 máx | - - 35 máx | | | - - 36 mín | | | |
| Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40 | | | | | | | | | | |
| Límite líquido | | | | | | | | | | |
| Índice de plasticidad | | | | | | | | | | |
| Constituyentes principales | Fracmentos de roca, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Características como subgrado | Excelente a bueno | | | | | | Pobre a malo | | | |

(1): No plástico
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Índice de grupo :

$$IG = (F - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$$

Siendo :

F : % que pasa el tamiz ASTM nº 200.
LL : límite líquido.
IP : índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A - 2 - 6 y A - 2 - 7 se calcula usando sólo : $IG = 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$

Fuente: Manual de laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil. Página 70.

Para el ensayo del Índice de Soporte de California (CBR) y el ensayo de "CBR de campo" mediante Cono Dinámico de Penetración (DCP) se procedió al análisis de resultados de laboratorio para determinar la resistencia al corte del suelo en condiciones de humedad y densidad controladas.



- **Clasificación Geomecánica**

La caracterización del macizo rocoso se realizó utilizando la clasificación geomecánica de Bienasky, para lo cual se empleó diversos factores que se describen a continuación:

- a. **Resistencia Compresiva de la roca**

La resistencia compresiva de la roca se la realiza mediante el ensayo de compresión simple o uniaxial.

- b. **Índice de la Calidad de la Roca - RQD**

El índice de calidad de las rocas se lo calcula en función del número de fisuras por metro cúbico, determinadas al realizar el levantamiento litológico del macizo.

- c. **Espaciamiento de Juntas**

Para el espaciamiento de juntas, se utilizó la clasificación de Deere de los macizos rocosos, misma que se recomienda utilizar en la clasificación Geomecánica de Bienasky.

Tabla 11. Clasificación de Deere de los macizos rocosos.

| Descripción de Espaciamiento | Espacio de Juntas | Tipo de macizo rocoso |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Muy ancho | >3m | Sólido |
| Ancho | 1-3m | Masivo |
| Moderadamente cerrado | 0.3-1m | En bloques |
| Cerrado | 50-300mm | Fracturado |
| Muy cerrado | <50mm | Machacado |

Fuente. Webster, S. L., Brown, R.W., y Poter, J.R.

AUTORA: MARITZA XIMENA OCHOA TAPIA



d. Condición de Juntas

Para las condiciones de las juntas se consideró los siguientes parámetros:

- **Apertura:** La apertura de las juntas sirve para la descripción cuantitativa del macizo rocoso, y se describe en la tabla 2.

Tabla 12. Condiciones de Juntas.

| Descripción: | Separación: |
|-----------------------|-------------|
| Abierta | >5 mm |
| Moderadamente Abierta | 1-5 mm |
| Cerrada | 0.1-1 mm |
| Muy cerrada | <0.1 mm |

Fuente. Webster, S. L., Brown, R.W., y Poter, J.R., 1994

- **Tamaño:** Se mide el tamaño de las juntas del macizo, esta medida es muy significativa ya que influye en el comportamiento del macizo.
- **Rugosidad:** Para la determinación de este parámetro se clasifica la junta de acuerdo a su apariencia, y para esta clasificación se establecen 5 categorías de rugosidad: muy rugosa, rugosa, ligeramente rugosa, suave y espejo de falla.
- **Dureza de los labios de la discontinuidad:** En este parámetro se considera 3 categorías de dureza: dura, media y blanda.
- **Relleno:** Se considera el material de relleno entre las juntas, el que se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

e. Presencia de Agua

El criterio que se utilizó para la determinación de la presencia de agua fue el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.



f. Corrección por orientación

En este parámetro se consideró si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son favorables o no en relación a la pendiente del talud.

Con la obtención de estos datos se clasificó los parámetros y sus valores utilizando la Gráfica 3:

Gráfica 29. Clasificación de los parámetros y sus valores.

| Parámetros | | ESCALA DE VALORES | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|---|--|---------------------------|--------------------------|
| Resistencia de la roca intacta | Carga Puntual | 80 kg/cm ² | 40-80 kg/cm ² | 20-40 kg/cm ² | 10-20 kg/cm ² | 10 kg/cm ² | | |
| | A Compresión Simple | 2000 Kg/cm ² | 1000 - 2000 Kg/cm ² | 500 - 1000 Kg/cm ² | 250 - 500 kg/cm ² | 100-250 kg/cm ² | 30-100 kg/cm ² | 10-30 Kg/cm ² |
| VALOR | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| R.Q.D. | | 90-100% | 75-90% | 50-75% | 25-50% | 25% | | |
| VALOR | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| Espaciado de Juntas | | 3 m | 1 - 3 m | 0.3 - 1 m | 50-300 mm | 50 mm | | |
| VALOR | | 30 | 25 | 20 | 10 | 5 | | |
| Condición de Juntas | | Muy rugosas sin continuidad cerradas, Paredes de roca dura | Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca dura | Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca suave | Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm ó abiertos 1-5mm | relleno blando de espesor < 5mm. ó abiertas <5 mm. fisuras continuas | | |
| VALOR | | 25 | 20 | 12 | 6 | 0 | | |
| Aguas Subterráneas | Cant. Infiltración 10 m. de túnel | Ninguna | | 25 litros/min | 25-125 litros/min | >125 litros/min. | | |
| | Presión de agua | Cero | | 0.0-0.2 | 0.2-0.5 | 0.5 | | |
| | Esfuer. principal | Totalmente Seco | | Solo húmedo agua insterst. | Ligera presión de agua | Serios problemas de agua | | |
| | Situación General | Totalmente Seco | | Solo húmedo agua insterst. | Ligera presión de agua | Serios problemas de agua | | |
| VALOR | | 10 | | 7 | 4 | 0 | | |

Fuente. Webster, S. L., Brown, R.W., y Poter, J.R., 1994.

A continuación se determinó la clase de macizo rocoso utilizando la tabla 3:



Tabla 13. Valores para determinar el macizo rocoso.

| Valor total del RMR | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 21-40 | <20 |
|---------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| Clase por Número | I | II | III | IV | V |
| Descripción | Muy bueno | Bueno | Medio | Malo | Muy malo |

Fuente. Webster, S. L., Brown, R.W., y Poter, J.R. 1994.

En último lugar, para la determinación del significado de la clase de macizo rocoso se lo realizó por medio de la utilización de la tabla 4, clases de Macizo rocoso.

Tabla 14. Clases de macizo rocoso.

| CLASE POR NÚMERO | I | II | III | IV | V |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Tiempo de mantenimiento | 10 años para 5 m | 6 meses para 4 m | 1 semana para 3 m | 5 horas para 1.5 m | 10 min. para 0.5 m |
| Cohesión | >3 Kg/cm ² | 2-3 Kg/cm ² | 1.5-2 Kg/cm ² | 1-1.5 Kg/cm ² | <1 Kg/cm ² |
| Ángulo de fricción | >45 ⁰ | 40 ⁰ -45 ⁰ | 30 ⁰ -40 ⁰ | 30 ⁰ -35 ⁰ | <30 ⁰ |

Fuente. Webster, S. L., Brown, R.W., y Poter, J.R. , 1994.

La literatura de mecánica de rocas muestra otros sistemas de clasificación que han sido propuestos en ingeniería de rocas y que servirán de referencia. Algunos de los más conocidos son:

- RQD Rock Quality Designation (Deere, 1964)
- Q Rock Mass Quality (Barton, Lien and Lunde, 1974)
- RSR Rock Structure Rating (Wickham, Tiedeman and Skimer, 1974)
- RMR Rock Mass Rating (Bieniawski, 1974)
- MRMR Rock Mass Rating Modificado (Laubscher, 1977)
- R Rock Mass Rating Simplificado (Brook and Dharmaratne, 1985)
- GSI Geological Strength Index (Hoek, 1994)
- RMi Rock Mass Index (Palmstrom, 1995)



- **Estimar el factor de seguridad en los taludes**

Para la realización de este objetivo, primero se procedió a realizar un inventario de los taludes más representativos en la vía, y para categorizar los tres taludes más representativos del área de estudio se tomó en cuenta criterios a cerca de su extensión, pendiente, longitud y área de influencia. Una vez determinado los tres taludes más representativos se procedieron a la estimación del factor de seguridad, para el cual se utilizó dos métodos, mediante los métodos de Hoek Bray y de Rotura Planar.

Método de Hoek y Bray

El método de Hoek y Bray o llamado método de ábacos, que fue desarrollado el 1977, el que considera una parte gráfica y una base de cálculo. La parte gráfica consiste en un ábaco con roturas circulares, cabe señalar que existen cinco tipos de ábacos, 1 es para talud seco, 1 es para talud húmedo y 3 son para taludes intermedios. La parte de cálculo consiste en la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$R1 = \frac{c'}{\gamma \times H \times \tan \phi} \quad (1)$$

$$y = \frac{\tan \phi}{F_s} \quad (2)$$

$$x = \frac{c'}{\gamma \times H \times F_s} \quad (3)$$

Dónde:

R1= Resultante

C'= Cohesión del material

γ = Densidad

H = Altura de talud

φ = Ángulo de reposo interno

ψ = Ángulo de trabajo

Fs = Factor de Seguridad.



Estimación del factor de seguridad

- Como primer paso tenemos que determinar el valor de la resultante **R1**, este valor se obtiene desarrollando la ecuación 1 que anteriormente se describe.
- Como segundo paso se procede a representar la resultante en la gráfica del ábaco; el valor de R1 se lo sitúa en el semicírculo exterior de la gráfica del ábaco establecido y se la une con el centro del ábaco, donde se intersecan los ejes x y y. Para establecer el ábaco apropiado se toma en consideración las características de humedad que presente el talud.
- Como tercer paso determinamos el valor de x y y, estos se los obtiene en la gráfica del ábaco, tomando en consideración la resultante R1 cuando corta el semicírculo que indica el ángulo de trabajo ψ o ángulo de reposo medido en campo, en este punto se procede a proyectar los ejes x y y; y de esta manera se obtiene el valor de x y y.
- Como último paso estimamos matemáticamente el valor del factor de seguridad, este se obtiene despejando Fs de las ecuaciones 2 y 3 que anteriormente se describen, el mismo que para verificar si está bien realizado el cálculo, debe coincidir el valor de Fs en las ecuaciones 2 y 3.

Método de Rotura Planar

El factor de seguridad FS mediante el método de rotura planar se obtiene de forma directa como cociente entre las fuerzas que tienden a producir el movimiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de rotura. Al calcular FS de esta manera, se supone implícitamente constante a lo largo de toda la superficie de rotura, lo cual se acepta a pesar de no ser estrictamente cierto.



En el caso más general, se considera que el plano de deslizamiento se encuentra limitado en su parte superior por una grieta de tracción, que se puede suponer plana, total o parcialmente llena de agua. En el plano de rotura aparecen unas presiones intersticiales que dependen de la situación de la línea de saturación y de las características del terreno. En este caso el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{c' * A + (W * \cos \psi_p - U - V * \sin \psi_p) * \tan \psi_p}{W * \sin \psi_p + V * \cos \psi_p}$$

$$A = \frac{H - Z}{\sin \psi_p}$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w * Z_w \left(\frac{H - Z}{\sin \psi_p} \right)$$

$$V = \frac{1}{2} * \gamma_w * Z_w^2$$

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * \left[\frac{1 - \left(\frac{Z}{H} \right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right]$$

Dónde:

c' = cohesión efectiva en la superficie de deslizamiento.

f = ángulo de rozamiento interno efectivo en la superficie de deslizamiento.

A = área de la superficie de deslizamiento, supuesta de ancho unidad.

W = peso de la masa deslizante, supuesta de ancho unidad.

Yp = ángulo que forma el plano de deslizamiento con la horizontal.



U = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre el plano de deslizamiento.

d = ángulo que forma la grieta de tracción con la vertical.

V = resultante de las presiones intersticiales que actúan sobre la grieta de tracción.

g = aceleración de la gravedad.

Cuando el factor de seguridad FS de un talud determinado se considere insuficiente (< 1.2) se puede mejorar la estabilidad por medio de la colocación de anclajes, retaludamientos, drenes o medidas de protección superficial, consiguiendo así aumentar el valor de FS y por ende su seguridad.

De los resultados obtenidos matemáticamente y gráfica, aplicando los métodos antes señalados se procedió a la interpretación de la susceptibilidad en función de la gráfica de susceptibilidad de taludes, la misma que nos ayuda a determinar el grado de susceptibilidad de los tres taludes.

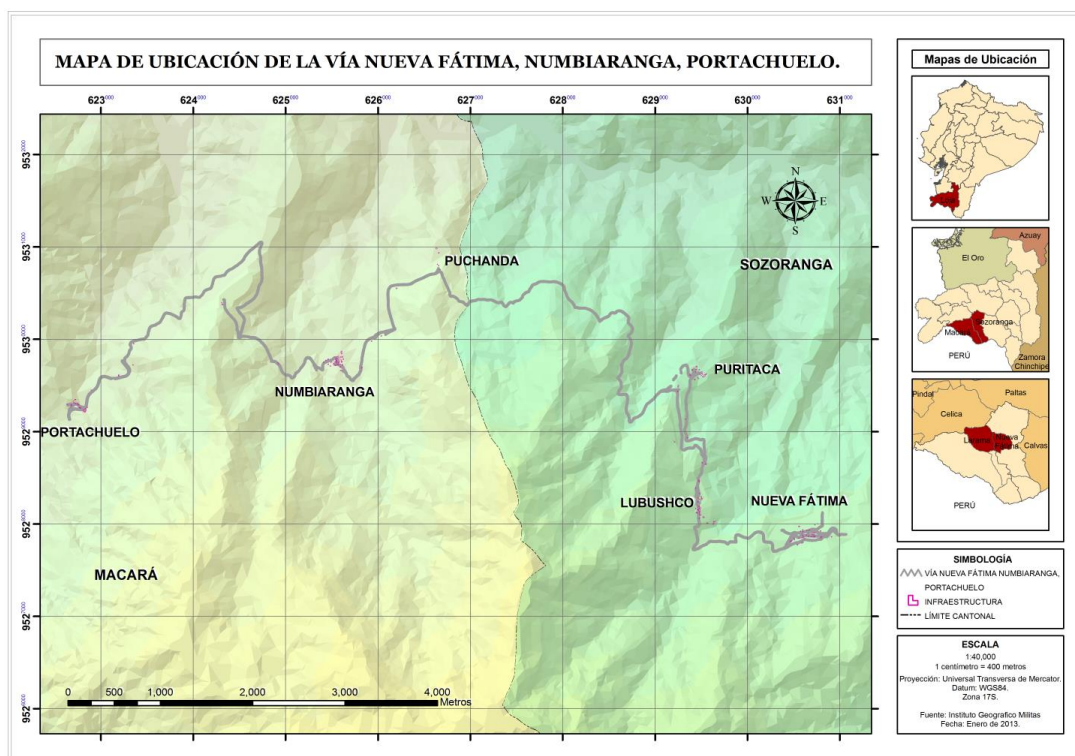


XV. RESULTADOS

5.3. Descripción General del área de Estudio

5.3.1. Ubicación del área de estudio

De acuerdo a la división política – administrativa, el presente proyecto se encuentra ubicado en la parroquias de Larama y Nueva Fátima de los cantones de Macará y Sozoranga respectivamente, de la Provincia de Loja. Se encuentra a una altura que oscila entre 1.619,750 m (cota más alta – Nueva Fátima) y 1.146,944 m (cotas más baja – Portachuelo), tal como muestra la Gráfica 4.



Gráfica 30. Ubicación de la Vía Nueva Fátima Numbiaranga, Portachuelo.

Cuenta con una longitud total del eje de vía de 15,7 km considerando accesos a comunidades y variantes en la longitud de la vía, y que



beneficia a las poblaciones de Portachuelo, Numbiaranga, Puchanda, Puritaca, Lubushco y Nueva Fátima.

Existen dos accesos, uno se lo realiza por la vía Panamericana hasta la “Y” de intersección de esta vía a Macará (Portachuelo, punto inicial del proyecto vial), para luego por una vía de segundo orden, atravesando las comunidades de Numbiaranga, Puchanda, Puritaca y Lubushco, hasta llegar a la Parroquia de Nueva Fátima, en donde se sitúa el punto final de la vía al inicio del adoquinado de la calle principal.

El otro acceso se lo efectúa por la vía de segundo orden que une a Sozoranga con la parroquia de Nueva Fátima a una distancia de 10 kilómetros desde la ciudad de Sozoranga, que integra el comercio y habitantes del dicho cantón con Macará. Las coordenadas UTM que conforman en presente proyecto están georeferenciados al DATUM WGS84 y son los siguientes.

