

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE  
TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE  
CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N,  
CHOTA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Presentado por: ALEX FERNÁNDEZ IRIGOÍN**

**Asesor: DR. ING. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ**

**Chota – Perú**

**2022**





## FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

### 1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: FERNÁNDEZ IRIGOÍN ALEX

Código del alumno: 2014052200

Teléfono: 942003287

Correo electrónico: alexfi\_1010@hotmail.com

DNI: 48056822

### 2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

### 3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

### 4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA

### 5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

### 6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL

### 7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ

Teléfono: 980952316

Correo : enchavez@unach.edu.pe

D.N.I.: 26698185

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de, Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA:

DNI.48056822



**Evaluación del nivel de riesgo a deslizamiento de taludes  
mediante los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo  
Peña de los Loros, carretera 3N, Chota**

**POR:**

**ALEX FERNÁNDEZ IRIGOÍN**

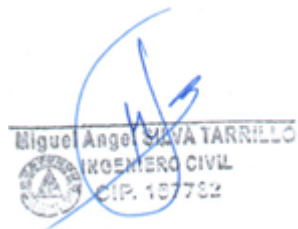
**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la  
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título  
de  
INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**



-----  
**Mg. Ing. Claudia Emilia Benavidez Núñez**

**PRESIDENTE**



-----  
**Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo**

**SECRETARIO**



-----  
**Mg. Ing. Cristhian Saúl López Villanueva**

**VOCAL**



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por cuidarme, protegerme y darme la fuerza diaria para esforzarme hasta concretar este logro académico.

A los educadores de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, alma mater de mi alineación académica, en especial a mi asesor el Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez, por sus aportes para el perfeccionamiento de esta investigación.

A la propietaria del terreno denominado Peña de Los Loros, la Sra. Eulalia Tapia Guerrero, por la viabilidad para efectuar el levantamiento topográfico y estudio de mecánica de suelos, para la ejecución de este análisis, es grato saber que los ciudadanos de la provincia de Chota apoyan el desarrollo de la investigación científica.



## **DEDICATORIA**

A mis padres: Julio Cesar, Fernández Vera, y Dolores, Irigoín Delgado, quienes me acompañaron, guiaron y apoyaron en cada etapa de mi vida, ustedes siempre han sido y serán mis más grandes modelos a seguir. A mis hermanos Ronald, Nely y Roberth, por ser mi fuente de motivación para alcanzar mis anhelos, ustedes siempre me han acompañado y cada consejo suyo me ha servido para llegar a cumplir esta meta profesional.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b> .....	<b>21</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3. Justificación e importancia</b> .....	<b>24</b>
<b>1.4. Delimitación de la investigación</b> .....	<b>26</b>
<b>1.5. Limitaciones</b> .....	<b>26</b>
<b>1.6. Objetivos</b> .....	<b>26</b>
1.6.1. Objetivo general.....	26
1.6.2. Objetivos específicos .....	27
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>28</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación</b> .....	<b>28</b>
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	28
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	29
2.1.3. Antecedentes regionales .....	30
<b>2.2. Marco teórico</b> .....	<b>32</b>
2.2.1. Teoría del deslizamiento de taludes.....	32
2.2.2. Factores geométricos de un talud .....	36
2.2.3. Teoría de mecánica de suelos .....	37
2.2.4. Propiedades físico, mecánicas e hidráulicas de los suelos .....	39
2.2.5. Riesgo .....	44
2.2.6. Riesgo geotécnico por deslizamiento de taludes .....	45
2.2.7. Análisis de estabilidad en taludes .....	47
2.2.8. Método determinístico de Taylor.....	50
2.2.9. Método probabilístico: Simulación de Monte Carlo .....	52
2.2.10. Métodos para estabilizar taludes.....	53
<b>2.3. Definición de términos</b> .....	<b>54</b>



<b>CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1. Hipótesis .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2. Variables.....</b>	<b>57</b>
3.2.1. Variable independiente .....	57
3.2.2. Variable dependiente .....	57
<b>3.3. Operacionalización de variables .....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1. Ubicación geográfica del estudio.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Unidad de análisis, población y muestra .....</b>	<b>63</b>
4.2.1. Población .....	63
4.2.2. Muestra .....	63
4.2.3. Unidad de análisis.....	66
4.2.4. Unidad de observación .....	66
<b>4.3. Tipo y descripción del diseño de investigación .....</b>	<b>67</b>
4.3.1. Tipo de investigación.....	67
4.3.2. Diseño de investigación .....	67
4.3.3. Métodos de investigación .....	70
<b>4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>71</b>
4.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	71
4.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	71
<b>4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de información.....</b>	<b>72</b>
4.5.1. Procesamiento de análisis por el método determinístico de Taylor .....	73
4.5.2. Procesamiento de análisis por el método probabilístico de Monte Carlo.....	77
<b>4.6. Matriz de consistencia metodológica .....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1. Presentación de resultados .....</b>	<b>81</b>
5.1.1. Propiedades físico-mecánicas del suelo del talud.....	81
5.1.2. Análisis de estabilidad de taludes por la metodología Taylor .....	88
5.1.3. Análisis de estabilidad de taludes por la metodología Monte Carlo.....	128

5.1.4. Análisis de estabilidad de taludes según los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros de la carretera 3N, Chota .....	186
5.1.5. Grieta de tensión del talud .....	191
<b>5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....</b>	<b>192</b>
<b>5.3. Contrastación de hipótesis .....</b>	<b>200</b>
<b>CAPÍTULO VI. PROPUESTA .....</b>	<b>204</b>
<b>6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema .....</b>	<b>204</b>
<b>6.2. Beneficios que aporta la propuesta .....</b>	<b>210</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>211</b>
<b>RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS .....</b>	<b>213</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>222</b>
Anexo N° 1. Matriz de consistencia .....	222
Anexo N° 2. Panel fotográfico .....	223
Anexo N° 3. Estudio de mecánica de suelos .....	229
Anexo N° 4. Análisis de precipitaciones pluviales Cochabamba.....	230
Anexo N° 5. Propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cemento al 8% .....	231
Anexo N° 6. Planos .....	232