Cuadro 22. Coordenadas referenciales de ubicación del tramo de vía Nueva Fátima – Portachuelo, cantones Sozoranga y Macará respectivamente.

| Punto | Coordenadas UTM | | Altitud m.s.n.m. |
|-------|-----------------|------------|---------------------|
| | Norte | Este | |
| 1 | 9527864,960 | 630576,748 | 1619,750 |
| 2 | 9527888,205 | 630121,553 | 1623,413 |
| 3 | 9530247,624 | 628709,786 | 1470,836 |
| 4 | 9530623,666 | 627921,553 | 1426,669 |
| 5 | 9530729,111 | 626664,211 | 1352,729 |
| 6 | 9529805,488 | 625548,142 | 1250,398 |
| 7 | 9529652,505 | 623300,851 | 1146,944 |



5.3.2. Edafología

El suelo es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica. Su caracterización sirve para conocer su adecuada utilización en el aprovechamiento de los recursos naturales, así como, evitar el deterioro irreversible del entorno natural. Según el Mapa de Suelos de la hoja Macará (PRONAREG 1985) el área forma parte del conjunto de suelos **S3**, que se caracteriza por ser poco profundos, erosionados, presentes en áreas muy secas. Presentan texturas arcillo – arenosa, se ubican en áreas con pendientes variables sobre granito, cuyo régimen de humedad es Árido y su taxonomía se lo define como Torriorthents (Soil Taxonomy USDA, 1975).

Los suelos según la Clasificación y Caracterización de Suelos de la Provincia de Loja, determinado en el Plan Hidráulico de Loja (PHILO), determina que los suelos presentes en el área no son muy profundos, de textura variable con presencia de gravas y sujetos a riesgos de inundaciones. En términos generales son tierras aptas para cultivos agronómicos pero requieren prácticas de manejo y de conservación para prevenir su deterioro. (Ver Anexo 1. Mapa de Taxonomía de los Suelos en el Sector de Estudio). En la siguiente tabla se presenta los tipos de suelos existentes en el área de estudio.

Tabla 15. Taxonómica de los suelos en la provincia de Loja.

| Clasificación | Altitud (m s.n.m.) | Características |
|-------------------------|--------------------|--|
| Tropudalfs o Ustropepts | 1800–2400 | Suelos rojos o pardos, amarillentos, arcillosos, presencia de caolinita en las partes superficiales y montmorillonita en profundidades, saturación de bases mayor al 50 %. Presente en suelo de áreas secas. |
| Haplustalfs | 1600–2000 | Suelos rojos o pardos, generalmente con restos de roca meteorizadas entre 1 y 2 m. de profundidad, arcillosos (caolinita) saturación de bases mayor al 35 %. Presente en suelo en áreas secas. |
| Torriorthents | < 1600 | Suelo de áreas muy secas, presencia de materia orgánica menor al 1 %. |

Fuente: Plan Hidráulico de Loja – PHILO. 2000.



5.3.3. Hidrología

El área que comprende el presente estudio se sitúa dentro del área que comprende la subcuenca del río Catamayo cuya superficie es de 418 402,66 ha, presenta un perímetro de 460,70 km y que corresponde el 24,33% de la Cuenca Binacional Catamayo Chira (UNIGECC 2003). Presenta un área de drenaje de 4.184,03 km² (Río Catamayo hasta la unión con el río Macará) y una pendiente media del cauce principal de 1,50% (Catamayo Chira 2003).

La subcuenca Catamayo presenta los siguientes pisos altitudinales cuyas áreas son: zona alta 3342,34 km² (79,88 %), zona media 731,49 km² (17,48 %); y, zona baja 110,19 km² (2,63 %). El mayor porcentaje de territorio se encuentra en la zona alta; las zonas media y baja, en conjunto, cubren casi el 20 % (UNIGECC 2003). El área del proyecto vial está definida en la parte baja de la subcuenca del río Catamayo y se encuentra atravesada por las vertientes que se muestran en el siguiente cuadro. Ver Anexo 2, Mapa de Red Hídrica del Sector de Estudio.

Cuadro 23. Ubicación de los drenajes que atraviesan el eje vial Portachuelo – Nueva Fátima.

| N° | Drenajes | Coordenadas UTM | |
|----|----------------------|-----------------|--------|
| | | Este | Norte |
| 1 | Quebrada Chaquishca | 9529574 | 623238 |
| 2 | Quebrada Guallanamá | 9529625 | 625060 |
| 3 | Quebrada Numbiaranga | 9529933 | 626000 |
| 4 | Quebrada Lubushco | 9527838 | 629440 |

5.3.4. Precipitación

Según las bases de datos utilizadas, el perfil temporal de la precipitación mensual en la zona de intervención del proyecto en el periodo 2001 – 2010 se estableció que los meses donde la precipitación es mínima por la



falta de lluvias son: junio, julio, agosto y septiembre con rangos menores a 50 mm/mes; considerados los meses secos en este periodo.

Los meses donde existe gran cantidad de precipitación son de enero hasta abril, con valores que oscilan entre los 60 a 320,28 mm/mes. Los años de mayor intensidad de lluvia en el periodo son 2001, 2002 y 2008 (Silva S. 2012).

Además indica que desde mediados del año 2002 hasta inicios del 2005, no se registraron lluvias mayores a 50mm/mes en este tiempo (Silva S. 2012). El mapa de precipitación media anual que se generó, se observa que la precipitación está representada en forma continua con valores que van desde los 750 a 1250 mm/año (Silva S. 2012). Ver Anexo 3, Mapa de Isoyetas del Sector de Estudio.

5.3.5. Temperatura

En el perfil temporal de la temperatura media mensual que se obtuvo del análisis del periodo 2001-2010 para el área de estudio, se estableció que los meses donde la temperatura es más baja son: junio, septiembre y octubre con temperaturas que van desde los 18°C a los 20°C; y los meses donde la temperatura es más elevada son: marzo, abril y mayo con un rango que va desde 29 a 31°C. (Silva S. 2012). Ver Anexo 4. Mapa de Isotermas del Sector de Estudio.

5.3.6. Flora

Respecto de la vegetación, se encuentran sobre terrenos desprovistos de vegetación natural, representada en parches boscosos con vegetación natural secundaria, ubicada en quebradas, hondonadas y laderas de difícil acceso con pendientes mayores al 100 %.



La mayoría de ellos son el producto de la extracción selectiva de madera, actividades de tala y raza para ampliar la frontera agrícola y ganadera. Los pocos remanentes boscosos del área en estudio poseen alta diversidad florística, y son los únicos fragmentos de bosques que quedan y están muy amenazados por la conversión de uso hacia pastizales, cultivos y extracción de especies maderables con alto valor comercial como el guayacán, gualtaco, entre otros.



Gráfica 31. Vista General de la Vegetación en el área de influencia del proyecto.

Las especies arbóreas más representativas son: guayacán (Bignoneaceae *Tabebuia* sp.), faique (Mimosaceae *Acacia macracantha*), gualtaco (Anacardiaceae *Laxoptery huacangao spruce*), algarrobo (Mimosaceae *Ceratonia silicua*), guararo (Lithraceae *Lafoencia acuminata*), cedro (Meliaceae *Cedrela odorata*), nogal (Juglandaceae *Juglans neotropica*) y cascarilla (Theaceae *Laplanceae speciosa*). (Azanza J. 2012).

De acuerdo al inventario Agroforestal realizado en el área “Cantón Macará”, se encontró 57 familias con 79 especies. Entre las principales se encuentran: pasallo, gualtaco, faique, guayacán, palo santo, entre otras. (Azanza J. 2012).



5.3.7. Fauna

Con relación a la fauna, los remanentes boscosos que aún se conservan, son el refugio de vida silvestre y deben ser tratados como hábitats especiales. Si se diera su eliminación, se pondría en grave riesgo la vida de la fauna silvestre los cuales serían presa fácil de sus depredadores / cazadores cuando estos salgan fuera de su hábitat en busca de alimento.

En el sector se albergan en las zonas boscosas una variedad de especies de avifauna. Algunas de estas son comunes en los centros poblados y caracterizan en general a la avifauna de la región, presentándose algunas diferencias en determinadas especies que ocupan rangos geográficos específicos. Especies típicas corresponden a: papamoscas (Tyrannidae), tangaras (Thraupidae), carpinteros (Picidae), semilleros (Emberizidae). En lo referente a los mamíferos las especies que caracterizan a éstos hábitats están representados por las zarigüeyas (Mammalia), amingo, Chucurillo (Mustelidae), conejos (Leporidae), y algunas raras como tigrillos (Felidae), osos hormigueros (Mymecophgidae Tamandú), venado (Cervidae Ondocoileus), guanchaca (Caenolestidae Didelphys marsupiales), añango (Mustelidae Conepatus chinga), entre otros. (Ordóñez L. 2012).

Aún se conserva relictos importantes para refugio de algunas especies en peligro de extinción como el oso hormiguero, tigrillo, venado, por lo que es imprescindible seguirlos protegiendo. Las posibilidades de recuperación de estos hábitats podrían darse en el largo plazo debido a que todavía existen condiciones aceptables para su recuperación. (Ordóñez L. 2012).



5.3.8. Descripción socioeconómica de las comunidades beneficiadas por la vía

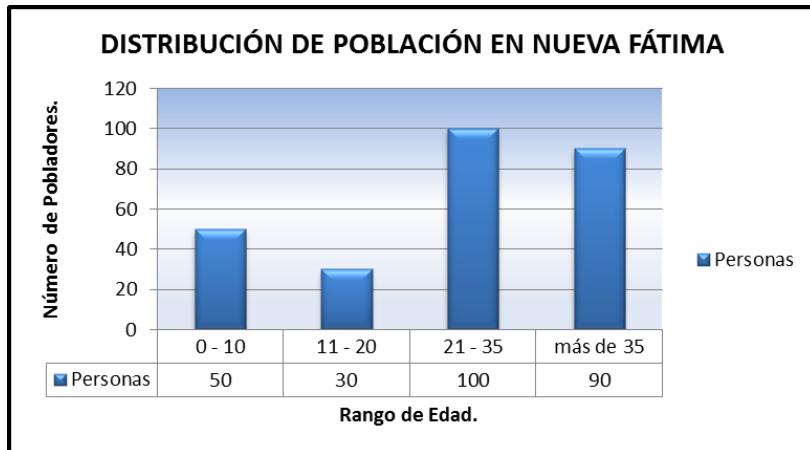
La descripción de los datos socioeconómicos fue tomada del Estudio de Impacto Ambiental Ex – Ante y Plan de Manejo del Proyecto “Ampliación y Mejoramiento de la vía Nueva Fátima – Lubushco - Numbiaranga – Portachuelo”, de los cantones Sozoranga y Macará, Provincia de Loja, donde se describe cada una de las comunidades influenciadas al proyecto vial, las mismas que se describen a continuación:

- **Comunidad Nueva Fátima**

La comunidad de Nueva Fátima, pertenece a la parroquia Nueva Fátima, cantón Sozoranga de la provincia de Loja y forma parte de la comuna Nambilango. Los barrios que pertenecen a la parroquia Nueva Fátima son Tumbunuma, Lubushco, Puritaca, Trapichillo, Pingullo, Piedras Blancas Alto, Piedras Blancas Bajo, Santa Ana, Nanvalle, Porotillo, Algodonal, Santanilla, y Molle.

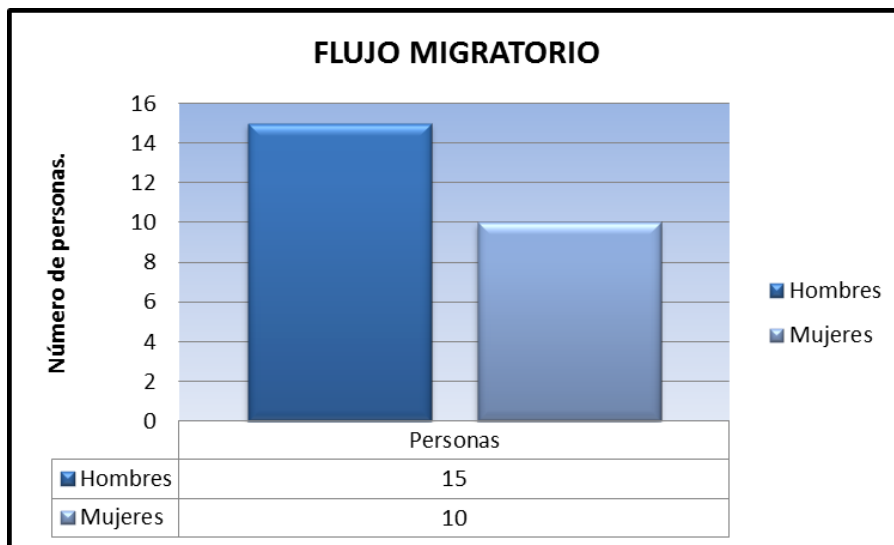
Referentes a las vías de acceso, éstas son transitables solamente en verano y el transporte público que utilizan para llegar al lugar, es a través de un turno de la Cooperativa Unión Cariamanga y pagando carreras en camionetas.

En base a información recopilada de la zona, en la comunidad de Nueva Fátima existen 42 familias, con una población, según datos de los propios moradores, de 270 habitantes distribuidos como muestra la Gráfica 6:



Gráfica 32. Distribución poblacional en la parroquia Nueva Fátima.

En cuanto a los flujos migratorios acontecidos en el lugar en los últimos cinco años, el lugar de destino ha sido España y el flujo de habitantes se indican en la Gráfica 7 a continuación:



Gráfica 33. Flujo migratorio de los pobladores de Nueva Fátima a España.

En cuanto al tipo de vivienda, el material que más predomina es el adobe, aunque también existen construcciones de ladrillo o bloque y madera. Respecto a los servicios existentes en la comunidad, toda la población se beneficia de electrificación pública y domiciliaria y sistema de letrinas.



La comunidad posee un sistema de agua, cuyo recurso que no recibe ningún tipo de tratamiento (entubada) por lo que no es agua de buena calidad ya que no cumple con las normas INEN establecidas para consumo humano, pudiéndose convertir en una vía de transmisión de enfermedades.

Como los suelos son buenos para la agricultura, la mayor parte de la población se dedica más a las labores agrícolas, crianza de animales menores y producción ganaderas en menor proporción. Entre los principales productos cultivados se encuentran: maíz, arveja, haba, fréjol, yuca, guineo, café y caña. La producción agrícola y ganadera se utiliza para el consumo propio y los productos como maíz, café, arveja, ganado vacuno, ovejas y cerdos son comercializados principalmente en Sozoranga.

Respecto a educación, Nueva Fátima cuenta con la escuela mixta “Esmeraldas” y el colegio “José María Riofrío y Valdivieso”, existiendo a más de éstos otras organizaciones como un grupo juvenil religioso y un Club Deportivo. Además existe una Biblioteca Municipal que contribuye en la educación de los niños y jóvenes de la comunidad.

- **Comunidad Lubushco**

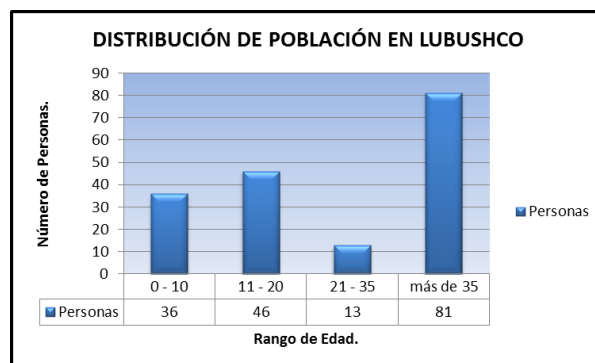
El barrio Lubushco, pertenece a la parroquia Nueva Fátima del cantón Sozoranga y forma parte de la comuna Nambilango. Se ubica geográficamente entre las coordenadas 4° 16' y 79° 49' a una altitud de 1.300 a 1.800 m.s.n.m. De acuerdo a la clasificación bioclimática propuesta por Holdridge (1967) la zona está dentro de la formación bosque húmedo Pre- Montano (bh- PM). El poblado se encuentra a una altitud de 1.300 y los terrenos de su propiedad en la parte más alta se encuentran a una latitud de aproximadamente 1.800 m.s.n.m. En



contraste con lo que ocurre en la zona de Jorupe, aquí la mayoría de terrenos son particulares, existiendo también un área comunal.

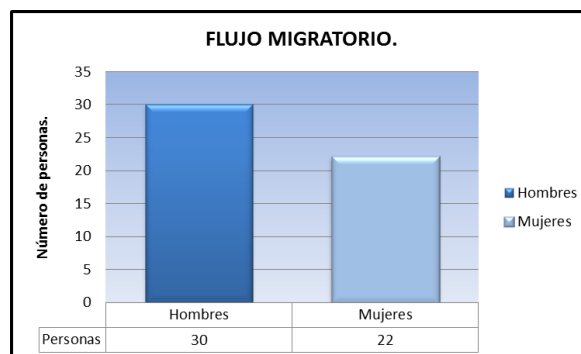
Refiriéndonos a las vías de acceso a la comunidad, solo son transitables en verano y el transporte público que utilizan es a través de un turno de la Cooperativa Unión Cariamanga y pagando carreras en camionetas.

Según información recopilada de la zona, la comunidad de Lubushco está conformada por 46 familias, con una población, según datos de los propios moradores, de 176 habitantes distribuidos de la siguiente manera en la Gráfica 8:



Gráfica 34. Distribución poblacional en la parroquia Lubushco.

En lo que tiene que ver con la migración, Lubushco presenta los mayores índices de emigración hacia España en los últimos cinco años; el flujo de habitantes se indica en la Gráfica 9 a continuación:



Gráfica 35. Flujo migratorio de los pobladores de Lubushco a España.



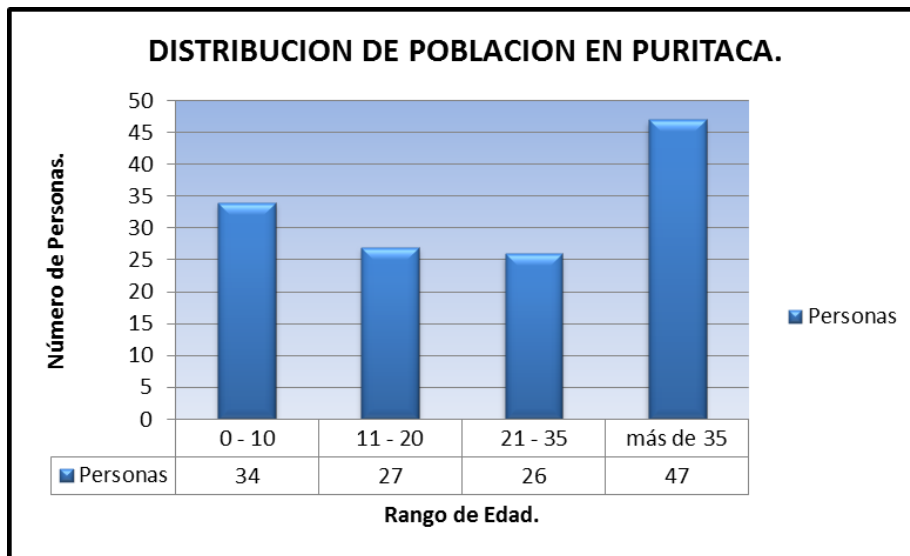
En lo que se refiere a las viviendas, el material que más predomina es el adobe aunque también existen construcciones de ladrillo, pero éste en un ínfimo porcentaje. Los servicios existentes en la comunidad como electrificación y sistemas de letrinas, toda la población cuenta con estos beneficios. En los que tiene que ver al agua, los moradores consumen agua entubada, la misma que no es apta, ni de buena calidad ya que no recibe ningún tipo de tratamiento.

De acuerdo a las actividades productivas, la población de Lubushco se dedica a las actividades agrícolas y ganaderas. Entre los cultivos principales están el maíz, arveja, guineo, café, caña, haba, trigo, cebada, entre otros., los mismos que son utilizados para consumo familiar y comercialización.

- **Comunidad Puritaca**

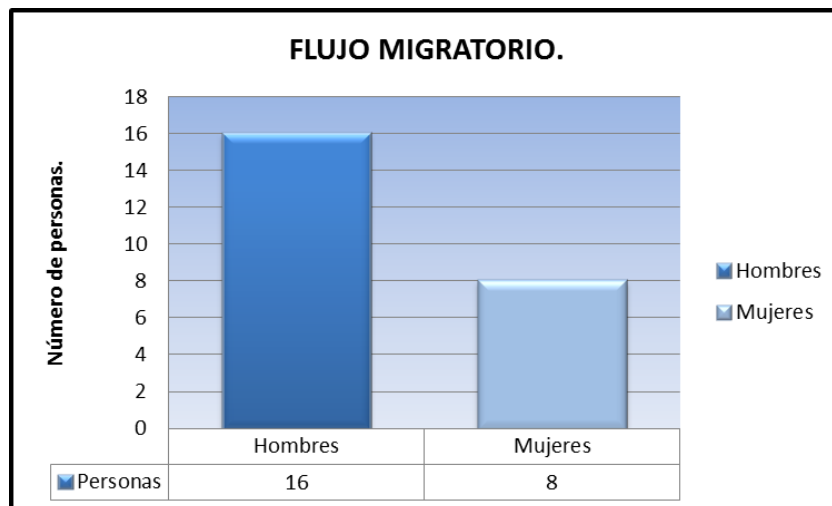
La comunidad de Puritaca pertenece a la parroquia Nueva Fátima, del cantón Sozoranga de la provincia de Loja y forma parte de la comuna Nambilango. Las vías de acceso a la comunidad son de tierra y solo son transitables en verano. El transporte público que utilizan es un turno de la Cooperativa Unión Cariamanga que llega hasta Lubushco y alquilando camionetas.

En la comunidad existen 18 familias, presentando una población promedio de 134 habitantes, distribuidos de la siguiente manera como se muestra en la Gráfica 10:



Gráfica 36. Distribución poblacional en la parroquia Puritaca.

En cuanto a los flujos migratorios ocurridos en el lugar en los últimos cinco años, muestran que el destino ha sido España, y el flujo migratorio se muestra en la Gráfica 11 a continuación:



Gráfica 37. Flujo migratorio de los pobladores de Puritaca a España.

En cuanto a las viviendas, lo que más predomina es el adobe aunque también existen construcciones de ladrillo y madera. Poseen los servicios de electricidad y sistemas de letrinas. En lo que se refiere al agua que consumen, los moradores indican que es entubada y que no recibe ningún tipo de tratamiento.



En Puritaca la tierra está distribuida de la siguiente manera: 50 % del área total corresponde a cultivos, el 10 % a pastos, y el 20 % a bosque. La población se dedica a las actividades agrícolas y ganaderas. Entre los principales cultivos se encuentran el maíz, fréjol, arveja, guineo, café, caña, zarandaja y hortalizas que son utilizados para consumo familiar y para la venta.

- **Comunidad Punchanda**

La comunidad de Punchanda está ubicada en la parroquia Larama, cantón Macará, provincia de Loja. La vía para llegar a la comunidad es de tierra la que es solo transitable en verano a través del alquiler de camionetas.

En cuanto a servicios básicos cuentan con el servicio de luz eléctrica, consumen agua tratada y poseen sistema de letrinas. Por otra parte, tienen el servicio de radio, televisión y celular y el tipo de vivienda que predomina en el sector es la construcción con abobe. En el aspecto económico la comunidad se dedica a la agricultura y poco a la ganadería.

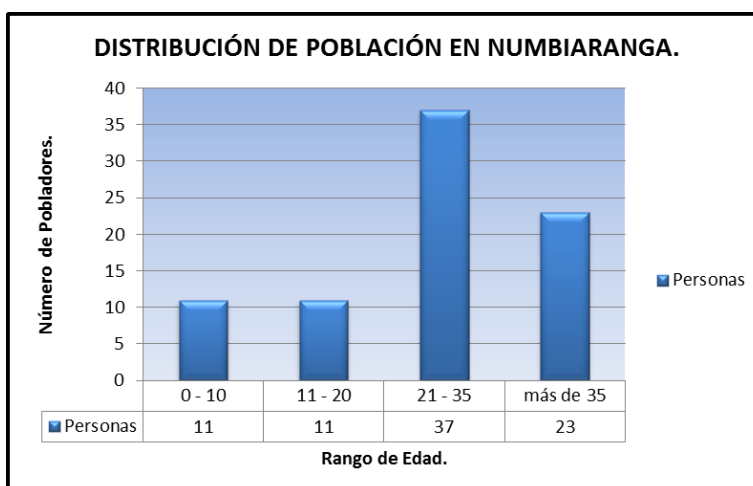
- **Comunidad Numbiaranga**

La comunidad de Numbiaranga está ubicada en la parroquia Larama, cantón Macará al sur este de la provincia de Loja. Tiene una extensión de 493,15 ha. Forma parte de la comuna Numbiaranga conjuntamente con los barrios Canguraca, Tangula, Naranjito, Punchanda, Tuchinime, La Delicia y Portachuelo. La comuna presenta 96 socios activos.

La comunidad de Numbiaranga, según datos de la población existen 91 personas, que se distribuyen como muestra la Gráfica 12 a continuación:

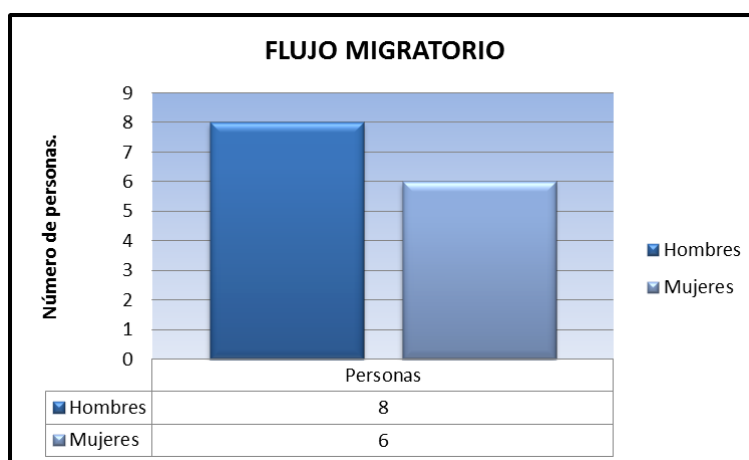


**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**



Gráfica 38. Distribución poblacional en la parroquia Puritaca.

En cuando al flujo migratorio en los últimos cinco años muestran que han salido de la comunidad 16 personas, cuyos destinos son 15 a España y 1 a Estados Unidos, distribuidos como muestra la Gráfica 13:



Gráfica 39. Flujo migratorio de los pobladores de Numbiaranga a España y estados Unidos.

Los pobladores a nivel comunal se dedican exclusivamente a la agricultura en un 70 % siembran maíz, maní, fréjol, arveja, sarandaja, yuca, camote, café, trigo y caña, de este último extraen el aguardiente y fabrican la panela; también árboles frutales como naranja, papaya, melón, sandía. Varias familias se dedican a la crianza de animales como gallinas, chanchos, cuyes, pavos, cabras, y ganado vacuno. Las fuentes de

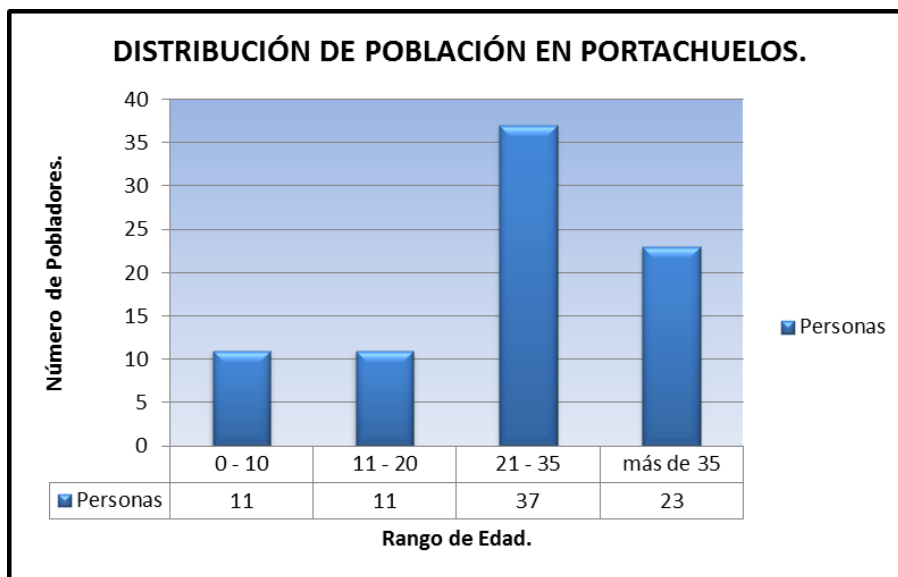


ingreso de las familias se dan por la siembra de fréjol, maíz, maní y arveja. En otro caso, por la crianza y venta de animales menores.

- **Comunidad Portachuelo**

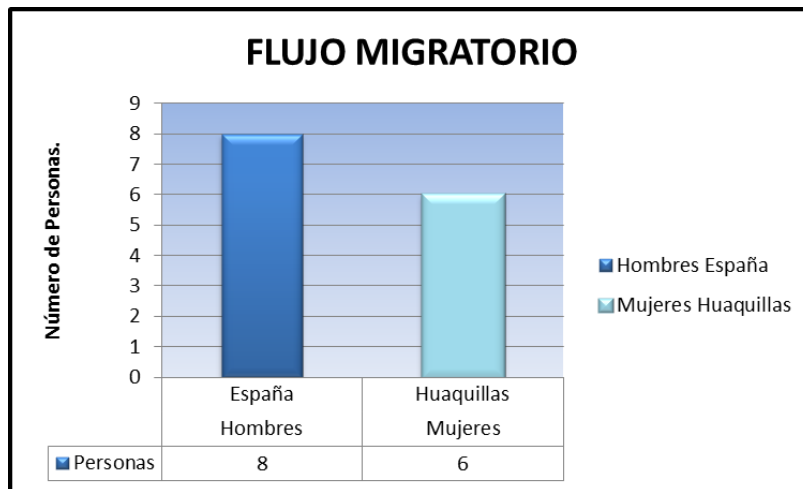
Portachuelo pertenece a la parroquia Larama, cantón Macará de la provincia de Loja, presentando un clima cálido seco. En cuanto a la vía de acceso a la comunidad, es de tierra transitable solo en verano y el transporte público que utilizan es a través de camionetas los días miércoles y domingos.

La comunidad de Portachuelo tiene una población de 82 habitantes, distribuidas como muestra la Grafica 14 a continuación:



Gráfica 40. Distribución poblacional en la parroquia Portachuelos.

Los flujos migratorios en los últimos cinco años, según datos de los miembros de la comunidad, indican que han salido 14 personas como se detalla en la Gráfica 15 a continuación:



Gráfica 41. Flujo migratorio de los pobladores de Portachuelos.

En cuanto a servicios básicos la mayor parte de la población cuenta con luz eléctrica y agua potable, radio, televisión y celular muy poco. Existe además una escuela “Ciudad de Macará” y poseen un Dispensario Médico del Seguro Social Campesino. Referente al tipo de vivienda predomina la construcción de abobe.

En el aspecto económico, en cuanto a la producción agrícola los principales productos que se cultivan están el maíz, arveja, trigo, cebada, haba, café entre otros. En ganadería destaca la crianza de ganado vacuno, porcino y la crianza de aves de corral.



5.4. Estudio Geológico Geotécnico

5.4.1. Topografía

Esta zona abarca toda la porción de la vía correspondiente, a la parte oriental los cerros Jatupamba y Murinuma, con elevaciones que oscilan al Este desde los 2.579 m. hasta 2.617 m.; y en la parte oeste en el cerro Paltahuico de 1.100 m. a los 2.200 m. en el cerro Chuqui; constituyendo la parte suroeste de la sub cuenca del río Tangula que es el drenaje principal en el área de influencia de la vía. Ver Anexo 5. Mapa de Topografía Regional del Sector de Estudio.

El tramo vía Nueva Fátima – Portachuelo, se encuentra ubicado en una zona de topografía variable de características de relieve que oscila entre colinas medianas hasta relieve montañoso.

El trazo de esta carretera atraviesa el relieve montañoso entre los 1.147 m.s.n.m. y 1.620 m.s.n.m., principalmente. El ingreso de este tramo empieza en la “Y” de intersección de esta vía a Macará (Portachuelo, punto inicial del proyecto vial), para luego por una vía de segundo orden, atravesando las comunidades de Numbiaranga, Puchanda, Puritaca y Lubushco, hasta el centro poblado de la Parroquia de Nueva Fátima con una distancia de 15.7 km.

Se diferencian dos subzonas, la subzona oriental y occidental. El sistema orogénico se encuentra desarrollado sobre las andesitas y tobas andesíticas de la formación Celica, las mismas que presentan cimas acuchilladas en forma de crestas alargadas en dirección Noreste laderas muy abruptas con pendientes prominentes y altamente disecionadas con valores que oscilan de 500 a 1580 m/km².