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los movimientos de ladera según Varnes (1978) .....	34
<b>Tabla 2.</b> Factores influyentes en la inestabilidad de taludes .....	35
<b>Tabla 3.</b> Rango de valores del coeficiente de permeabilidad en suelos según Gonzáles et al. (2002) .....	44
<b>Tabla 4.</b> Permeabilidad para suelos saturados según Braja M. Das (2013) .....	43
<b>Tabla 5.</b> Coeficientes de permeabilidad para suelos según FAO (2021) .....	44
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes .....	48
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica .....	49
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de suelos de acuerdo al periodo fundamental de vibración sísmica $T_p$ (s) (Norma E.030) ....	50
<b>Tabla 9.</b> Matriz de operacionalización de variables en estudio .....	58
<b>Tabla 10.</b> Ubicación de las calicatas en el talud .....	64
<b>Tabla 11.</b> Tipos de análisis de estabilidad de taludes aplicados a la Peña de los Loros .....	66
<b>Tabla 12.</b> Tipo de investigación según los principales criterios .....	67
<b>Tabla 13.</b> Métodos de análisis de estabilidad de taludes .....	70
<b>Tabla 14.</b> Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de los datos de cada variable .....	72
<b>Tabla 15.</b> Contenido de humedad del suelo del talud Peña de los Loros .....	83
<b>Tabla 16.</b> Análisis granulométrico del suelo del talud Peña de los Loros .....	83
<b>Tabla 17.</b> Límites de consistencia del suelo del talud Peña de los Loros .....	84
<b>Tabla 18.</b> Gravedad específica de los sólidos del suelo del talud Peña de los Loros .....	87
<b>Tabla 19.</b> Propiedades mecánicas del suelo del talud Peña de los Loros .....	87
<b>Tabla 20.</b> Factor de seguridad estático por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros .....	187
<b>Tabla 21.</b> Factor de seguridad dinámico por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros .....	188
<b>Tabla 22.</b> Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones estáticas por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros .....	189
<b>Tabla 23.</b> Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones dinámicas por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros .....	190
<b>Tabla 24.</b> Propiedades físico-mecánicas del suelo del talud del tramo Peña de los Loros, carretera 3N .....	192
<b>Tabla 25.</b> Factores de seguridad al aplicar la metodología determinista de Taylor en el análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros .....	194
<b>Tabla 26.</b> Factores de seguridad al aplicar la metodología probabilística de Monte Carlo en el análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros .....	196
<b>Tabla 27.</b> Factores de seguridad por el método de Taylor y Monte Carlo del talud Peña de los Loros .....	198
<b>Tabla 28.</b> Promedio de los factores de seguridad estático, dinámico y por infiltración estimados por la metodología Taylor y Monte Carlo para el talud Peña de los Loros .....	199
<b>Tabla 29.</b> Datos de factores de seguridad para el análisis estadístico ANOVA .....	201
<b>Tabla 30.</b> Análisis de Varianza .....	202
<b>Tabla 31.</b> Resumen del modelo .....	202
<b>Tabla 32.</b> Datos de estabilización química del suelo de la calicata 1 .....	205



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Susceptibilidad frente a deslizamientos, Perú.....	22
<b>Figura 2.</b> Peña de los Loros frente a deslizamiento en el año 2020.....	23
<b>Figura 3.</b> Tipos de taludes .....	32
<b>Figura 4.</b> Partes que conforman un deslizamiento.....	33
<b>Figura 5.</b> Esquema de movimientos en laderas .....	34
<b>Figura 6.</b> Tipos de deslizamientos según Varnes (1978).....	35
<b>Figura 7.</b> Factores geométricos de un talud.....	36
<b>Figura 8.</b> Origen de los suelos.....	37
<b>Figura 9.</b> Composición del suelo.....	38
<b>Figura 10.</b> Clasificación de suelos según SUCS .....	39
<b>Figura 11.</b> Clasificación de suelos según AASHTO .....	38
<b>Figura 12.</b> Carta de plasticidad para la clasificación de suelos .....	41
<b>Figura 13.</b> Saturación y niveles freáticos .....	43
<b>Figura 14.</b> Métodos de estimación de la susceptibilidad frente a movimientos de masa.....	46
<b>Figura 15.</b> Zonificación sísmica Perú (E.030).....	49
<b>Figura 16.</b> Fuerzas que actúan sobre una superficie de rotura curva .....	51
<b>Figura 17.</b> Histograma y curva de probabilidad acumulada para el ángulo de fricción interna.....	53
<b>Figura 18.</b> Histograma y curva de probabilidad acumulada para la cohesión efectiva. ....	53
<b>Figura 19.</b> Métodos para estabilizar taludes .....	54
<b>Figura 20.</b> Mapa de ubicación del distrito de Cochabamba.....	59
<b>Figura 21.</b> Carretera 3N, tramo Lajas – Cochabamba.....	60
<b>Figura 22.</b> Geología del suelo del talud Peña de los Loros .....	61
<b>Figura 23.</b> Ubicación de la formación Yumagual dentro de la columna estratigráfica en la región Cajamarca .....	62
<b>Figura 24.</b> Peña de los Loros, tramos Lajas – Cochabamba.....	63
<b>Figura 25.</b> Ubicación de las calicatas en la Peña de los Loros .....	64
<b>Figura 26.</b> Polígono de Thiessen para definir secciones de influencia por calicata.....	65
<b>Figura 27.</b> Esquema de investigación.....	69
<b>Figura 28.</b> Definición de propiedades del suelo del talud en el software Slide 5.0 .....	75
<b>Figura 29.</b> Grilla sobre la superficie de falla del talud .....	75
<b>Figura 30.</b> Condiciones de precipitación al modelo del talud.....	76
<b>Figura 31.</b> Permeabilidad hidráulica del suelo del talud.....	76
<b>Figura 32.</b> Incorporación del sismo al talud .....	76
<b>Figura 33.</b> Condiciones de análisis probabilístico del talud .....	79
<b>Figura 34.</b> Parámetros estadísticos de los materiales del talud.....	79
<b>Figura 35.</b> Estadísticas del material del talud.....	80
<b>Figura 36.</b> Configuración para visualizar el histograma y gráficos de dispersión del factor de seguridad del talud ..	80
<b>Figura 37.</b> División de secciones del talud Peña de Los Loro en el tramo Lajas – Cochabamba.....	81
<b>Figura 38.</b> Contenido de humedad del suelo del talud Peña de los Loros .....	83
<b>Figura 39.</b> Curvas de distribución granulométrica del suelo del talud .....	84
<b>Figura 40.</b> Curvas de fluidez del suelo del talud Peña de los Loros .....	84
<b>Figura 41.</b> Clasificación AASHTO del suelo del talud Peña de los Loros .....	85
<b>Figura 42.</b> Ábaco de Casagrande de la fracción del suelo fino del talud Peña de los Loros.....	85

<b>Figura 43.</b> Línea de resistencia al corte del suelo del talud Peña de los Loros .....	87
<b>Figura 44.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	92
<b>Figura 45.</b> Factor de seguridad dinámico de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	92
<b>Figura 46.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	93
<b>Figura 47.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	93
<b>Figura 48.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	94
<b>Figura 49.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	94
<b>Figura 50.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	95
<b>Figura 51.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	95
<b>Figura 52.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	96
<b>Figura 53.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	96
<b>Figura 54.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	97
<b>Figura 55.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	97
<b>Figura 56.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	98
<b>Figura 57.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	98
<b>Figura 58.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	99
<b>Figura 59.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	99
<b>Figura 60.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	100
<b>Figura 61.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	100
<b>Figura 62.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	101
<b>Figura 63.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	101
<b>Figura 64.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	102
<b>Figura 65.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	102