En la subzona central, las elevaciones desarrolladas sobre las granodioritas del Batolito de Tangula se caracterizan por presentar montañas medias con cimas alargadas con dirección NNE y laderas abruptas, los valores de la disección vertical llegan hasta los 1320 m/km². Ver Anexo 6. Mapa de Levantamiento a detalle de la vía Nueva Fátima – Numbiaranga – Portachuelo.

5.4.2. Pendientes

El área de estudio se caracteriza por tener o predominar las pendientes Medias las cuales ocupan el 43,96% del total del área de estudio que equivale a 8.431,61 ha. Las pendientes Muy Bajas ocupan el 5,88% del total del área de estudio que corresponde a 495,55 ha.; las pendientes Bajas ocupan el 20,73% del total del área de estudio que corresponde a 1.748,25 ha.; las pendientes Altas ocupan el 29,09% del total del área de estudio que corresponde a 2.452,48 Ha. Y finalmente las pendientes Muy Altas ocupan el 0,34% del total del área de estudio que corresponde a 28,68 ha. En la siguiente tabla detalla la clasificación utilizada para las pendientes.

Tabla 16. Clasificación para la elaboración de Mapa de Pendientes.

| Clasificación. | Pendiente. (%) | Ángulo de Inclinación. (°) | Área Ocupada. (%) |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Muy Baja | 0 a 15 | 0 a 8,5 | 5.88 |
| Baja | 15 a 30 | 8,5 a 16,7 | 20.73 |
| Media | 30 a 50 | 16,7 a 26,6 | 43.96 |
| Alta | 50 a 100 | 26,6 a 45 | 29.09 |
| Muy Alta | Más de 100 | Más de 45 | 0.34 |

Fuente: Suarez, Zonificación de Amenazas y Riesgos.

La zona de interés del presente estudio atraviesa pendientes entre bajas a altas, siendo el mayor porcentaje de ubicación de la vía sobre las



pendientes Medias. Ver Anexo 7. Mapa de Pendientes del Área de Estudio.

5.4.3. Geomorfología

El sector de estudio está conformado por importantes ramales montañosos que se desprenden, en su mayoría, de la Cordillera Oriental y que es destacada como una elevación de esplendorosa belleza. En sus faldas, laderas y quebradas se evidencia indicadores naturales de prematura e irreversible erosión.

El desorden orográfico, producido por el laberinto de montañas, cordilleras y ramales es muy habitual en la provincia de Loja; así el área de estudio está rodeada por grandes elevaciones de las principales que se tiene son los cerros Jatupamba y Murinuma.

En el área de estudio la geomorfología del terreno se clasifica en tres zonas, estas son: colinas medianas, relieve escarpado y relieve montañoso, Ver Anexo 8. Mapa Geomorfológico del Sector de Estudio. En el cuadro siguiente se muestran los diferentes paisajes que se encontraron en el área de estudio.

Cuadro 24. Elementos geomorfológicos presentes en el sector y área ocupada.

| Unidades Geomorfológicas. | Área (Ha) | Porcentaje (%) |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|
| Colinas medianas. | 183228.17 | 23.11 |
| Relieve escarpado. | 324770.34 | 40.95 |
| Relieve montañoso. | 285009.63 | 35.94 |



5.4.4. Geología Regional

La información geológica fue recaba de la hoja geológica de Cariamanga escala 1:100.00 del año 1973; las corroboraciones de campo se realizaron recolectando información de taludes y muestras cada 500 metros.

La zona en estudio se encuentra dentro de la provincia geológica andina, tal como lo manifiesta Paladines, 2006. Aquí la geología consiste de volcánicos andesíticos cretácicos pertenecientes a la Formación Celica, e intruídos por un gran batolito tipo granodiorítico denominado Batolito de Tangula. Ver Anexo 9. Mapa de Geología Regional del Sector de Estudio.

- **Formación Celica. (Cretácico Inferior al Superior)**

Las rocas no metamórficas de la Sierra comprenden una secuencia volcánica cretácica muy difundida que subyace toda la Cordillera Occidental, desde la frontera con el Perú hasta Colombia. La formación Celica ocurre al sur de la zona de la falla Jubones en el sur de la Sierra ecuatoriana y continúa hacia el Perú.

La formación consiste en una potente sucesión de andesitas masivas, homogéneas de color gris verdoso con tobas andesíticas intercaladas: lavas más básicas no se han hallado, pero dacitas y aun las riolitas han sido descritas.

La Formación Celica descansa sobre rocas metamórficas y yacen discordantes por debajo de sedimentos y volcánicos del Cretácico superior y Paleoceno. Su espesor alcanza varios miles de metros y es intruído por batolitos plutónicos incluyendo al Batolito de Tangula, el que parece ser confiablemente datado en 114 y 113 M.a. esto sugiere una edad cretácico inferior para la Formación Celica.



- **Batolito de Tangula**

El Batolito de Tangula es un cuerpo intrusivo de gran tamaño. Está rodeado por pequeños cuerpos intrusivos unidos en profundidad de la misma composición químico-mineralógica.

Presenta diversidad de texturas y composición, así, está constituido por granitos, granodioritas y tonalitas en la periferia. El granito aflora al Sur de Tangula. La tonalita está constituida principalmente por hornblenda y biotita, mientras que la granodiorita está constituida por cuarzo, feldespatos y biotita.

5.4.5. Geología Estructural

El rasgo tectónico-estructural de la región Sur del Ecuador es bastante complejo y en ella intervienen importantes fallas y estructuras geológicas regionales.

Al sureste de la depresión Alamor y entre las fallas Portovelo Jubones, se depositaron las rocas de la formación Celica sobre un basamento metamórfico más antiguo, la cual está separada del eje positivo Arco Olmos-Cordillera Real este por el Graben Cariamanga. El plegamiento dentro de los volcánicos masivos de la formación Celica es poco evidente.

La tectónica de la cuenca del río Tangula se ve reflejada en la incidencia de las fracturas, en superficie la actividad de estas estaría reflejada en la gran cantidad de contactos que presentan las rocas de la formación Celica con el batolito de Tangula en donde se produjeron procesos metamórficos de contacto. El fuerte fracturamiento de las rocas presentes en el área de estudio refleja la dinámica de los procesos metamórficos, pero también no se puede destacar la intrusión del batolito de Tangula que evidencia un control estructural en la parte central de la cuenca



afectada por un régimen volcánico.

En superficie no se ha podido determinar lineamientos de fallas geológicas propiamente dichas; lo que se ha observado son diaclasamientos y fracturas puntuales que se presentan en algunos taludes de la vía; que en época de invierno se han deslizado, pero en pequeña magnitud.

Estructuras Geológicas

En el área del proyecto, los depósitos presentes no muestran estructuras geológicas de mayor importancia; únicamente, en los afloramientos rocosos, se ven fracturas y fisuras en los taludes de corte del camino existente que pueden haberse producido por tectonismo o por movimientos telúricos; pero no inciden estructuralmente en la construcción de la vía en estudio. Entre las estructuras geológicas analizadas en el sector de estudio tenemos:

- **Pliegues**

No existe la presencia de pliegues propiamente dichos ya que las rocas aflorantes en esta vía son de origen ígneo Terciario y no se observan plegamientos.

- **Fallas**

En el plano geológico regional se encuentran sistemas de fallamiento con las direcciones: N S y N W, siendo concordantes con la dirección de la cordillera de Los Andes, pero que no afectan a la vía en estudio. Se ha verificado la información en el campo y se ha comprobado con el Mapa Geológico de Cariamanga elaborado por la Dirección General de Geología y Minas, 1973; que existen contactos inferidos entre las



andesitas volcánicas y las rocas intrusivas granodioríticas que atraviesan esta vía.

Los indicios de fallamiento son los escarpes formados en la margen derecha del proyecto, deslizamiento antiguo en el Km. 8,310 que puede estar asociado al plano de falla, presencia de escorrentía de agua superficial y cambios morfológicos como son variación de pendientes entre las estribaciones.

- **Diaclasas y grietas de relajamiento**

En los afloramientos de las lavas se observa el sistema de diaclasamiento concéntrico en forma de lajas decimétricas. Los planos son abiertos, milimétricos vacíos con pátinas de oxidación y carbonatización en las paredes. En los sectores de los kilómetros 5.3, 12.5 se observa un diaclasamiento subhorizontal, coincidente con la estratificación de las lavas volcánicas, con rumbo promedio de N 20° E y buzamiento variable entre 5° y 12° al NW. Las características de las diaclasas son: espaciamiento entre cada una de ellas varía desde 0.40 m. hasta 6 m., abertura de 2 a 5mm en superficie, rugosas a lisas, con costras de carbonatos en las paredes, las cuales están ligeramente a medianamente meteorizadas.

Las grietas de relajación son comunes en las tobas en los sectores de corte artificial y zonas de derrumbe, que luego de un determinado tiempo se producen las grietas de compresión a partir de las grietas de relajación, para luego producirse la caída de materiales, este proceso es repetitivo y constante. A lo largo de la vía son comunes estas estructuras en épocas de verano; ya que en época de invierno, especialmente en este último y con la crecida de la cubierta vegetal, estas grietas se han estabilizado de cierta manera.



- **Estratificación**

En la zona de estudio la formación de estratos es propia de suelos de cobertura; los cuales presentan capas o estratos de variable espesor de sedimentos con diferente litología; la disposición es generalmente inclinada desde los dos lados hacia el centro, cuyos buzamientos varían entre 10° hasta 18° NW; aunque las continuidades en sentido N-S y E-W no es prolongada y más bien se presentan formas lenticulares.

La disposición de los materiales superficiales concuerda con el paleo relieve que es muy variable a lo largo de la vía. Los depósitos coluviales son muy escasos no presentan estratificación aunque si pueden encontrarse gradación granulométrica en algunos sitios.

5.4.6. Análisis Geológicos – Geotécnicos del Trazado vial

En el tramo Nueva Fátima Lubushco afloran lavas y tobas volcánicas de la formación Celica, no se evidencian la presencia de fallas geológicas regionales, lo que si se observa en los taludes de la vía son diaclasas en varias direcciones lo que ocasiona una gran cantidad de fracturamiento de las rocas.

En el tramo Lubushco - Numbiaranga continúan aflorando las rocas volcánicas de la formación Celica, pero existe un contacto con las rocas intrusivas del batolito de Tangula; las rocas grises verdosas volcánicas de la Formación Celica contrastan con las rocas blanquesinas ácidas intrusivas del Batolito de Tangula; en este tramo debido a la alta meteorización y erosión se presenta un deslizamiento antiguo, el mismo que ya se encuentra estabilizado. Las pendientes son moderadas.

En el tramo Numbiaranga – Portachuelo, existe la presencia de rocas volcánicas andesíticas y tobas andesíticas de nuevo en contacto con las



rocas intrusivas ácidas, cerca de Portachuelo. Cerca de la quebrada Numbiaranga en sus dos riberas afloran macizos rocosos de andesitas consolidadas de textura porfírica, las mismas que han servido de canteras para mejoramiento y lastrado de la vía. Las pendientes son verticales por lo que dificulta el trazado de la vía especialmente en la conexión con la vía principal Panamericana.

Durante la mayor cantidad del año las rocas permanecen secas sin humedad, por lo que no presentan mayores dificultades en cuanto a hundimientos o deslizamientos a lo largo de toda la vía.

5.4.7. Geología Local

a. Descripción Geológica de los materiales existentes en la vía

Se realizó el estudio kilométrico de los materiales existentes a lo largo de la ruta, con la determinación de las características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas: litología, estructura de las rocas, cualidades físico-mecánicas de los materiales que se encuentran presentes en la vía.

0 + 1000 m.: La vía se inicia en la cabecera parroquial de Nueva Fátima en dirección oeste, en la misma afloran tobas volcánicas alteradas un poco meteorizadas, las rocas se hallan un poco sueltas no cohesionadas y mezcladas con limos; las mismas presentan una coloración café claro. La calidad de la roca es estable, de mediana calidad.

1 + 1000 m.: Continúa la vía en dirección suroeste, en la misma afloran andesitas y tobas volcánicas poco meteorizadas, las rocas se hallan compactas, cohesionadas; las mismas presentan una coloración café claro a verdosas. La calidad de la roca es estable, de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio el suelo es limoso arcilloso de color



rojizo en la parte superior y limoso arenoso en la parte baja de color rojizo amarillento.

2 + 1000 m.: Continúa la vía en dirección norte, en la misma afloran andesitas basálticas en forma de aglomerados y flujos de lava. Además afloran tobas volcánicas andesíticas; las rocas se hallan compactas, cohesionadas; las cuales presentan una coloración café oscuro a verdosas. La calidad de la roca es estable, de muy buena calidad. El suelo es arenoso limoso de color grisáceo.

3 + 1000 m.: Continúa la vía en dirección norte, en la misma afloran andesitas en forma de aglomerados y flujos de lava, además afloran tobas volcánicas andesíticas; las rocas se hallan compactas, cohesionadas; las mismas presentan una coloración café oscuro a verdosas. Existe la presencia de un flujo de escorrentía superficial, pero solo en época invernal. La calidad de la roca es estable, de buena calidad. En base a los ensayos de laboratorio los suelos son limo arenosos de color gris verdoso.

4 + 1000 m.: En este tramo la vía tiene una dirección noreste, en donde aflora una zona de contacto entre tobas andesíticas y rocas intrusivas granodioríticas. En términos generales las rocas se hallan compactas, cohesionadas; y presentan una coloración café claro amarillentas a rojizas. Existe la presencia de un flujo de escorrentía superficial casi permanente, pero no existen aguas subterráneas que afecten la vía. La calidad de la roca es estable de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio los suelos son areno limosos de coloración amarillento rojiza.

5 + 1000 m.: En la vía aflora un deslizamiento antiguo ya estabilizado en el que existen afloramientos de clastos angulosos de diferente tamaño de tobas andesíticas, andesitas y granodioritas en una matriz areno



arcillosa. El tamaño de los clastos es variable desde pocos centímetros hasta diámetros de 1.00 metro y su coloración es café amarillenta. Existe la presencia de un flujo de escorrentía superficial ya que esta zona se destaca por su vegetación vercosa y producción de cultivos estacionales, la misma que permanece durante la mayor parte del año. No existen aguas subterráneas que afecten la vía. La calidad de la roca es medianamente estable, de mala calidad, los suelos son grava arenosos de coloración rojiza amarillenta.

6 + 1000 m.: En este tramo la vía tiene una dirección sureste a noroeste, donde aflora un cuerpo intrusivo que es una ramificación del extenso Batolito de Tangula. Las rocas son de grano grueso a medio y varían en composición desde diorita pasando por tonalita a granodioritas. Típicamente, la granodiorita tiene impregnaciones negras y blancas con un contenido cerca del 30 % de minerales máficos que consisten principalmente de hornblenda con algo de biotita. No existe la presencia de aguas superficiales significativas. La calidad de la roca es estable de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio los suelos son areno limosos de color rojizos amarillentos.

7 + 1000 m.: En este tramo la vía tiene una dirección cercana de este a oeste, y en la misma siguen aflorando el cuerpo intrusivo del Batolito de Tangula. Las rocas son de grano grueso a medio y varían en composición desde diorita pasando por tonalita a granodioritas. Típicamente, la granodiorita tiene impregnaciones oscuras y blancas con un contenido cerca del 30 % de minerales máficos que consisten principalmente de hornblenda con algo de biotita. Existe la presencia de un flujo de escorrentía superficial, pero es de época invernal, destacándose por su color verde de su vegetación. La calidad de la roca es poco estable, de buena calidad y sus suelos son arenosos.



8 + 1000 m.: La vía continúa en dirección noroeste - sureste, donde afloran nuevamente andesitas basálticas en forma de aglomerados y flujos de lava, así como tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan compactas, cohesionadas; y presentan una coloración café oscuro a verdosas. No existe la presencia de aguas superficiales significativas. La calidad de la roca es estable de muy buena calidad.

9 + 1000 m.: La vía continúa en la misma dirección Noroeste - Sureste, en la misma afloran nuevamente andesitas basálticas en forma de aglomerados y flujos de lava, así como tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan compactas, cohesionadas; y presenta una coloración café oscuro a verdosas. La calidad de la roca es estable de muy buena calidad en base a los ensayos de laboratorio.

10 + 1000 m.: La vía continúa en esa misma dirección Noreste - Suroeste a la altura del barrio Numbiaranga, en la misma afloran andesitas porfiríticas en forma de aglomerados y flujos de lava, así como tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan no muy compactas, alteradas; las mismas que presentan una coloración café oscuro a gris. La calidad de la roca es estable de buena calidad en base a los ensayos de laboratorio, además se encuentra suelos arcillosos en la parte superior y gravas arcillosas en la parte inferior.

11 + 1000 m.: En este tramo la vía continúa en esa misma dirección Este - Oeste pasando el barrio Numbiaranga, donde afloran andesitas porfiríticas en forma de aglomerados y flujos de lava, además afloran tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan un poco fracturadas, alteradas; las mismas que presentan una coloración café oscuro a gris. La calidad de la roca es estable de buena calidad en base a los ensayos de laboratorio.



12 + 1000 m.: Continúa la vía diseñada en esa misma dirección Este - Oeste, donde afloran andesitas porfiríticas en forma de aglomerados y flujos de lava, y además afloran tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan un poco fracturadas, y alteradas; las mismas que presentan una coloración café oscuro a gris con acumulaciones calcáreas. La calidad de la roca es estable de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio los suelos son arcillosos en la parte superior y areno arcillosos en la parte inferior de color café claro.

13 + 1000 m.: En este tramo la vía tiene una dirección Suroeste a Noreste, en la misma aflora el cuerpo intrusivo del Batolito de Tangula. Las rocas son de grano grueso a medio y varían en composición desde diorita pasando por tonalita a granodioritas. Típicamente, la granodiorita tiene pocas impregnaciones oscuras y blancas con un contenido cerca del 25% de minerales máficos que consisten principalmente de hornblenda con algo de biotita. No existe la presencia de agua superficiales significativas La calidad de la roca es estable, de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio los suelos son arenosos blanquecinos.

14 + 1000 m.: Continúa la vía diseñada en dirección Noreste - Suroeste, en la misma afloran andesitas porfiríticas en forma de aglomerados y flujos de lava, además afloran tobas volcánicas andesíticas. Las rocas se hallan un poco fracturadas, y alteradas; y presentan una coloración café oscuro a gris. La calidad de la roca es estable de buena calidad y en base a los ensayos de laboratorio los suelos son arcillosos de baja plasticidad y grava arcillosa en la parte inferior de color café claros.

15 + 657 m.: La vía diseñada en dirección Noreste - Suroeste, aflora el contacto de las dos formaciones, a veces inferido entre las andesitas porfiríticas y tobas volcánicas andesíticas con las rocas intrusivas granodioríticas del intrusivo de Tangula. Las rocas se hallan un poco



fracturadas y alteradas; las mismas presenta una coloración café oscuro a gris claro. La calidad de la roca es estable de mediana calidad, y sus suelos son arcillosos limosos de coloración blanquecina.

b. Descripción Geológica-Geotécnica de Afloramientos

Se realizó una evaluación geológica-geotécnica a lo largo de la vía, determinando principalmente composición litológica, estructuras e identificando zonas con probabilidades de deslizamiento en los afloramientos de la vía. Se identificaron los principales afloramientos descritos a continuación:



- **Afloramiento 1:** Quebrada Lubushco



Gráfica 42. Afloramiento en la Quebrada Lubushco.

Cuadro 25. Descripción del afloramiento 1.

| | | |
|-------------------------------|--|----------------------|
| COORDENADAS UTM | X = 629440 Y = 9528387 | DATUM: WGS 84 |
| UBICACIÓN | Intersección de la vía con la quebrada Lubushco. | |
| DIMENSIONES | Ancho = 2,83 metros Alto = ---- | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | Afloramiento de andesitas y tobas andesíticas de color café oscuro, verde grisáceo, con fenocristales de andesina de color marrón, las rocas se hallan fracturadas, masivas, no fue posible determinar estructuras. En el curso de la quebrada se presenta gran cantidad de piroclastos que superan el 1 m de diámetro y presenta indicios de inestabilidad, especialmente en época de invierno, por lo que podría afectar a la vía. | |
| GRANULOMETRÍA | Grano medio a grueso. | |
| VEGETACIÓN | Abundante vegetación (solo en Invierno) | |



- **Afloramiento 2:** Tramo antes de ingresar a Lubushco



Gráfica 43. Afloramiento cercano al ingreso del Barrio Lubushco.

Cuadro 26. Descripción del afloramiento 2.

| | | |
|-------------------------------|--|----------------------|
| COORDENADAS UTM | X = 629481 Y = 9528169 | DATUM: WGS 84 |
| UBICACIÓN | Tramo antes de llegar al barrio Lubushco. | |
| DIMENSIONES | Ancho = 22 metros Alto = 12 metros | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | Afloramiento ubicado en el costado SE, compuesto por tobas andesíticas muy meteorizadas de color blanco amarillento, en partes marrón claro, amarillo-anaranjado, muy fracturadas, también presentan indicios de inestabilidad, ya que la pendiente son considerablemente, superior al 100%. | |
| GRANULOMETRÍA | Grano fino a medio. | |
| VEGETACIÓN | Poca vegetación circundante. (época de verano) | |



- **Afloramiento 3:** Quebrada de Numbiaranga



Gráfica 44. Afloramiento en la Quebrada Numbiaranga.

Cuadro 27. Descripción del afloramiento 3.

| | | |
|-------------------------------|--|----------------------|
| COORDENADAS UTM | X = 6260000 Y = 9529933 | DATUM: WGS 84 |
| UBICACIÓN | Intersección de la vía con la Quebrada Numbiaranga.. | |
| DIMENSIONES | Ancho = 3.7 metros Alto = ---- | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | Afloramiento en las riberas de la quebrada, el material aflorante son andesitas tobas volcánicas de color gris oscuro, verde oscuro, fenocristales de plagioclasas meteorizados. Existen indicios de inestabilidad hacia el exterior de las riberas, ya que la topografía es casi vertical y contribuye a la inestabilidad de los taludes. | |
| GRANULOMETRÍA | Grano medio a grueso. | |
| VEGETACIÓN | Abundante vegetación circundante. (época de invierno) | |



- **Afloramiento 4:** Intersección de la vía Panamericana con la vía de estudio.



Gráfica 45. Intersección de la vía de estudio con la vía Panamericana.

Cuadro 28. Descripción del afloramiento 4.

| | | |
|-------------------------------|--|----------------------|
| COORDENADAS UTM | X = 622660 Y = 9529131 | DATUM: WGS 84 |
| UBICACIÓN | Intersección de la vía con la Quebrada Numbiaranga. | |
| DIMENSIONES | Ancho = 26 metros Alto = 18 metros | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | Se encuentra un contacto definido entre la andesita tobacea de matriz color café-marrón a gris, y las granodioritas del Batolito de Tangula, las rocas se hallan fracturadas y presentan un tipo de meteorización tipo cebolla, típico de las andesitas. Presencia de altas pendientes que superan el 100%, sin presencia de deslizamiento o caída de rocas. | |
| GRANULOMETRÍA | Grano fino a medio. | |
| VEGETACIÓN | Poca vegetación circundante. (solo en verano) | |



Todos estos afloramientos descritos representan gran parte de la litología existente en la zona, siendo muy representativos para el objeto de este estudio. El subsuelo en términos generales conformados por las dos formaciones geológicas Batolito de Tangula y Formación Celica son estables ya que se trata de rocas ígneas intrusivas y extrusivas muy compactas. Ver Anexo 10. Mapa de Geología Local del Sector de Estudio.

5.4.8. Características hidrogeológicas

a. Unidades Hidrogeológicas

El aspecto hidrogeológico está íntimamente relacionado con el tipo de material y con el tipo de relieve; y de acuerdo a esta consideración, se ha podido diferenciar que existen dos unidades hidrogeológicas bien marcadas en el área del proyecto.

Unidad A. Se refiere a la unidad litológica de los depósitos superficiales, presenta una escorrentía baja, permeabilidad media a alta, con niveles freáticos solo en quebradas cercanos (aproximadamente hasta 2.0 m. de profundidad). En superficie existen pocas zonas húmedas y mal drenadas.

Unidad B. Está ampliamente expuesta en la zona de estudio y corresponde al área ocupada por las formaciones geológicas representadas por depósitos de tobas volcánicos y granodioritas en su parte superior arcillosos; en algunos casos intercalados por fragmentos de rocas volcánicas tipo andesita y tobas respectivamente; de topografía montañoso y ondulada y en las cimas de relieve irregular. Esta unidad se caracteriza por presentar una escorrentía moderada, los materiales son semipermeables a impermeables, niveles freáticos superficiales; la densidad de drenaje superficial se considera de baja a media.



b. Grado de meteorización de los materiales

La meteorización afecta de un modo general a las partes más superficiales de las formaciones geológicas, por lo que el conocimiento geológico del perfil de meteorización resulta de importancia para el estudio de taludes, cimentación de obras civiles y utilización de los materiales. Por consiguiente si existe meteorización.

Tabla 17. Grado de meteorización de las rocas.

| CLASE | CARACTERÍSTICAS |
|-------|---|
| I | Roca sana Baja Porosidad (<5%) No presencia de agua libre |
| II | Relativamente sana Porosidad de $\pm 10\%$ Existe agua libre |
| III | Se considera roca meteorizada Presencia de agua en grietas Presencia de disgregación de material (no metálicos) |
| IV | Roca en descomposición Roca fragmentada Disposición de suelos residuales |

Fuente: Varnes y Brad 1985.

Atendiendo a la tabla de clasificación de las rocas por meteorización según Varnes y Brad, las rocas andesíticas pertenecen al **Tipo I, roca sana**; y las rocas granodioríticas pertenecen al **Tipo II, roca relativamente sana**.

5.4.9. Determinación de las propiedades físico-mecánica de los suelos

Para el análisis geotécnico de los suelos se elaboraron 23 calicatas, de cada calicata se obtuvieron 3 muestras las cuales fueron a 0.50, 1.00 y 1.50 metros de profundidad.



A continuación, se describen todas las propiedades físico-mecánicas de los suelos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio realizados. En el Anexo 11. Cuadros sintetizados de resultados físico-mecánicos de suelos, se evidencian los resultados obtenidos que a continuación se exponen.

- **Análisis Granulométrico**

El objetivo de la ejecución del ensayo de granulometría fue determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en la vía Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo.

En carreteras es importante que el suelo esté bien graduado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los huecos que dejan los áridos de mayor tamaño, reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante.

La interpretación de la curva granulométrica de los resultados obtenidos en la vía, proporcionó información acerca del comportamiento del suelo; de los resultados se pudo concluir que en todas las muestras realizadas presenta una **granulometría discontinua** debido a que la curva presenta picos y tramos planos, que indican que varios tamices sucesivos no retienen material, lo que evidencia que la variación de tamaños es escasa. En este caso, se determina que el **suelo es mal graduado**.

- **Clasificación de los Suelos**

De los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio se exponen los siguientes resultados por horizontes de muestreo:



Cuadro 29. Clasificación SUCS de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.

| CLASIFICACIÓN SUCS | | | | | |
|--------------------|-------|---|---------------|---------------|---------------|
| Grupo | Suelo | Profundidad | | | |
| | | 0.50 m (%) | 1.00 m (%) | 1.50 m (%) | |
| GRAVA | GW | Gravas bien graduadas, mezclas de grava-arena, pocos o sin finos. | 4.3 % | 8.7 % | 4.3 % |
| | GP | Gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena, pocos o sin finos. | --- | 8.7 % | 17.4 % |
| | GM | Gravas Limosas, mezcla de grava-arena-limo | 4.3 % | --- | --- |
| | GC | Gravas Arcillosas | 34.8 % | 39.1 % | 26.1 % |
| ARENA | SM | Arenas Limosas. | 4.3 % | --- | --- |
| | SC | Arenas Arcillosas | 13.1 % | 8.7 % | 17.4 % |
| LIMO | ML | Limos orgánicos y arenas muy finas | --- | 4.3 % | 4.3 % |
| ARCILLA | CL | Arcillas de baja plasticidad arenosas | 34.8 % | 21.7 % | 26.1 % |
| | CH | Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad | 4.3 % | 8.7 % | 4.3 % |



Cuadro 30. Clasificación AASHTO de los suelos, horizonte de muestreo 0.50, 1.00 y 1.50 metros.

| CLASIFICACIÓN AASHTO | | | | | |
|---|-------|---|---------------|---------------|---------------|
| Grupo | | Suelo | Profundidad | | |
| | | | 0.50 m (%) | 1.00 m (%) | 1.50 m (%) |
| FRAGMENTOS DE PIEDRA Y GRAVA | A-1-a | Fragmentos de roca, grava y arena | 8.7 % | 17.4 % | 17.4 % |
| GRAVAS O ARENAS LIMOSAS O ARCILLOSAS | A-2-4 | Gravas Limosas | 8.7 % | 23.1 % | 8.7 % |
| | A-2-6 | Gravas Arcillosas | 34.8 % | 23.1 % | 21.7 % |
| | A-2-7 | Arenas Limosas | 4.3 % | 4.3 % | 4.3 % |
| SUELOS LIMOSO | A-4 | Arcillas de baja plasticidad | 4.3 % | 23.1 % | 4.3 % |
| SUELO ARCILLOSO | A-6 | Arcillas limosas de baja plasticidad | 26.1 % | 30.4 % | 34.8 % |
| | A-7-6 | Limos | 13.0 % | 8.7 % | 8.7 % |

De los cuadros expuestos se obtiene: En el horizonte de profundidad 0.50 metros o superficial predominan los suelos GC (SUCS) o A-2-6 (AASHTO) que corresponden a **gravas arcillosas**.

Con relación al horizonte de profundidad 1.00 metro o intermedio, de igual manera predominan los suelos GC (SUCS) y A-6 (AASHTO) que



corresponden a **gravas arcillosas y arcillas** de baja plasticidad respectivamente.

Y finalmente en el horizonte de profundidad 1.50 metros igualmente predominan los suelos GS (SUCS) y A-6 (AASHTO) que corresponden a **gravas arcillosas y arcillas** de baja plasticidad respectivamente, las cuales son buenas como terreno de apoyo debido a que presentan una capacidad de carga alta y tienen baja resistencia a la modificación por cambios de humedad.

Además cabe recalcar que se encontraron otros tipos de materiales, existiendo la presencia de materiales estables y resistentes del tipo (GC, GW, GM) y también estratos muy blandos del tipo (CL y CH); igualmente se hallaron estratos de suelos de tipo arenoso limoso y arenoso arcilloso de mediana plasticidad (SM y SC); los estrato arenoso limoso y arenoso arcilloso tiene las siguientes características: ligera compresibilidad con mediana expansión, drenaje deficiente, razonablemente estable, valor como subrasante no sometida a heladas de bueno a aceptable y finalmente encontramos limos y arenas muy finas (ML). Ver Anexo 12, Fichas de descripción litológica de calicatas.



- **Estado de consistencia de los suelos**

El comportamiento de un suelo está influenciado por la presencia de agua en su composición o matriz. Este hecho se acentúa cuanto menor es el tamaño de las partículas que componen dicho suelo, siendo relevante en aquellos suelos donde predomina el componente arcilloso y limoso, ya que en ellos, las presiones superficiales ejercidas por carga o soporte generan cambios importantes en la estructura ocasionando deformación de dichos suelos.

Para la determinación e interpretación de la consistencia de los suelos de la vía Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo fue importante relacionar los valores obtenidos de los Límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad) con su clasificación.

Cabe recalcar, que el objetivo principal para la determinación de los límites de Atterberg, es para el estudio del comportamiento de las arcillas, limos y arenas sueltas, es por este motivo que nos enfocaremos en dos grupos especiales de suelos presentes en la vía, los del tipo ML= Limos Orgánicos y arenas muy finas; y CH= Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, ya que estos dos tipos de suelo en particular presentan características especiales en presencia de agua. Se ha descartado la arcilla de tipo CL debido a que esta posee una baja plasticidad y buena capacidad de soporte al estar en su humedad óptima.