<b>Figura 66.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	103
<b>Figura 67.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	103
<b>Figura 68.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	104
<b>Figura 69.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	104
<b>Figura 70.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	105
<b>Figura 71.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	105
<b>Figura 72.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	106
<b>Figura 73.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	106
<b>Figura 74.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	107
<b>Figura 75.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	107
<b>Figura 76.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	108
<b>Figura 77.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	108
<b>Figura 78.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	109
<b>Figura 79.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	109
<b>Figura 80.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	110
<b>Figura 81.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	110
<b>Figura 82.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	111
<b>Figura 83.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	111
<b>Figura 84.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	112
<b>Figura 85.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	112
<b>Figura 86.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	113
<b>Figura 87.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	113



<b>Figura 88.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	114
<b>Figura 89.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	114
<b>Figura 90.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	115
<b>Figura 91.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	115
<b>Figura 92.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	116
<b>Figura 93.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	116
<b>Figura 94.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	117
<b>Figura 95.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	117
<b>Figura 96.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico .....	118
<b>Figura 97.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	118
<b>Figura 98.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros por el método determinístico.....	119
<b>Figura 99.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	119
<b>Figura 100.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	120
<b>Figura 101.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	120
<b>Figura 102.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	121
<b>Figura 103.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	121
<b>Figura 104.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	122
<b>Figura 105.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	122
<b>Figura 106.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	123
<b>Figura 107.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	123
<b>Figura 108.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	124
<b>Figura 109.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	124

<b>Figura 110.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	125
<b>Figura 111.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	125
<b>Figura 112.</b> Factor de seguridad estático para la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	126
<b>Figura 113.</b> Factor de seguridad dinámico para la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico.....	126
<b>Figura 114.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	127
<b>Figura 115.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros por el método determinístico .....	127
<b>Figura 116.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	132
<b>Figura 117.</b> Histograma del factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico.....	132
<b>Figura 118.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros....	133
<b>Figura 119.</b> Relación entre el ángulo de fricción y factor de seguridad del suelo de la calicata 3, sección 0+020 del talud Peña de los Loros .....	133
<b>Figura 120.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	134
<b>Figura 121.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	134
<b>Figura 122.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	135
<b>Figura 123.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	135
<b>Figura 124.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	136
<b>Figura 125.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros....	136
<b>Figura 126.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+030 del talud Peña de los Loros.....	136
<b>Figura 127.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	137
<b>Figura 128.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	137
<b>Figura 129.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	138
<b>Figura 130.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	138
<b>Figura 131.</b> Histograma del factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico.....	139
<b>Figura 132.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros....	139
<b>Figura 133.</b> Relación entre el ángulo de fricción y factor de seguridad del suelo de la calicata 3, sección 0+040 del talud Peña de los Loros .....	139

<b>Figura 134.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	140
<b>Figura 135.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	140
<b>Figura 136.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	141
<b>Figura 137.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	141
<b>Figura 138.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	142
<b>Figura 139.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros....	142
<b>Figura 140.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+050 del talud Peña de los Loros.....	142
<b>Figura 141.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	143
<b>Figura 142.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	143
<b>Figura 143.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	144
<b>Figura 144.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	144
<b>Figura 145.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	145
<b>Figura 146.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros....	145
<b>Figura 147.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+060 del talud Peña de los Loros.....	145
<b>Figura 148.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	146
<b>Figura 149.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	146
<b>Figura 150.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	147
<b>Figura 151.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	147
<b>Figura 152.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	148
<b>Figura 153.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros....	148
<b>Figura 154.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+070 del talud Peña de los Loros.....	148
<b>Figura 155.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	149
<b>Figura 156.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	149
<b>Figura 157.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	150



<b>Figura 158.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	150
<b>Figura 159.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	151
<b>Figura 160.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros....	151
<b>Figura 161.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+080 del talud Peña de los Loros.....	151
<b>Figura 162.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	152
<b>Figura 163.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	152
<b>Figura 164.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	153
<b>Figura 165.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	153
<b>Figura 166.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	154
<b>Figura 167.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros....	154
<b>Figura 168.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+090 del talud Peña de los Loros.....	154
<b>Figura 169.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	155
<b>Figura 170.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	155
<b>Figura 171.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	156
<b>Figura 172.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	156
<b>Figura 173.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	157
<b>Figura 174.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros....	157
<b>Figura 175.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+100 del talud Peña de los Loros.....	157
<b>Figura 176.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	158
<b>Figura 177.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	158
<b>Figura 178.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	159
<b>Figura 179.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	159
<b>Figura 180.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	160
<b>Figura 181.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros....	160

<b>Figura 182.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+110 del talud Peña de los Loros.....	160
<b>Figura 183.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	161
<b>Figura 184.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	161
<b>Figura 185.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	162
<b>Figura 186.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	162
<b>Figura 187.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	163
<b>Figura 188.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros....	163
<b>Figura 189.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+120 del talud Peña de los Loros.....	163
<b>Figura 190.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	164
<b>Figura 191.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	164
<b>Figura 192.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	165
<b>Figura 193.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	165
<b>Figura 194.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	166
<b>Figura 195.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros....	166
<b>Figura 196.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+130 del talud Peña de los Loros.....	166
<b>Figura 197.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	167
<b>Figura 198.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	167
<b>Figura 199.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	168
<b>Figura 200.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	168
<b>Figura 201.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	169
<b>Figura 202.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros....	169
<b>Figura 203.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+140 del talud Peña de los Loros.....	169
<b>Figura 204.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	170
<b>Figura 205.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	170

<b>Figura 206.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	171
<b>Figura 207.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	171
<b>Figura 208.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	172
<b>Figura 209.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros....	172
<b>Figura 210.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+150 del talud Peña de los Loros.....	172
<b>Figura 211.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	173
<b>Figura 212.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	173
<b>Figura 213.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	174
<b>Figura 214.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	174
<b>Figura 215.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	175
<b>Figura 216.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros....	175
<b>Figura 217.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+160 del talud Peña de los Loros.....	175
<b>Figura 218.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	176
<b>Figura 219.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	176
<b>Figura 220.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	177
<b>Figura 221.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	177
<b>Figura 222.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	178
<b>Figura 223.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros....	178
<b>Figura 224.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+170 del talud Peña de los Loros.....	178
<b>Figura 225.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	179
<b>Figura 226.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	179
<b>Figura 227.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	180
<b>Figura 228.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	180
<b>Figura 229.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	181