En el siguiente cuadro, de las veinte y tres calicatas realizadas para el muestreo de las propiedades físico mecánica de los suelos, se encontraron suelos del tipo CH y ML, cuyos resultados se sintetizan en el siguiente cuadro:



Cuadro 31. Consistencia de suelos arcillosos y arenosos presentes en la vía.

| CONSISTENCIA DE SUELOS ARCILLOSOS Y ARENOSOS | | | | | | | |
|--|--------------------|---------------------------|-------|-------|---------------------|----------------------|------|
| Grupo | Número de Calicata | Profundidad | | | Límite Líquido (LL) | Límite Plástico (LP) | |
| | | 0.50m | 1.00m | 1.50m | | | |
| ARCILLA: Arcillas de alta plasticidad | CH | Calicata 2 Abs.: 0+530 | X | X | --- | 52 % | 23 % |
| | | Calicata 3 Abs.: 0+860 | --- | --- | X | 53 % | 23 % |
| | | Calicata 6 Abs.: 2+470 | --- | X | --- | 51 % | 19 % |
| LIMO: Limos orgánicos muy finos | ML | Calicata 2 Abs.: 0+530 | --- | --- | X | 43 % | 30 % |
| | | Calicata 7 Abs.: 3+030 | --- | X | --- | 36 % | 26 % |

De los resultados se obtiene que la arcilla del tipo CH posee un promedio de 52 % de LL y 22% de LP, de lo que se interpreta que este suelo aumentará su volumen al saturarse y causará deformación en la vía, ya que la arcilla de este tipo aumenta su volumen con presencia de agua. Esta arcilla para no causar problemas estructurales de deformación en el terreno debe poseer un L.L. menor al 50% o controlar la presencia de agua en este estrato.

Para el caso del limo de tipo ML posee un promedio de LL de 40% y LP de 28%, de lo que se interpreta que se pueden producir dos escenarios: 1) En los lugares donde exista este tipo de suelos se producirán asentamientos al saturarse este estrato, ya que en este tipo de suelo, el agua ayuda a consolidarla y disminuir su volumen; y 2) En lugares donde



se encuentre este tipo de suelos se pueden producir deslizamientos si este tipo de suelos no presenta agua, esto se produce porque el material es demasiado fino. Como resultado se obtiene que este tipo de suelos es muy problemático ya que en condiciones de saturación o no presencia de agua, tiende a causar problemas sobre la infraestructura asentada sobre este tipo de suelo.

- **Índice de Soporte de California (CBR) y el ensayo de "CBR de campo" mediante Cono Dinámico de Penetración (DCP)**

Los ensayos de compactación, CBR y DCP se los realizaron cada 2000 metros a lo largo de la vía. A continuación se exponen los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio:

Análisis del CBR

El CBR es un ensayo que permite medir la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, así como determinar la capacidad de soporte de un material que será sometido a presiones debido a la estructura que soportará. Este parámetro es utilizado específicamente para el diseño de pavimento, ya sea este rígido o flexible.

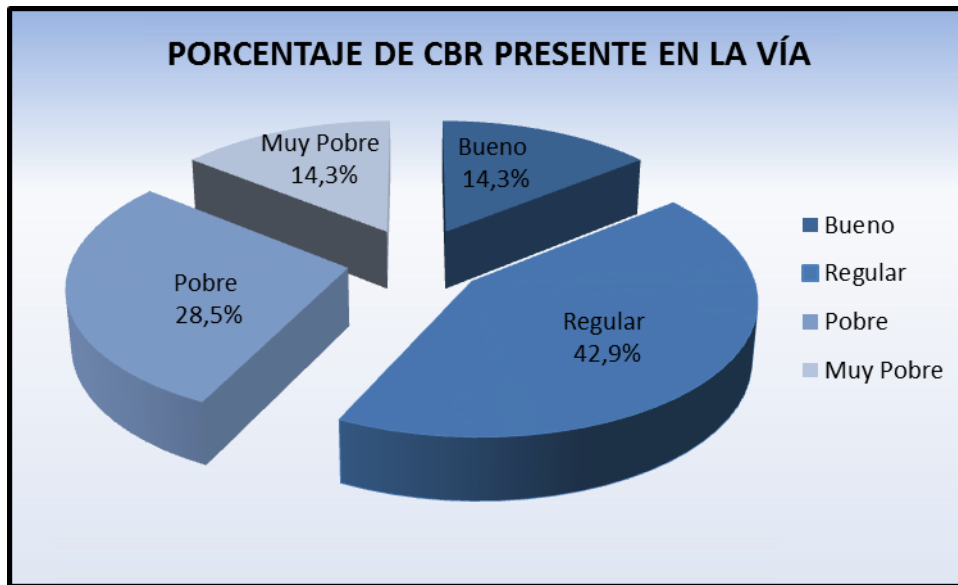
De los resultados obtenidos, el CBR presente en la vía se resume en el siguiente cuadro a continuación.

Cuadro 32. Clasificación cuantitativa de los resultados de CBR.

| Abscisa | CBR | Clasificación |
|----------------|------------|----------------------|
| Km 0+080 | 8 % | Regular |
| Km 1+930 | 3.4 % | Pobre |
| Km 4+000 | 4.4 % | Pobre |
| Km 6+160 | 6.8 % | Regular |
| Km 8+040 | 1.7 % | Muy Pobre |
| Km 9+980 | 22 % | Bueno |
| Km 11+860 | 7 % | Regular |



Según los resultados de laboratorio, el terreno donde se encuentra ubicada la vía en mayor parte presenta CBR **Regular**, como muestra la Gráfica 20.



Gráfica 46. Porcentaje de CBR presente en la vía de estudio.

De acuerdo a la gráfica expuesta se establece que el material de la vía puede ser utilizado para **sub-base** según la Tabla 8 descrita a continuación.

Tabla 18. Clasificación típica de CBR y su uso.

| No. CBR. | Clasificación General | Usos | Sistema de clasificación | |
|----------|-----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | SUCS | AASHTO |
| 0 – 3 | Muy Pobre | Subrasante | OH, CH, MC, OL | A-5, A-6, A-7 |
| 3 – 7 | Pobre | Subrasante | OH, CH, MC, OL | A-4, A-5, A-6, A-7 |
| 7 – 20 | Regular | Sub-base | OL, CL, ML, SC, SM, SP | A-2, A-4, A-6, A-7 |
| 20 – 50 | Bueno | Base, Sub-base | GM, GC, SW, SM, SP, GP | A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6 |
| > 50 | Excelente | Base | GW, GM | A-1-a, A-2-4, A-3 |

Fuente: “El Manual del Asfalto”, The Asphalt Institute, 1962, capítulo 5.



Análisis del DCP

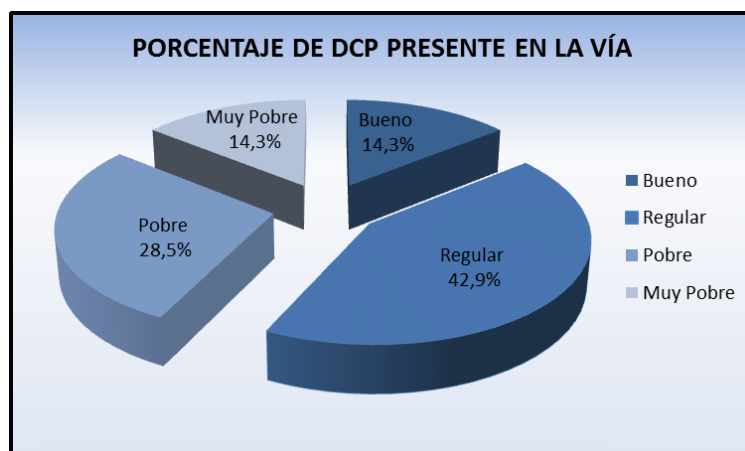
El DCP o ensayo de "CBR de campo" mediante Cono Dinámico de Penetración, permite medir in situ las propiedades de las capas de los suelos, de una manera no destructiva, rápida y económica; así como tener una referencia del valor de CBR en campo.

De los resultados obtenidos, el DCP presente en la vía se resume en el siguiente cuadro a continuación.

Cuadro 33. Clasificación cuantitativa de los resultados de DCP.

| Abscisa | DCP (CBR de campo) | Clasificación |
|-----------|--------------------|---------------|
| Km 0+080 | 7 % | Regular |
| Km 1+930 | 3 % | Pobre |
| Km 4+000 | 2.5 % | Muy Pobre |
| Km 6+160 | 12 % | Regular |
| Km 8+040 | 6 % | Pobre |
| Km 9+980 | 20 % | Bueno |
| Km 11+860 | 15 % | Regular |

Según los resultados de laboratorio, el terreno donde se encuentra ubicada la vía en mayor parte presenta DCP. **Regular**, como muestra la Gráfica 21.



Gráfica 47. Porcentaje de DCP presente en la vía de estudio.



De acuerdo a la gráfica expuesta se establece que el material de la vía puede ser utilizado para **sub-base** según la Tabla 8 antes expuesta.

5.4.10. Determinación de las características estructurales de las formaciones geológicas. Clasificación geomecánica (Bieniawski) de los macizos rocosos

Para la determinación las características estructurales de las formaciones geológicas y obtener la calidad del macizo rocoso para los tramos de la vía en estudio, se utilizó la Clasificación CSIR de Bieniawski 1989, obteniendo la calidad del macizo rocoso en base al Índice de Clasificación de Macizos Rocosos RMR (Rock Mass Rating).

Dicho sistema considera los siguientes parámetros:

- Resistencia de la roca a la Compresión Simple.
- Índice de Calidad de la Roca (RQD).
- Espaciamiento entre las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades (longitud de la discontinuidad, separación, rugosidad, relleno, alteración de las paredes),
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades.

Los parámetros antes mencionados fueron evaluados en la etapa de campo y posteriormente ratificados en base a los ensayos de laboratorio.



Tabla 19. Clases de Macizos Rocosos.

| CLASES DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS DEL PUNTAJE TOTAL | | | | | |
|---|------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------|---|
| Clase N° | I | II | III | IV | V |
| RMR | 81 - 100 | 61 - 80 | 41 - 60 | 21 - 40 | 0 – 20 |
| Descripción | Muy buena | Buena | Regular | Mala | Muy Mala |
| Estabilidad | Tolerantemente estable | Estable | Parcialmente Estable | Inestable | Muy Inestable |
| Rotura | Ninguna | Algunos bloques | Algunas juntas o muchas cuñas | Juntas grandes o cuñas | Grandes roturas por planos continuos o por masa |

Fuente: Introducción a la Ingeniería de Túneles, H. Gavilanes J., B. Andrade H., 2007.

DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

a. Análisis de datos de campo

Se toma en consideración la mayoría de datos requeridos para la caracterización global del macizo; estos son:

Resistencia de la roca inalterada

Bienasky emplea la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca que proponen Deere y Miller. Para el sector de estudio se tomaron los valores de resistencia a la compresión simple presentados como resultado de ensayos de laboratorio (“S y P” Laboratorio¹³). Los resultados indican los siguientes valores en muestreo de roca:

¹³ Suelos y Pavimentos Laboratorio. 2012. Jiménez Ramiro, Ing. Laboratorista.



- Granodiorita:

Resistencia: 807,74 kgf/cm²
 Densidad húmeda: 2,484 gr/cm³
 Densidad seca: 2,486 gr/cm³
 Porosidad N: 4,94%
 Clasificación Deere/ Miller: Roca de resistencia media

- Andesita:

Resistencia: 1972,14 kgf/cm²
 Densidad húmeda: 2,799 gr/cm³
 Densidad seca: 2,798 gr/cm³
 Porosidad N: < 1%
 Clasificación Deere/ Miller: Roca de resistencia alta

Tabla 20. Clasificación de la resistencia de roca inalterada.

| Descripción de la resistencia. | Resistencia a la compresión uniaxial | | | Ejemplos de roca característica |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|
| | Lbr/pulg ² | Kgr.f/cm ² | MPa | |
| Muy baja | 150 - 3500 | 10 - 250 | 1 – 25 | Yeso, sal de roca. |
| Baja | 3500 – 7500 | 250 – 500 | 25 – 50 | Carbón, limolita, esquisto. |
| Media | 7500 – 15000 | 500 – 1000 | 50 – 100 | Arenisca, pizarra, lutita |
| Alta | 15000 - 30000 | 1000 – 2000 | 100 - 200 | Mármol, granito, gneis. |
| Muy alta | > 30000 | > 2000 | > 200 | Cuarcita, dolerita, gabro, basalto |

Fuente: Deere y Miller. 1963.



b. RQD

Para los efectos cuantitativos, se debe especificar dos variables:

Joint Set

Cuadro 34. Parámetros de las Discontinuidades.

| DESCRIPCIÓN | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|
| Roca | Características | | | | |
| Granodioritas | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td>Primera familia (s1)</td> <td>Segunda familia (s2)</td> </tr> <tr> <td>Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m²: 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío</td> <td>Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m²: 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío</td> </tr> </table> | Primera familia (s1) | Segunda familia (s2) | Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío | Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío |
| | Primera familia (s1) | Segunda familia (s2) | | | |
| | Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío | Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>Tercera familia (s3)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m²: 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada).</td> <td>Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío</td> </tr> </table> | Tercera familia (s3) | | Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). | Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío | |
| Tercera familia (s3) | | | | | |
| Roca de grano fino (<0.06mm) Número de Diaclasas en 1m ² : 10 Espaciado: Separado (600 – 2000mm) Continuidad media (<10m) Perfil rugoso plano Abertura: 0.1 mm (cerrada). | Infiltración tipo I: seco Muy baja continuidad < 1m Relleno: vacío | | | | |



Estimación de Jv y RQD

El RQD (Rock Quality Designation, Deere 1963-1967) puede ser determinado directamente en los afloramientos; es decir, utilizar una metodología de cálculo del índice de calidad de la roca a partir del conteo volumétrico de discontinuidades:

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \cdot \text{JV}$$

Donde **Jv** es igual al número de discontinuidades en un metro cúbico.

- Granodiorita: Jv= 10 grietas/m³ (Bloques relativamente Pequeños)

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \cdot (10)$$

$$\text{RQD} = 82\% \text{ (Bueno)}$$

- Andesita: Jv= 5 grietas/m³

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \cdot (5)$$

$$\text{RQD} = 98,5\% \text{ (Muy Bueno)}$$



c. Valoración del Macizo Rocoso

La finalidad de definir un valor del RMR en un macizo rocoso, es cuantificar su calidad, estimar sus propiedades desde el punto de vista de la ingeniería, proporcionar las bases de referencia para las condiciones previstas y recomendar procedimientos adecuados de refuerzo. A este respecto, el sistema RMR es más efectivo con fines de planificación preliminar y también durante la etapa de construcción real.

Cuadro 35. Determinación la clasificación RMR: Granodioritas.

| DESCRIPCIÓN | | | | |
|----------------------------|--|----------------|-------------------|---|
| Roca | Parámetros | Valor | Valoración | |
| Granodiorita | Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²) | 807,74 | 12 | |
| | RQD (%) | 82% | 17 | |
| | Separación entre diaclasas (mm) | 1000 | 20 | |
| | Estado de las fisuras | Longitud < 1m | | 6 |
| | | Abertura < 1mm | | 5 |
| | | Rugosa | | 5 |
| | | Vacía | | 6 |
| | | Sin alteración | | 6 |
| Estado del agua | Seco | 15 | | |
| | Subtotal. | | 92 | |
| Orientación de la fractura | Medianamente desfavorable β 45° a 90° | | -25 | |
| Total. | | | 67 | |

La calidad del macizo rocoso en relacion al RMR, lo coloca en el **Tipo II Buena**, con una valoracion del índice de 67. Sus características geotécnicas son:

- Cuerpos rocosos de alta estabilidad ante cargas portantes.
- Su ángulo de estabilidad se mantiene entre 45° y 75°.



- Los niveles de cohesión entre bloques es bajo, desprendiéndose por cuerpos relativamente cúbicos y/o planchas.
- En relación a taludes, el diseño debe contemplar < 20 metros en H.

Cuadro 36. Determinación la clasificación RMR: Andesita.

| DESCRIPCIÓN | | | | |
|----------------------------|--|----------------|------------|---|
| Roca | Parámetros | Valor | Valoración | |
| Andesita | Resistencia a la compresión (Kgf/cm ²) | 1972,14 | 12 | |
| | RQD (%) | 98,5 % | 20 | |
| | Separación entre diaclasas (mm) | 1000 | 20 | |
| | Estado de las fisuras | Longitud < 1m | | 6 |
| | | Abertura < 1mm | | 5 |
| | | Rugosa | | 5 |
| | | Vacía | | 6 |
| | | Sin alteración | | 6 |
| Estado del agua | Seco | | 15 | |
| | Subtotal. | | 95 | |
| Orientación de la fractura | Medianamente desfavorable β 45° a 90° | | -25 | |
| Total. | | | 70 | |

La calidad del macizo rocoso en relacion al RMR, lo coloca en el **Tipo II Buena**, con una valoracion del índice de 70. Sus características geotécnicas son:

- Cuerpos rocosos de alta estabilidad ante cargas portantes.
- Los niveles de cohesión entre bloques es bajo, desprendiéndose por cuerpos relativamente cúbicos y/o planchas.
- Su ángulo de estabilidad se mantiene entre 45° y 75°.
- En relación a taludes, el diseño debe contemplar < 20 metros en H.