<b>Figura 230.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros....	181
<b>Figura 231.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+180 del talud Peña de los Loros.....	181
<b>Figura 232.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	182
<b>Figura 233.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	182
<b>Figura 234.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	183
<b>Figura 235.</b> Factor de seguridad estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística.....	183
<b>Figura 236.</b> Histograma del FS estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	184
<b>Figura 237.</b> Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros....	184
<b>Figura 238.</b> Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+190 del talud Peña de los Loros.....	184
<b>Figura 239.</b> Factor de seguridad dinámico, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	185
<b>Figura 240.</b> Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	185
<b>Figura 241.</b> Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico .....	186
<b>Figura 242.</b> Factores de seguridad por el método de Taylor y Monte Carlo del Talud Peña de los Loros .....	197
<b>Figura 243.</b> Gráficas de residuos para el factor de seguridad.....	203
<b>Figura 244.</b> Análisis de medias del factor de seguridad .....	203
<b>Figura 245.</b> Factor de seguridad estático del suelo estabilizado con cemento.....	205
<b>Figura 246.</b> Colocación de anclajes.....	206
<b>Figura 247.</b> Factor de seguridad del modelo estabilizado con anclajes, método determinístico de Taylor .....	207
<b>Figura 248.</b> Factor de seguridad del modelo estabilizado con anclajes, método probabilístico de Monte Carlo.....	207
<b>Figura 249.</b> Histograma de factor de seguridad del talud estabilizado.....	208
<b>Figura 250.</b> Histograma de cohesión del talud estabilizado.....	209
<b>Figura 251.</b> Curva acumulativa del factor de seguridad del talud estabilizado .....	209



## RESUMEN

En el tramo Lajas – Cochabamba, carretera 3N, específicamente en, el km 127.50 se ubica la denominada Peña de los Loros, talud que constantemente sufre deslizamientos provocando la interrupción del tránsito vehicular, aún más época de lluvias. La investigación tuvo como objetivo “Determinar el nivel de riesgo a deslizamiento de taludes mediante los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros de la carretera 3N, Chota, para verificar el factor de seguridad estático y dinámico según la norma CE.020”. Se tuvo como muestra del estudio a 18 secciones del talud, en las cuales se muestrearon tres calicatas, determinando que la primera era arena limosa y las otras dos, limos de alta plasticidad. Las secciones se modelaron en el software slide, según la metodología determinística de Taylor y Probabilística de Monte Carlo, llegando a determinar que el promedio del factor de seguridad estático y con infiltración es 0.557 y 0.460, y el factor de seguridad dinámico y con infiltración es 0.428 y 0.347, por tanto los FS son menores al mínimo exigido por la normatividad (1.50 y 1.25, respectivamente), por lo que se concluye que el talud es inestable en condiciones estáticas por su gravedad siendo el factor detonante, las precipitaciones pluviales, así mismo, en condiciones dinámicas el talud también es inestable frente a un evento sísmico, aún más si este se acrecienta con un evento pluvial simultaneo, por lo que es necesario su estabilización.

**Palabras clave:** Riesgo, deslizamiento, factor de seguridad, estático, dinámico, infiltración, talud, precipitaciones.

## ABSTRACT

In the Lajas - Cochabamba section of highway 3N, specifically at km 127.50, the so-called Peña de los Loros is located, a slope that constantly suffers landslides causing the interruption of vehicular traffic, even more so during the rainy season. The objective of the research was to "Determine the level of risk of landslides using the Taylor and Monte Carlo methods in the Peña de Los Loros section of highway 3N, Chota, in order to verify the static and dynamic safety factor according to standard CE.020". The study sample consisted of 18 sections of the slope, in which three calicatas were sampled, determining that the first one was silty sand and the other two, high plasticity silts. The sections were modeled in slide software, according to the Taylor deterministic and Monte Carlo probabilistic methodology, determining that the average static safety factor and with infiltration is 0.557 and 0.460, and the dynamic safety factor and with infiltration is 0.428 and 0.347, therefore the FS are lower than the minimum required by the regulations (1.50 and 1.25, respectively). 50 and 1.25, respectively), so it is concluded that the slope is unstable under static conditions due to its gravity, the triggering factor being rainfall. Likewise, under dynamic conditions the slope is also unstable in the face of a seismic event, even more so if this is increased by a simultaneous rainfall event, so it is necessary to stabilize it.

**Key words:** Risk, landslide, safety factor, static, dynamic, infiltration, slope, precipitation.

# CAPÍTULO I.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

Los deslizamientos de tierra, son uno de los peligros naturales más dañinos a nivel mundial, causan numerosas víctimas, daños a la posesión y al entorno ambiental (Phong et al., 2019), se describen como un movimiento amplio en el rango del terreno que incluye desprendimientos de suelo y/o rocas (Kalantar et al., 2019), comúnmente ocurre en las laderas o taludes debido a la topografía variada y empinada del terreno (Zheng et al., 2021). Los deslizamientos son fenómenos complicados que requiere metodologías avanzadas de predicción y gestión (Pham et al., 2020), el modelado del talud a través de métodos adecuados podría proporcionar mapas confiables de susceptibilidad (Kalantar et al., 2019), los cuales representan un insumo clave para el diseño de medidas de estabilización (Li y Wang, 2020), pero la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra mayormente ocurre en un área controlada por las condiciones del terreno local, por lo que su análisis debe darse en pequeña escala (Wilde et al., 2018).

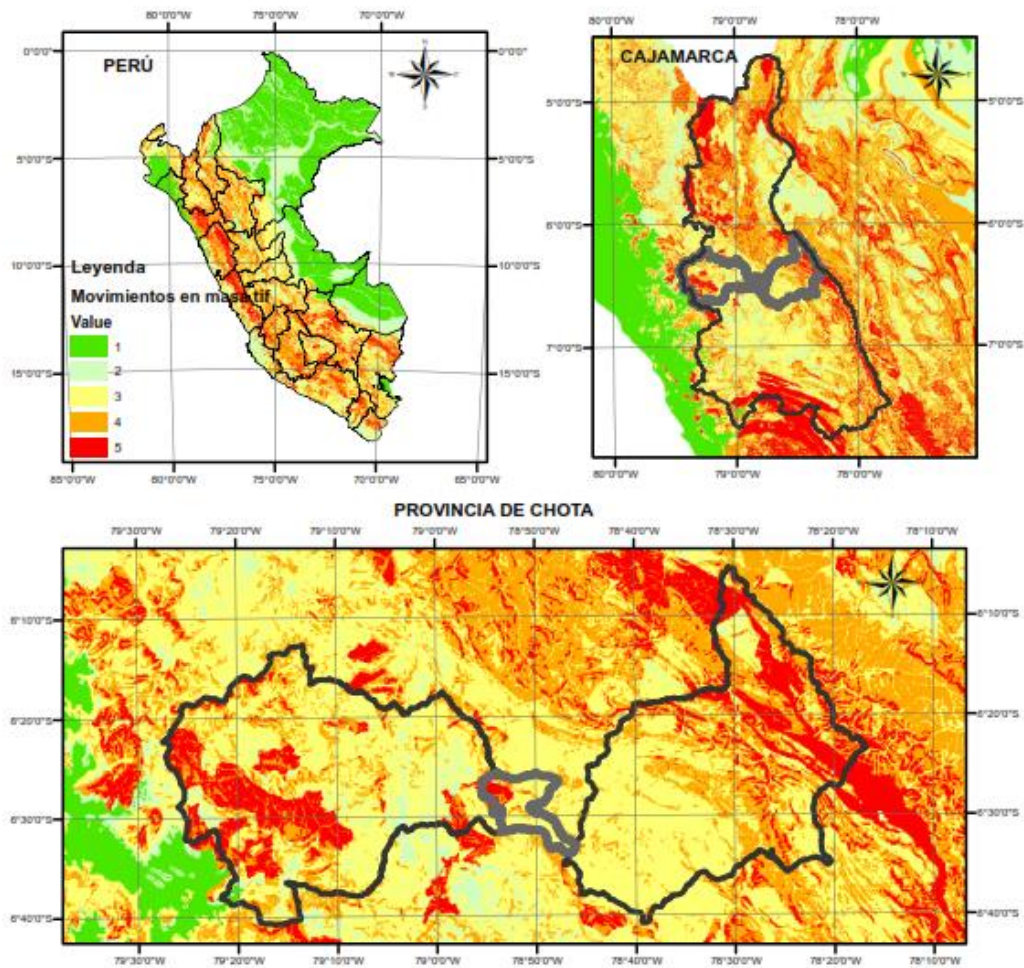
Perú, por su relieve, geología, climatología y geomorfología, es susceptible a deslizamientos (Mergili et al., 2018; Stefanelli et al., 2018), de acuerdo a CENEPRED el 80% del país, tiene probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, huaicos, avalanchas, caída de roca, etc. (La República, 2018). En la mayoría de las regiones peruanas, los movimientos de masa, se han dado, condicionados por zonas montañosas, con suelos y rocas fracturadas, desencadenados por la climatología adversa (Vilchez, 2018).

Cajamarca, geomorfológicamente hablando, está constituida por cuatro tipos de paisajes dominantes: altiplanicie, montañoso, colinoso y planicie; dentro

de estos ambientes naturales, la provincia de Chota, prácticamente se encuentra dentro del Paisaje Colinoso, constituido por una superficie ondulada de alta susceptibilidad erosiva litológicamente constituida por rocas sedimentarias de distintas edades geológicas (Alcántara, 2011), cuyo riesgo medio a muy alto de susceptibilidad frente a movimientos de masa.

**Figura 1.**

*Susceptibilidad frente a deslizamientos, Perú*



Nota: 5= “Muy alta”, 4= “Alta”, 3= “Media”, 2= “Baja”, 1= “Muy baja”. Elaboración propia, a partir de la información de SIGRID (2021).

En la provincia de Chota, se ubica la carretera 3N longitudinal de la sierra, vía que se encarga de conectar la región Cajamarca con la región Lambayeque, pero que en el tramo Lajas – Cochabamba, específicamente en la zona denominada Peña de los Loros, se ve frecuentemente afectada por el

deslizamiento del talud, situación que se acrecienta frente a las precipitaciones pluviales, lo que termino ocasionando que en el año 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021 se informen deslizamientos producto de las fuertes precipitaciones pluviales, en las zonas conocidas como Pasamayo, Peña de Los Loros y la subida al distrito de Llama cubriendo ambos carriles de la carretera 3N (La República, 2013, Andina, 2015, El Comercio, 2017, Núñez et al., 2017, Santa Mónica, 2019, La República, 2021), por lo que es necesario un estudio local del deslizamiento a fin de definir el factor de seguridad para que las autoridades competentes pueden proponer medidas de estabilización de taludes.

**Figura 2.**

*Peña de los Loros frente a deslizamiento en el año 2020*



Nota: (Cajamarca Noticias, 2020).

El método de Taylor, es un método clásico determinístico, de sistematización de la estabilidad del talud, que es adecuado para pendientes de suelo homogéneo, sin nivel freático, que permite definir el factor de seguridad a través del modelo del perfil del talud definidas la cohesión y fricción del suelo (Li et al., 2020). El método Monte Carlo, método probabilístico, utiliza el muestreo

aleatorio, para simular el proceder de un sistema, en esta intermediación el analista crea un gran número de juego de valores aleatoriamente, para las simulaciones, determinando así es factor de seguridad (Castro y Azogue, 2020). Ambos métodos son muy utilizados para determinar la estabilidad de taludes, pero se desconoce si sus resultados son similares o si difieren, por lo que es necesario verificar los mismos en un estudio de caso, siendo apropiado un caso de problemática local como es la zona Peña de los Loros, ubicada en la carretera 3N, considerando que si bien la vía tiene un estudio de diseño geométrico, no cuenta con estudios avanzados en deslizamiento de taludes, prueba de ello son los constantes movimientos de masa informados en el Km 127.50, lo que supone un peligro para los transportistas que usan la ruta como medio de conexión con la ciudad de Chiclayo. Con el fin de eludir el riesgo de un probable deslizamiento que afecte el derecho de vía se ha planteado la investigación.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el nivel de riesgo evaluado según el factor de seguridad determinado por el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros Carretera 3N, Chota?

## **1.3. Justificación e importancia**

A pesar de la relevancia de la carretera 3N para la conectividad de la sierra con la costa, no existían investigaciones sobre el riesgo a deslizamiento de taludes en la Peña de Los Loros (Km 127.50) de la carretera 3N en la ciudad de Chota, aplicando los métodos de Taylor y Monte Carlo, es por ello que esta investigación ha aportado a la comunidad científica un lineamiento general para la realización de estudios de nivel de riesgo con una metodología determinística y una metodología probabilística. La aplicación de dos métodos tan distintos se debe al

deseo del investigador en contrastar dichas metodologías, para determinar cuál de estas puede ser aplicada por otros investigadores en contextos similares. El desarrollo de la investigación no solo ha permitido incrementar el conocimiento referente al tema de deslizamientos de masa, sino que también lo ha reformulado, ya que planteado el uso de la metodología Monte Carlo, misma que actualmente no se utiliza en nuestro país, pero que puede marcar el hito para el uso de métodos nuevos dejando de lado o complementándolos con los métodos tradicionales.

La investigación ha sido importante no solo por la determinación del riesgo de deslizamiento en la Peña de los loros, mediante el uso de las metodologías de Taylor y Monte Carlo, sino también porque acorde a estos resultados se ha determinado la estabilidad frente a deslizamientos según la geodinámica de los suelos, de tal forma que las autoridades competentes puedan plantear medidas de estabilidad de taludes en las secciones de mayor riesgo. Se han obtenido datos nuevos, confiables, inéditos, y verídicos, de la condición de estabilidad del Km 127.50, dados por la determinación del factor de seguridad en estado estático y dinámico, resolviendo el problema de la toma de decisiones del método de estabilización más adecuado para esta zona crítica de la carretera 3N.