5.4.11. Taludes

a. Factores Morfométricos

Existen condiciones morfométricas de campo que se pueden sintetizar en:

- *Macizo de fondo:* Contacto entre granodiorita y andesitas poco fracturadas.
- *Material de cobertura:* 30 cm de suelos con materia vegetal.
- *Altura total del talud:* 80 m
- *Ancho:* 12 m
- *RMR:* Tipo II. Buena.
- *Jv:* 10 discontinuidades/m³
- *Tipo de Bloque:* Relativamente pequeño (< 0,5m³)

La interpretación de estos datos, indica que las condiciones de inestabilidad son **moderadas**, por las siguientes razones:

- Las rocas son de elevada resistencia $> 800 \text{ kgf/cm}^2$,
- Como macizo, presenta entre 5 - 10 discontinuidades por metro cubico, lo que lo torna relativamente inestable y obliga en el diseño a tomar medidas de anclaje, recubrimientos y estabilidad y control tradicional.
- El ángulo de trabajo actual alcanza los 80°, tornándose inestable, por lo que precisa retaludamiento para controlar la inestabilidad.
- El ángulo de estabilidad natural para este tipo de macizo está entre 60 – 70°.
- Las actuales condiciones invernales han dado la pauta del diseño de drenes superficiales en corono, superficies de talud y canalización en el pie.



Ver Anexo 13. Ficha modelo de caracterización de taludes.



Gráfica 48. Relación de las actuales condiciones métricas.

b. Factores Geológicos

Están referidos a la interpretación geológica y los planos de debilidad dentro de los diaclasamiento en los tres ejes. En este factor se puede evidenciar:

- Rocas referidas granitos, granodioritas y andesitas con coeficientes de fortaleza variable entre 8 a 20.
- Agrietamiento evidente en tres ejes, con >10 grietas/m³.
- Bloque con volúmenes menores a 4 m³.
- Rocas diaclasadas, rugosas, sin apertura.

c. Factores hidrológicos e infiltración

En este componente se distinguen tres elementos:



- Sin infiltración, por las diaclasas no existe evidencia de flujo de aguas pero esto se debe a la variedad del periodo invernal en la provincia.
- La escorrentía erosiona hídricamente a los macizos pero de forma superficial, formando depósitos de suelos arenosos de color gris claro.
- Los sectores diaclasados tienden a recibir material arenoso u arcilla, por lo cual se debe considerar presiones intersticiales en el cálculo del FS.

d. Bases de factores geotécnicos

- **Las rocas**, presentan coeficientes de fortaleza mayor de 20, de grano fino y de elevada resistencia, soportan ángulos de estabilidad mayor de 60°.
- **Los suelos**, son de tipo residual de tipo grano fino, presentan resistencias mecánicas de 0,4 ~ 0,7kgf/cm², mezclados con arcillas, arcillolitas y materia vegetal.
- **Cohesión**, relaciona valores variables desde 1,2 a 1,8 t/m².
- **Peso específico**, relaciona suelos variables entre 1,4 a 1,8 t/m³.

5.4.12. Análisis de Estabilidad de Taludes

La ingeniería geológica y geotécnica, entre muchos otros campos, abarca el cálculo de estabilidad de taludes, pudiéndose distinguir varios métodos de cálculo en base a la diferente formulación matemática utilizada. El buen conocimiento del comportamiento de un talud frente a sus posibles roturas, repercute enormemente en los costes y en la seguridad, por ello, las investigaciones de campo (in situ) y de laboratorio, deben ser las suficientes, como para poder caracterizar en la medida de lo posible las características geomecánicas del terreno, así como, los posibles mecanismos de rotura.



Dependiendo del tipo de talud, el tiempo y recursos destinados a la investigación de campo y al análisis, existen diferentes procedimientos de investigación y diseño de taludes. Existen tres procedimientos usuales, que representan niveles de complejidad y costo.

- Uso de observación de campo y experiencia, sin sondajes, ni ensayos de laboratorio, ni análisis de estabilidad.
- Uso de cálculos de estabilidad mediante ábacos, en combinación con observaciones de campo y un número mínimo ya sea de sondajes y/o ensayos de laboratorio.
- Uso de cálculos detallados de estabilidad, en combinación con un programa amplio de investigación de campo y ensayos de laboratorio.

En el diseño de taludes se parte con el análisis de estabilidad y la estimación del factor o coeficiente de seguridad. El concepto de Factor de Seguridad (FS) nace de la necesidad tanto de proveer seguridad a las obras y elementos diseñados y construidos, como de optimizar los mismos. (González, 1974, 1992, 1999, 2006).

En Geotécnia, el riesgo de colapso de un talud se mide en términos del llamado coeficiente de seguridad FS, que es la relación entre el conjunto de los esfuerzos resistentes o estabilizadores y los desestabilizadores que provocan la rotura del talud. La relación de un factor FS mayor implica una disminución del riesgo, pero supone en general taludes más acostados o tendidos.

El valor $FS=1$ señala la frontera en la cual un talud “es” o “deja de ser” estable. La necesidad de utilizar valores de $FS > 1$, se basa en el tipo de obra, la temporalidad (preliminar o permanente) o las especificaciones normadas en un país. Estos pueden llegar desde 1.3 (recomendado por Varnes), 1,6 para taludes preliminares y 2.0 para taludes permanentes.

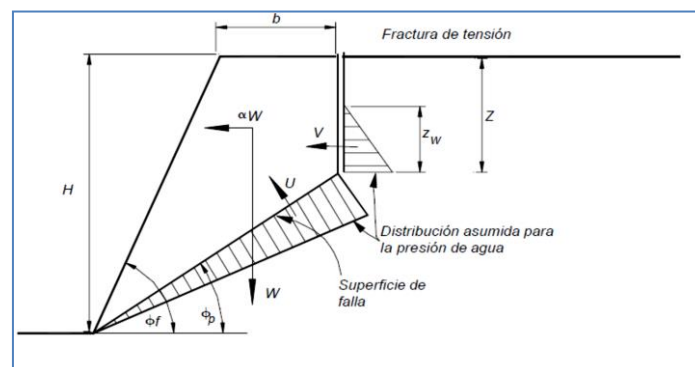


En el presente caso, se opta por el cálculo de roturas planares para roca (granitos y andesitas) y la estimación de ábacos para roturas circulares al pie (roturas suecas) para los suelos.

a. Roturas planares en roca: Granodioritas/Andesitas

En el caso de rotura planar, el factor de seguridad (FS) se obtiene de forma directa, como cociente entre las fuerzas que tienden a producir el movimiento y las fuerzas resistentes del terreno que se oponen al mismo, proyectadas todas según la dirección del plano de rotura. Al calcular FS de esta manera, se supone implícitamente constante a lo largo de toda la superficie de rotura, lo cual se acepta a pesar de no ser estrictamente cierto. En el caso más general, se considera que el plano de deslizamiento se encuentra limitado en su parte superior por una grieta de tracción, que se puede suponer plana, total o parcialmente llena de agua. En el plano de rotura aparecen unas presiones intersticiales que dependen de la situación de la línea de saturación y de las características del terreno.

En el caso vial, las rocas son granodioritas y andesitas que como tal presentan altas resistencias a la fortaleza y dureza, pero el factor de seguridad relacionará el macizo; es decir; rocas más diaclasamiento. En este contexto, para las roturas planares se ha definido el siguiente modelo de determinación del factor o coeficiente de seguridad:



Gráfica 49. Determinación de los valores para roturas planares en la vía.



Los valores con los que se estimó el FS, considera los siguientes valores:

Cuadro 37. Parámetros para el cálculo Rotura Planar.

| Parámetro: | | Parámetro: | |
|----------------------|-----|----------------------|-------------------------|
| H | 30m | c' | 47.88 KN/m ² |
| ψ_p | 50° | Φ | 50° (Recomendado) |
| ψ_t | 60° | γ | 25,14 KN/m ³ |
| Z | 10m | γ_w | 9,81 KN/m ³ |
| Z_w | 2m | | |

De donde se obtuvo los siguientes resultados:

A.- Área estimada de la superficie del posible deslizamiento

$$A = \frac{H - Z}{\text{sen } \psi_p}$$

$$A = \frac{30m - 10m}{\text{sen } 50}$$

A= 26.11 m

U.- Resultante de las presiones intersticiales

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w * Z_w \left(\frac{H - Z}{\text{Sen } \psi_p} \right)$$

$$U = \frac{1}{2} * 9,81KN/m^3 * 2m * 26,11m$$

U= 256.12 KN/m



V.- Resultante de las presiones intersticiales que considera el agua en las grietas de tracción.

$$V = \frac{1}{2} * \gamma_w * Z_w^2$$

$$V = \frac{1}{2} * 9,81 \text{KN/m}^3 * (5\text{m})^2$$

$$\underline{\underline{V = 19,62 \text{ KN/m}}}$$

W.- Resultante que considera la presión del eso de la posible masa a deslizarse.

$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * \left[\frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right]$$

$$W = \frac{1}{2} * 25,14 \text{KN/m}^3 * (30\text{m})^2 * \left[\frac{1 - \left(\frac{10\text{m}}{30\text{m}}\right)^2}{\tan 50} - \frac{1}{\tan 60} \right]$$

$$\underline{\underline{W = 1906,422 \text{ KN/m}}}$$

El cálculo del Factor de seguridad (FS) queda definido en:

$$FS = \frac{c' * A + (W * \cos \psi_p - U - V * \sin \psi_p) * \tan \Phi}{W * \sin \psi_p + V * \cos \psi_p}$$

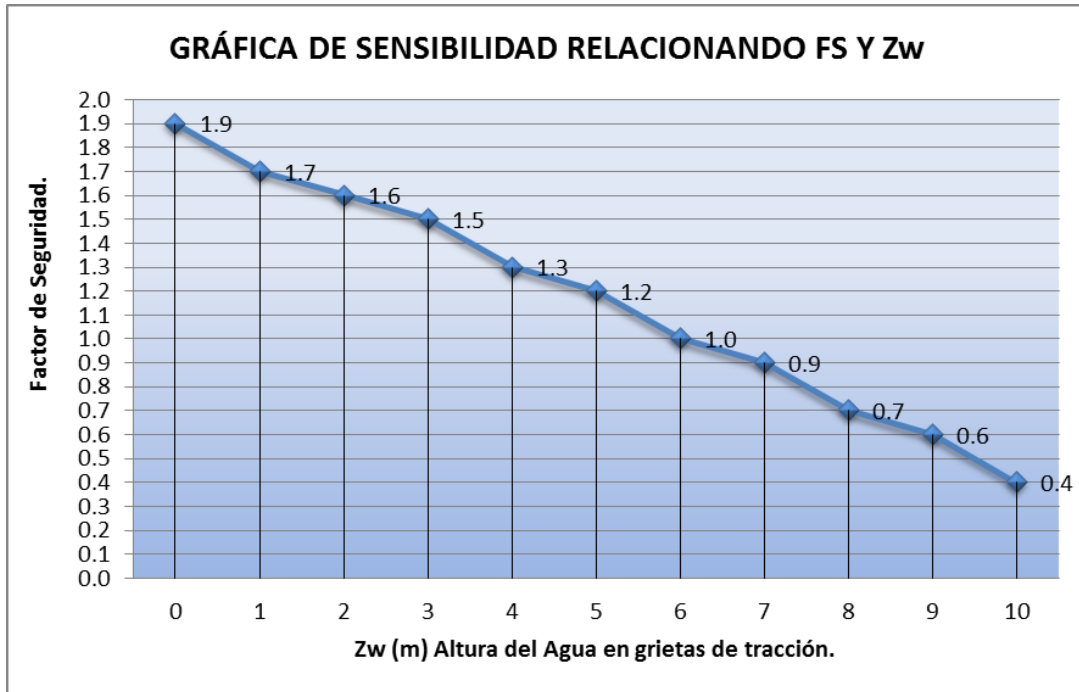
FS

$$= \frac{47,88 * 26,11\text{m} + (1906,422 * \cos 50 - 256,12 - 19,62 * \sin 50) * \tan 50}{1906,422 * \sin 50 + 19,62 * \cos 50}$$

$$\underline{\underline{FS = 1,6207 = 1,6}}$$



La grafica de sensibilidad (GS), relacionando variación de los valores de ángulos y longitudes de grietas queda definida en:



Gráfica 50. Grafica de Sensibilidad (GS) relacionando el FS y la cantidad de agua que podría soportar la grieta de tracción (Zw).

Los análisis de sensibilidad de parámetros, tiene su utilidad para comprobar la modificación del coeficiente de seguridad (FS) entre la variación de los parámetros asociados al modelo que define el comportamiento del talud, tal como la geometría, incertidumbre en los parámetros resistentes, presencia de agua en grietas, entre otros. En el presente caso, relacionando el factor de seguridad y las variables de inestabilidad, se puede definir lo siguiente:

- La estabilidad estará relacionada directamente con los ángulos de trabajo y estabilidad natural, los cuales no sobrepasaran los 65°.
- El mayor condicionante de inestabilidad lo determinarán las lineaciones (grietas, diaclasamientos) y sus respectivos juegos y



familias medidas en el campo conforme avance la ejecución del talud.

- Los diseños considerarán cualquier tipo de medida de sostenimiento, estabilización y/o control, sin dejar jamás las medidas de drenaje tanto superficial como profundo. Esto evitará la presencia de agua en las grietas de tracción y sus respectivas presiones.

b. Estimación por el método de Ábacos (Hoek y Bray)

Basados en el método de Taylor, los ábacos de Hoek y Bray (1977,1981) proporcionan un límite inferior del factor de seguridad, asumiendo que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un solo punto, por lo tanto, se lo considera como un método básico preliminar.

En la construcción de los ábacos se han tenido en cuenta diferentes condiciones de presiones intersticiales, debidas a la presencia de un nivel freático en el terreno que divide el talud en una zona seca y otra saturada. Se cuenta con 5 ábacos, dos de ellos para talud totalmente seco y totalmente saturado y 3 para casos intermedios (diferentes alturas del nivel freático).

Los datos requeridos y obtenidos se muestran en el Cuadro 19:

Cuadro 38. Parámetros de estimación para el Método de Ábacos.

| | Parámetro: | Unidad: | Valor: |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------|---------------|
| H | altura del talud | m | 30 |
| Ψ | Inclinación | ° | 60 |
| c' | cohesión efectiva del terreno | t/m ² | 1,5 |
| Φ | ángulo de rozamiento interno efectivo | ° | 45 |
| γ | peso específico del terreno | t/m ³ | 1,7 |
| | Tipo de Abaco: | Parcialmente saturado | |



Las expresiones matemáticas para la intersección en el ábaco:

- Resultante:

$$R = \frac{c'}{\gamma * H * \tan\phi}$$

- Intersecciones X / Y.

$$x = \frac{c'}{\gamma * H * F_s}$$

$$y = \frac{\tan\phi}{F_s}$$

Los resultados:

$$R = \frac{1,5}{1,7 * 30 * \tan 45}$$

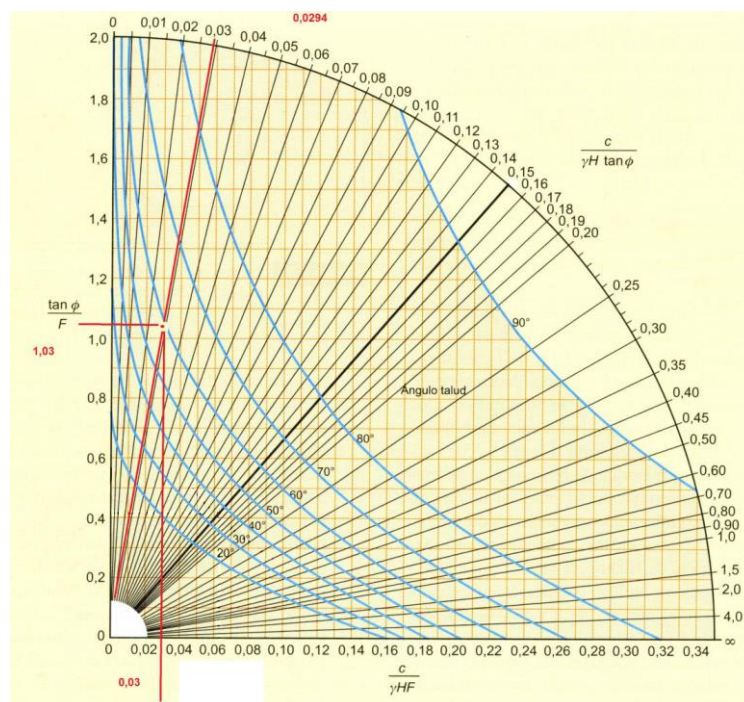
$$y(1,03) = \frac{\tan 45}{F_s}$$

$$x(0,03) = \frac{c'}{\gamma * H * F_s}$$

$$F_s = 0,977$$

$$F_s = 0,98$$

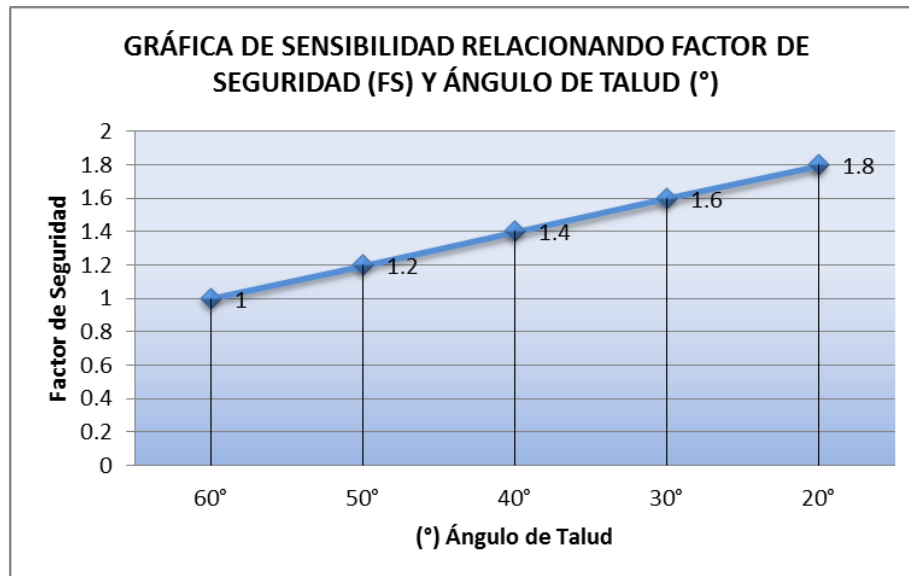
Los valores graficados en el Abaco para terrenos semi-saturados



Gráfica 51. Valores graficados en el Abaco de Hoek y Bray para materiales semi-saturados



Como se observa en la Gráfica 26, los valores del coeficiente de seguridad aumentarán a medida que los valores del ángulo de trabajo del talud se acerquen a los valores del ángulo de reposo natural.