Los factores de seguridad estático y dinámico, obtenidos con los métodos: Taylor determinístico y Monte Carlo probabilístico, permiten que las autoridades competentes, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), puedan proponer soluciones o aplicar las soluciones propuestas en la presente investigación frente al deslizamiento del talud en la Peña de los Loros, considerando que dicha zona ha sido blanco de deslizamientos constantes en los últimos 10 años, afectando la transitabilidad de la carretera 3N. Así mismo, se

deja abierta la investigación como un referente para el análisis de otros tramos de deslizamiento de taludes en la carretera 3N, antes mencionada.

#### **1.4. Delimitación de la investigación**

Se ha llevado a cabo en la zona denominada Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N de la provincia de Chota, se ha tenido como muestra a 18 secciones generadas en un tramo de 200 metros, desde el km 127.50; con el objetivo de determinar el factor de seguridad estático y dinámico frente a deslizamientos, aplicando el método determinístico Taylor y el método probabilístico Monte Carlo. Se ha desarrollado en un lapso de ocho meses, desde noviembre del 2020 a junio del 2021.

#### **1.5. Limitaciones**

El inicio de la investigación se vio postergado por la pandemia de la covid-19, que llevo a la ciudadanía a un confinamiento social obligatorio, así mismo, las constantes precipitaciones pluviales también fueron un condicionante para la realización del levantamiento topográfico, por lo que se tuvo que esperar un tiempo prudencial para la ejecución de los estudios básicos y el posterior modelamiento del talud.

#### **1.6. Objetivos**

##### ***1.6.1. Objetivo general***

Determinar el nivel de riesgo a deslizamiento de taludes, por los métodos de Taylor y Monte Carlo, en el tramo Peña de Los Loros, de la carretera 3N, Chota, con la finalidad de verificar el factor de seguridad estático y dinámico según la norma CE.020.



### **1.6.2. *Objetivos específicos***

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo del talud del tramo Peña de los Loros.
- Aplicar la metodología Taylor para determinar el factor de seguridad estático y dinámico, frente al deslizamiento de taludes en el tramo Peña de los Loros.
- Aplicar la metodología Monte Carlo para determinar el factor de seguridad estático y dinámico, frente al deslizamiento de taludes en el tramo Peña de los Loros.
- Comparar los factores de seguridad frente a deslizamiento según los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros.

## CAPÍTULO II.

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Hernández, et al. (2021) tuvieron por objetivo comparar el factor de seguridad obtenido mediante métodos manuales frente a los programas de modelamiento del talud Vereda la Helena. Aplicaron métodos manuales y métodos computacionales en Slide y Adonis, tales como: corps of engineers, Spencer, Hoek brig, Fellenius, Bishop y Janbú, concluyendo que el factor de seguridad estático por métodos computacionales oscilaba de 1.633 a 1.643, mientras que por métodos manuales oscilaba de 1.04 a 1.36, lo que significa que el talud no garantiza su estabilidad.

Bernal, et al. (2020) tuvieron por objetivo evaluar el riesgo por deslizamiento en la ladera Calambeo. En el lev. Top. determinaron que el terreno es montañoso, en el estudio geotécnico determinaron que el suelo a 2.00 m de profundidad es arena bien graduada (SW). Modelaron los datos en Slider y Adonis para determinar el riesgo por deslizamiento, concluyendo que los factores de seguridad dinámico y estático son 1.309 y 1.342, por lo que el talud es inestable.

Wang, Liu y Ding (2020) tuvieron como objetivo analizar la estabilidad de taludes de suelo drenados y no drenados de múltiples etapas mediante métodos de elementos finitos. Realizaron simulaciones de Monte Carlo para pendientes con suelos aleatorios, lo que resultó en histogramas del factor de seguridad.

Bravo y Lumbi (2020) en su tesis de doctorado tuvieron como objetivo proponer alternativas para estabilizar el talud en la vía Guanujo – Echeandía, para ello determinaron las características topográficas y geotécnicas, verificando que

el suelo era arena con limo, datos que les sirvieron para establecer el factor de seguridad y así determinar el tratamiento de estabilización adecuado. Los factores de seguridad son 1.57, 1.25, 1.13, 1.00 y 0.65. Propusieron la colocación de un muro de gravedad, cambio de geometría del talud y un canal trapezoidal.

Marín et al (2018) en su artículo científico tuvieron por objetivo analizar cuantitativamente el riesgo a deslizamiento asociado en el Valle de Aburrá – Colombia, mediante la aplicación del método Montecarlo. Obtuvieron como resultados mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en base a la probabilidad de deslizamiento, llegando a concluir que la metodología permite el análisis y evaluación del riesgo asociado a la inestabilidad de laderas.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Torres (2020) tuvo como objetivo evaluar el deslizamiento en los taludes del 3.26 al 3.30 km de Ayash-Huaripampa. Aplicó el método Taylor (Por Bishop simplificado) y Montecarlo (Morgenstern Price), obteniendo como resultados 1.02717 y 1.02700 respectivamente, concluyendo que ambos métodos son buenas herramientas pero que Montecarlo da la posibilidad de falla de 34.3%, siendo así, además, propuso el diseño de un muro de gaviones.

Tafur (2019) en su artículo científico determinó una opción para estabilizar el talud, tramo 318.0 a 318.3 km de la vía Cajamarca – Chachapoyas. Realizó el lev. Top., análisis de dos calicatas, donde la primera era suelo gravo arcilloso de mediana plasticidad y la segunda suelo areno-limoso no plástico. Con estos datos realizó el modelo el talud y determinó los factores de seguridad mínimo de 0.757 y 1.131, por lo que concluyó que la alternativa de solución adecuada corresponde a cortes del talud.

Gómez (2017) evaluó el deslizamiento en Madrigal, para proponer medidas de mitigación. Para realizar el modelamiento basado en el método de elementos finitos realizó el lev. Top. verificando que se trataba de un perfil escarpado con un salto de 20 a 25 m, y estudios geofísicos que delimitaron al suelo en cuatro capas de suelo; llegando a concluir que, el F.S., estático y pseudoestático asciende en promedio a 0.80 y 0.50 respectivamente

Muñoz (2017) tuvo como muestra tres tramos críticos ubicados en 6, 13 y 17 km de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca. Realizó el análisis de talud utilizando los datos geotécnicos dados en el expediente técnico. Los F.S. estático alcanzados para los métodos corte, muro concreto, muro gavión y terramesh son iguales a 1.068, 2.108, 1.500 y 2.231, mientras que los F.S. dinámico alcanzados son 0.797, 1.508, 1.07 y 1.562 respectivamente. Concluyendo que la propuesta de reforzamiento más idónea era muros de suelo reforzado Terramesh.

Torres (2017a) tuvo como objetivo analizar el talud de la carretera vecinal Circuito Turístico Catalina Huanca, después de realizar algunos estudios llegó a la conclusión que los métodos usados en el talud reducen la posibilidad de fracaso del Sistema Vetiver; garantizando el sistema de mantenimiento en la carretera.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Rojas (2018) analizó los taludes de la carretera Lajas – El Tayal, del 141.70 al 134.45 km. Realizó ocho secciones transversales al eje de carretera, concluyendo que, el único talud estable en estado de saturación es el 3 con F.S. de 1.373, el talud 4 y 7 son inestables en estado de saturación parcial con F.S. de 0.808 y 0.964, y el talud 4, 6 y 7 son inestables en estado de saturación parcial más sismo con F.S. de 0.815, 0.912 y 0.736 respectivamente.

Falconí (2017) en su tesis tuvo como objetivo analizar la estabilidad de taludes, del 0 al 30 km, carretera Bambamarca – Paccha, llegando a determinar que el F.S. en condiciones pseudoestáticas, no drenadas, de diecisiete taludes en la carretera Bambamarca – Paccha, es 4.4, 0.1, 0.6, 0.3, 4, 0.2, 0.2, 1.4, 0.3, 0.2, 0.6, 0.7, 2.1, 0.7, 0.6, 0.9 y 6.5, respectivamente. Por lo que concluye que las zonas de alta inestabilidad son del km 9 al 11 con caída libre de rocas, del km 11 al 23 con deslizamiento circulares y del km 25 al 27 con deslizamientos planares.

Ayala (2017) en su investigación analizó los taludes de la vía Yauyucan - Cruce Conejo Tranca. Realizó el análisis de mecánica de suelos determinando siete zonas de trabajo, que modelo en el software Slide v.7.0. Los factores de seguridad estático para los siete tramos son 2.431, 2.560, 0.928, 1.347, 1.913, 0.842 y 0.447, frente a sismo son 1.648, 1.785, 0.943, 0.848, 1.195, 0.568 y 0.211, y frente a sismo y precipitación son 1.612, 1.798, 0.617, 0.914, 1.225, 0.617 y 0.287 respectivamente. Concluyendo que las precipitaciones, saturan los depósitos cuaternarios provocando la inestabilidad del talud.

Arteaga (2017) en su investigación tuvo como objetivo analizar la estabilidad de los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena. Estudió 15 taludes mediante el software Slide V7.0 utilizando el criterio de Mohr-Coulomb para suelos y Hoek-Brown para taludes de roca, obteniendo los F.S. en los taludes en escenarios estándar de 1.065, 1.341, 1.021, 1.049, 1.026, 1.025, 1.034, 1.377, 1.981, 1.448, 1.124, 2.118, 1.111, 2.358 y 1.494, en condiciones de saturación de 0.299, 0.237, 0.338, 0.290, 0.193, 0.127, 0.091, 0.927, 1.302, 0.938, 0.394, 0.234, 0.138, 1.446 y 0.780, y condiciones de sismicidad 0.784, 0.980, 0.721, 0.770, 0.807, 0.667, 0.680, 1.234, 1.584, 1.175, 0.858, 1.50, 0.763, 1.485 y 1.192. Concluyó que el tramo más inestable es del 116.50 al 118.00 km.

Alcántara (2017) tuvo como objetivo aplicar los métodos de equilibrio límite, elementos finitos y diferencias finitas en los taludes de Calispuquio. Determinó que los factores de seguridad promedio con los softwares Slide, RS2 y FLAC equivalían a 8.77, 9.447 y 9.57 respectivamente. Concluyendo que la variación promedio (VP) de FS es baja entre los tres softwares (0.013).

## 2.2. Marco teórico

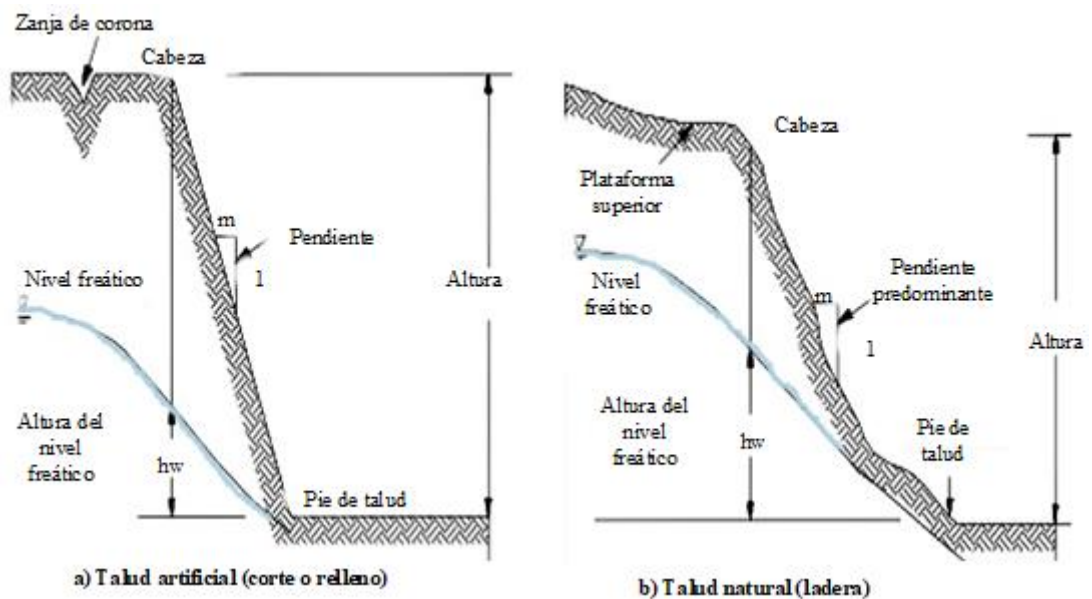
### 2.2.1. Teoría del deslizamiento de taludes

#### 2.2.1.1. Talud

Costado de un terraplén o de la montaña, se considera talud o ladera a toda superficie inclinada natural y/o artificial, que se encuentra influenciada por la gravedad y forma un ángulo con respecto a la horizontal (Alcántara et al., 2001). Según Pincay (2020), los taludes se pueden clasificar en taludes naturales “laderas” y taludes artificiales “cortes y terraplenes o trincheras” como se puede observar en la Fig. 3.

Figura 3.