Gráfica 52. Grafica de Sensibilidad al diseño del talud

Una vez definidas las variables de FS con respecto al ángulo de trabajo (45°) y relacionándolos con los bordos finales (taludes generales finales), se procede a relacionar los datos morfométricos del diseño y las posibles medidas de estabilización y control recomendadas. En dependencia de la configuración de los taludes y su orientación relativa respecto a la estratificación o familias de discontinuidades dominantes, es posible clasificar las diferentes situaciones de los bancos para su diseño o Zonas, en las que la estratificación esta inclinada hacia la superficie del talud con un ángulo inferior 45° grados, no debe ocurrir inestabilidades ni deslizamientos importantes.

Se detalla:

- En el caso de taludes sin bermas ni plazoletas de trabajo, donde la pendiente coincida con un ángulo no superior a los 45° grados, no deben producirse deslizamientos en suelos.



**“ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA”**

- Los bancos con ángulo de talud de 45 a 75 grados coincidentes con los planos de estratificación, deben manifestar deslizamientos o roturas planares o circulares (deslizamientos rotacionales o tipo cuchara).
- En el caso que los bancos corten rocas con discontinuidades con buzamiento a favor de la dirección de su desarrollo, en el talud es posible que ocurran desprendimientos de rocas.



XVI. DISCUSIÓN

Para la discusión del presente trabajo se tomó como referencia al Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja, OEA-INERHI-PREDESUR-CONADE.

Atendiendo al Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja, se describe que desde 1994 es prioritario el Manejo y Conservación de los cuatro sistemas hidrográficos que conforman la provincia y en particular de las cuencas afluentes a los proyectos Puyango -Tumbes y Catamayo-Chira, de carácter binacional, protegiendo importantes inversiones que próximamente efectuarán Ecuador y Perú. Además, en este estudio se detalla los nuevos lineamientos de conformación de la red vial que comunicará a los canales de riego con las poblaciones y se enmarca especial interés en el control de taludes y los sitios de inestabilidad geológica en dichas vías.

A partir de ese estudio, y como base del proyecto de tesis se procedió a la descripción topográfica y geológico-geotécnico del tramo del eje vial Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo, en el cual se identificó que el proyecto se localiza en un relieve montañoso, donde se encuentran elevaciones importantes como el cerro Jatupamba con una elevación de 2.579 m.s.n.m. y el Murinuma con 2.617 m.s.n.m. Dichas elevaciones se desprenden en su mayoría de la Cordillera Oriental, creando un desorden Orográfico muy habitual de nuestra provincia, que da origen a la formación de diversos paisajes geomorfológicos en el sector de estudio, entre estos tenemos: colinas medianas, relieve escarpado y relieve montañoso, siendo el relieve escarpado el que predomina con 40.95% del área de estudio, estos factores crean condiciones de inestabilidad de laderas.



Con la utilización de la estación Trimble S6 se procedió a realizar el levantamiento topográfico a detalle de la vía, generando curvas de nivel a cada metro, a partir de este levantamiento topográfico se determinó las pendientes, las cuales varían de medias a altas, en donde predominan las pendientes medias (16.7° a 26.6°), mismas que representan el 43.96% del total del área de estudio, estos datos han sido corroborados a través del análisis de fotointerpretación y visitas de campo, las cuales confirman la veracidad de dicho levantamiento.

Mediante visitas de campo y a través de la descripción de afloramientos y de macizos rocosos, se puede observar una geología no muy compleja, compuesta por tobas y lavas andesitas de la Formación Celica, las cuales se presentan un poco meteorizadas intruídas por granodioritas provenientes del Batolito de Tangua; no existe la presencia de fallas geológicas. En el kilómetro 5 encontramos un deslizamiento antiguo estabilizado.

Para la determinación del Límite Líquido, Límite Plástico, Granulometría, y Clasificación SUCS Y AASHTO se aperturaron 23 calicatas de las cuales se obtuvieron 3 muestras de cada calicata, en 3 diferentes horizontes de muestreo, a 0.50, 1.00 y 1.50 metros de profundidad, de lo que se obtuvo como resultado que los suelos son Mal Gradados, existe un mayor porcentaje de gravas arcillosas (GS) y en menor porcentaje arenas y limos. Además se encontraron dos tipos problemáticos de suelos: CH: Arcillas de alta plasticidad que pueden causar deformación de suelos por el aumento de su volumen y ML: Limos muy finos que pueden ocasionar hundimientos y deslizamientos; todos estos eventos se pueden producir si estos suelos se saturan (Arcillas y Limos) o no presentan agua (Limos).

En el análisis geólogo - geotécnico se realizó con ayuda de la apertura de 7 calicatas para determinar la Densidad del suelo, Contenido de Humedad Optimo, el DCP y CBR, lo que dio como resultado un CBR Regular, donde



el material de la vía sirve para Sub-base de la infraestructura. Este resultado fue similar con el DCP ya que dio el mismo resultado: DCP Regular donde el material de la vía sirve para Sub-base de la infraestructura.

Para la determinación de las características geomecánicas de las formaciones geológicas y obtener la calidad del macizo rocoso presentes en la vía de estudio, se determinó primeramente el RQD (Índice de Calidad de la roca) de los macizos rocosos, el cual se estableció directamente en los afloramientos; es decir se utilizó una metodología de cálculo a partir del conteo volumétrico de discontinuidades, de los cuales se obtuvo que la Andesita posee un RQD de 98.5% equivalente a Muy Bueno y la Granodiorita posee un RQD de 82% equivalente a Bueno.

La clasificación geomecánica de Bieniawski dio como resultado que la calidad del macizo rocoso de Andesita lo coloca en el **Tipo II Buena**, con una valoración del índice de 70; y la calidad del macizo rocoso de Granodiorita lo coloca en el **Tipo II Buena**, con una valoración del índice de 67, cuyas características geotecnicas son: Cuerpos rocosos de alta estabilidad ante cargas portantes, los niveles de cohesión entre bloques es bajo desprendiéndose por cuerpos relativamente cúbicos y/o planchas, su ángulo de estabilidad se mantiene entre 45° y 75°, en relación a taludes y el diseño debe contemplar taludes de menos de 20 metros en altura.

Para la estimación del Factor de Seguridad más representativos del tramo de vía Nueva Fátima – Numbiaranga - Portachuelo, se estableció dos métodos para la determinación del FS tomando en consideración la geología presente en el sector de estudio, estos métodos fueron: el método de Rotura Planar para roca (granodioritas y andesitas) y el método de Hoek y Bray para suelos (rocas meteorizadas).



Para el caso de roca se utilizó el método de Rotura Planar de lo cual se obtuvo que el Factor de Seguridad (FS) equivalente a 1.6. En el presente caso, relacionando el factor de seguridad y las variables de inestabilidad, se pudo definir lo siguiente: la estabilidad estará relacionada directamente con los ángulos de trabajo y estabilidad natural, los cuales no sobrepasaran los 65° , el mayor condicionante de inestabilidad lo determinarán las lineaciones (grietas, diaclasamientos) y sus respectivos juegos y familias medidas en el campo conforme avance la ejecución del talud, y los diseños considerarán cualquier tipo de medida de sostenimiento, estabilización y/o control, sin dejar jamás las medidas de drenaje tanto superficial como profundo, esto evitará la presencia de agua en las grietas de tracción y sus respectivas presiones.

Para el caso de suelos se utilizó el método de Hoek y Bray, utilizando el ábaco para terrenos semi-saturados de lo cual se obtuvo que el Factor de Seguridad (Fs) es equivalente a 0.98. Una vez definido el FS con respecto al ángulo de trabajo (45°) y relacionándolos con los taludes generales finales se procedió a relacionar los datos morfométricos del diseño y las posibles medidas de estabilización y control recomendadas, de lo cual es muy importante considerar que el valor del Factor de Seguridad aumentará a medida que los valores del ángulo de trabajo del talud se acerquen a los valores del ángulo de reposo natural.



XVII. CONCLUSIONES

- En el levantamiento topográfico de la vía que atraviesa las comunidades Nueva Fátima-Numbiaranga-Portachuelo, se determinó que la cota más baja es de 1.147 m.s.n.m. en Portachuelo y la más alta es de 1.620 m.s.n.m. en Nueva Fátima; además, se estableció pendientes entre bajas, medias y altas, siendo las de mayor porcentaje las pendientes medias que oscilan entre 16.7° a 26.6° con el 43.93 %.
- En el estudio geológico de la zona de influencia de la vía, se comprobó que las rocas existentes corresponden a tobas y lavas andesíticas de la Formación Celica, granodiorita del Batolito de Tangula y depósitos aluviales constituidos por arena y cantos de 0.5 cm a 25 cm.; además, no existen fallas geológicas.
- El estudio geotécnico del lugar influenciado por la vía, dio los siguientes resultados:

Los suelos presentan una granulometría discontinua o suelo mal graduado.

Predominan los suelos con clasificación GC (SUCS) o A-2-6 (AASHTO) correspondientes a gravas arcillosas, con porcentajes de 34.8% a 0.50 m., 39.1% a 1.00 m. y 26.1% a 1.50 m.

Se presentan suelos del tipo ML (limos orgánicos muy finos) con un porcentaje promedio de 40% del Límite Líquido, inferior al 50% que establece el criterio técnico; y suelos del tipo CH (arcillas de alta plasticidad) con porcentaje promedio de 52% del Límite Líquido, superior al 50% que considera la técnica.



El suelo según el CBR se clasifica en muy pobre, pobre, regular y bueno, predominando el regular con un porcentaje del 42.9%, que puede ser utilizado para sub-base, similar resultado se obtuvo con el DCP.

Las lavas y tobas andesíticas de la Formación Celica son del Tipo II Calidad Buena con una valoración de 70; y las granodioritas del Batolito de Tangula son del Tipo II Calidad Buena con una valoración de 67, de acuerdo al RMR.

- Los taludes de la vía presentan los siguientes resultados del factor de seguridad:

De las rocas (andesita y granodiorita), según el Método de Rotura Planar es de 1.6, equivalente a estable para taludes temporales.

De los suelos (material meteorizado), de acuerdo al Método de Hoek y Bray es de 1.6, equivalente a estable para taludes temporales.



XVIII. RECOMENDACIONES

- Elaborar el diseño asfáltico de la vía Nueva Fátima-Numbiaranga-Portachuelo, en base a los resultados topográficos, geológicos y geotécnicos, obtenidos en el presente estudio.
- Diseñar medidas de drenaje superficial y profundo, para controlar la presencia de agua en los estratos ML (limos orgánicos muy finos) y CH (arcillas de alta plasticidad), para evitar asentamientos y deformación de la vía.
- Realizar en el diseño de taludes definitivos para rocas, medidas de sostenimiento, estabilización, control y drenajes superficiales y profundos; y para taludes de suelos, terraceo y drenajes superficiales y profundos, para impedir movimientos de masa.
- Considerar en futuros proyectos para esta zona, un estudio climatológico enfocado a precipitaciones, debido a que en temporada invernal estas presentan un aumento excesivo y afectarían la construcción de cualquier obra civil.



XIX. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

Belousov V. 1979. Geología Estructural. Segunda Edición. 5 p. Moscú, Rusia.

Bonneval, H. 1972. Photogrametrie Generale. Tomo I. p 231. Eyrolles. Paris.

Branja, M. Fundamentos de Ingeniería Geológica. University, Sacramento. p 587. California, Estados Unidos.

González de Vallejo, L. 2006. Ingeniería Geológica. 715 p. Madrid, España.

Gorshkov G. 1970. Geología General. Moscú. 5 p. Moscú, Rusia.

Herrera Rodríguez, F. 2000. Análisis De Estabilidad De Taludes. Geotecnia.

Informe Oficial. –MTO- Informe de Rendición de Cuentas 2011.

Mijailov, L. 1989. Hidrogeología. Editorial Mir Moscú. 288 p. Moscú, Rusia.

Ochoa, D. 2012. Estudio de Impacto Ambiental Ex – Ante y Plan de Manejo del Proyecto “Ampliación y Mejoramiento de la vía Nueva Fátima – Lubushco - Numbiaranga – Portachuelo”, de los cantones Sozoranga y Macará, Provincia de Loja. p 180. Loja, Ecuador.

Paredes, F. 2008. Esquema de Concesiones Viales en el Ecuador.

PREDESUR, Plan de Desarrollo de la Región Sur, 1998 -2003, 2004.



SEMPLADES. Plan Nacional de Desarrollo o Plan Nacional del Buen Vivir. 2009 – 2013. Páginas 384 – 386.

Suárez, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Capítulo 2. Procedimientos de Investigación.

Turnbull y Hvorslev. 1967. Métodos de Estabilización de Taludes y Deslizamientos. 14 p.

Viers, G. 1973. Geomorfología. Las rocas y su génesis. 52-60 p. Madrid, España.

Webster, S., Brown, R., y Potter, J. 1994. Force Projection Site Evaluation Using the Electric Cone Penetrometer (ECP) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Technical Report N0. GL-94-17, Air Force Civil Engineering Support Agency.



**"ESTUDIO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL TRAMO DE VÍA NUEVA FÁTIMA –
NUMBIARANGA – PORTACHUELO DE LOS CANTONES SOZORANGA Y MACARÁ.
PROVINCIA DE LOJA"**

XX. ANEXOS

ANEXOS



Anexo 1.

Mapa de Taxonomía de Suelos del Sector de Estudio



Anexo 2.

Mapa de Red Hídrica del Sector de Estudio



Anexo 3.

Mapa de Isoyetas del Sector de Estudio



Anexo 4.

Mapa Isotermas del Sector de Estudio



Anexo 5.

Mapa de Topografía del Sector de Estudio



Anexo 6.

Mapa de Levantamiento Topográfico de la vía



Anexo 7.

Mapa de Pendientes del Sector de Estudio



Anexo 8.

Mapa Geomorfológico del Sector de Estudio



Anexo 9.

Mapa de Geología Regional del Sector de estudio



Anexo 10.

Mapa de Geología Local del Sector de estudio



Anexo 11.

Cuadros sintetizados de resultados Físico-Macánicos de suelos



Anexo 12.

Fichas de descripción de Litología de Calicatas



Anexo 13.

Ficha modelo de caracterización de taludes



Anexo 14.

Fotocopias de ensayos de laboratorio de compresión, porosidad y contenido de humedad de rocas



Anexo 15.

Registro Fotográfico



Anexo 16.

Proyecto de Tesis