*Tipos de taludes*



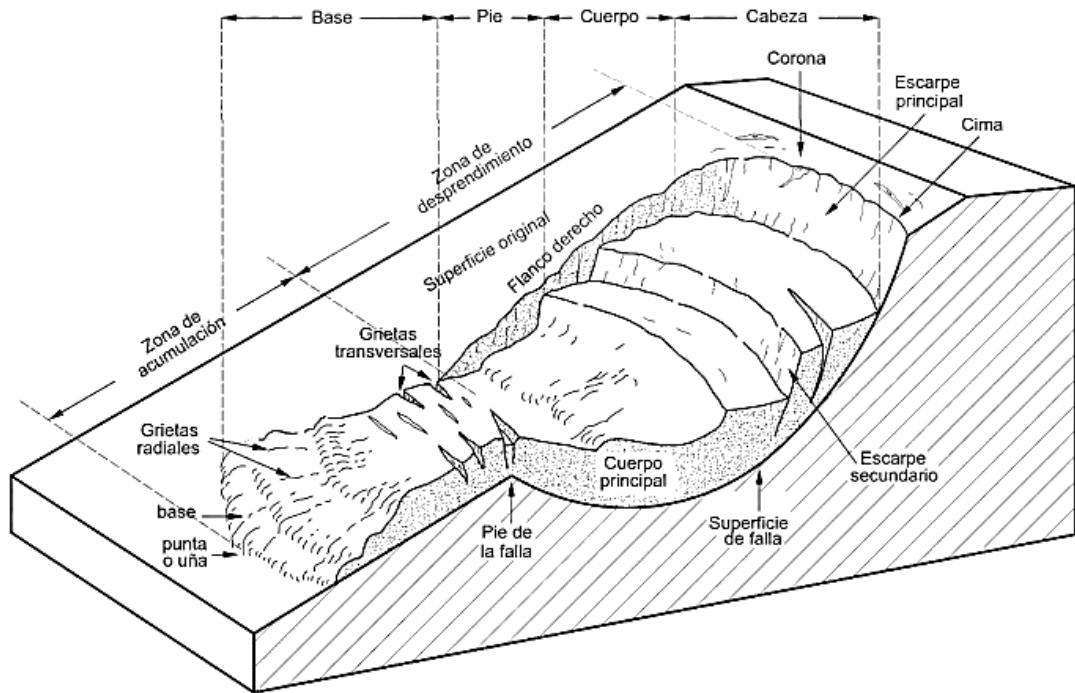
Nota: (Pincay, 2020).

### 2.2.1.2.Deslizamientos de taludes

Los deslizamientos en taludes, son movimientos de masa de suelo o roca, que se desplazan, sobre una o varias superficies netas de rotura, cuando se supera la resistencia al cizallamiento; la masa se desplaza, como un todo, es decir, como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy voluble, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (Ponce, 2017).

**Figura 4.**

*Partes que conforman un deslizamiento*



Nota: (Alave, 2018).

### 2.2.1.3.Clasificación de los movimientos en laderas

Según Tacilla (2019) la categorización de los movimientos de ladera suele describir a los materiales envueltos, diferenciando entre rocas, mecanismo y tipo de rotura (Tabla 1), pero si se habla de tipos de deslizamientos de un talud, este puede ser rotacional o traslacional.

**Tabla 1.**

*Categorización de los movimientos de ladera, según Varnes (1978)*

Movimiento		Material		
Caída		Roca	Detritos	Suelo
Vuelco		Roca	Detritos	Suelo
Deslizamiento	Rotacional	Roca	Detritos	Suelo
	Traslacional			
Expansiones laterales		Expansión en roca	Expansión lateral en detritos	Suelo
Flujo		Extensión en roca	Flujo de detritos	Suelo
Complejo		Mezcla de dos (2) o más movimientos		

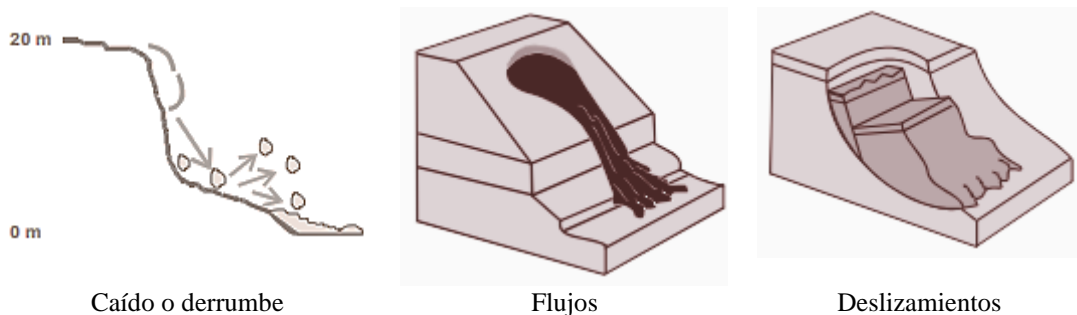
Nota: Adaptado de USGS (2004).

Según Alcántara et al. (2001), los mecanismos básicos de inestabilidad en laderas pueden ser:

- Caídos o derrumbes. Movimiento de caída libre repentino de suelo y pedazos de roca, en pendientes escabrosas.
- Flujos. Movimiento lento de suelo y/o pedazos de roca, en la falla del talud.
- Deslizamientos. Movimiento del material inestable sobre superficies planas o cóncavas.

**Figura 5.**

*Esquema de movimientos en laderas*



Nota: (Alcántara et al., 2001).

#### 2.2.1.4. Tipos de deslizamientos

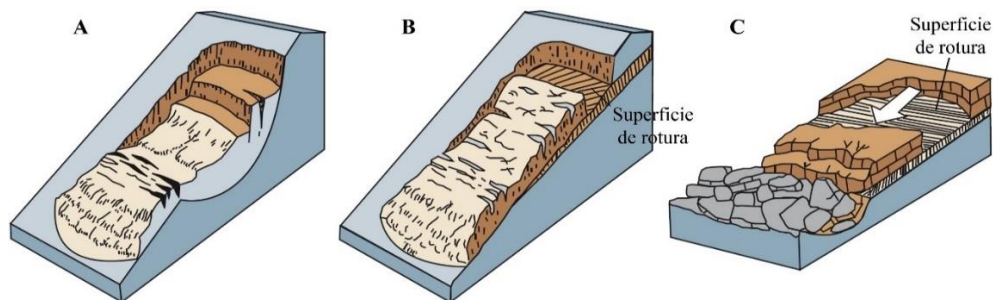
Deslizamiento rotacional, la zona de fallo está formada por una curva con centro de rotación, por encima del centro de gravedad del cuerpo móvil (Tacilla, 2019).



Deslizamiento traslacional, la masa se traslada hacia fuera o abajo, a lo largo del plano, con ningún o muy poco movimiento de vuelco. Estos movimientos suelen tener una relación entre la profundidad y la longitud de superficie de rotura ( $D_r/L_r$ ) inferior a 0.1. Un movimiento de rotación trata de auto estabilizarse, mientras que, de traslación puede seguir indefinidamente a lo largo del talud (Zamora, 2019).

**Figura 6.**

*Tipos de deslizamientos según Varnes (1978)*



Nota: A. Deslizamiento rotacional, B. Deslizamiento traslacional y C. Deslizamiento de bloques. (USGS, 2004)

#### 2.2.1.5. Factores que influyen en la estabilidad de taludes

Está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), geológicos (presencia de planos de falla), hidrogeológicos (presencia de agua) y geotécnicos (resistencia y deformabilidad del suelo) (González, et al., 2002),

**Tabla 2.**

*Factores influyentes en la inestabilidad de taludes*

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Geología y litología	Sobrecargas estáticas.
Escenarios hidrológicos	Cargas dinámicas.
Comportamiento del material	Condiciones climáticas.
Particularidades físicas, resistentes y deformaciones.	Viradas en la geometría.

Nota: (González, et al., 2002).

#### 2.2.1.6. Importancia del análisis de estabilidad de taludes

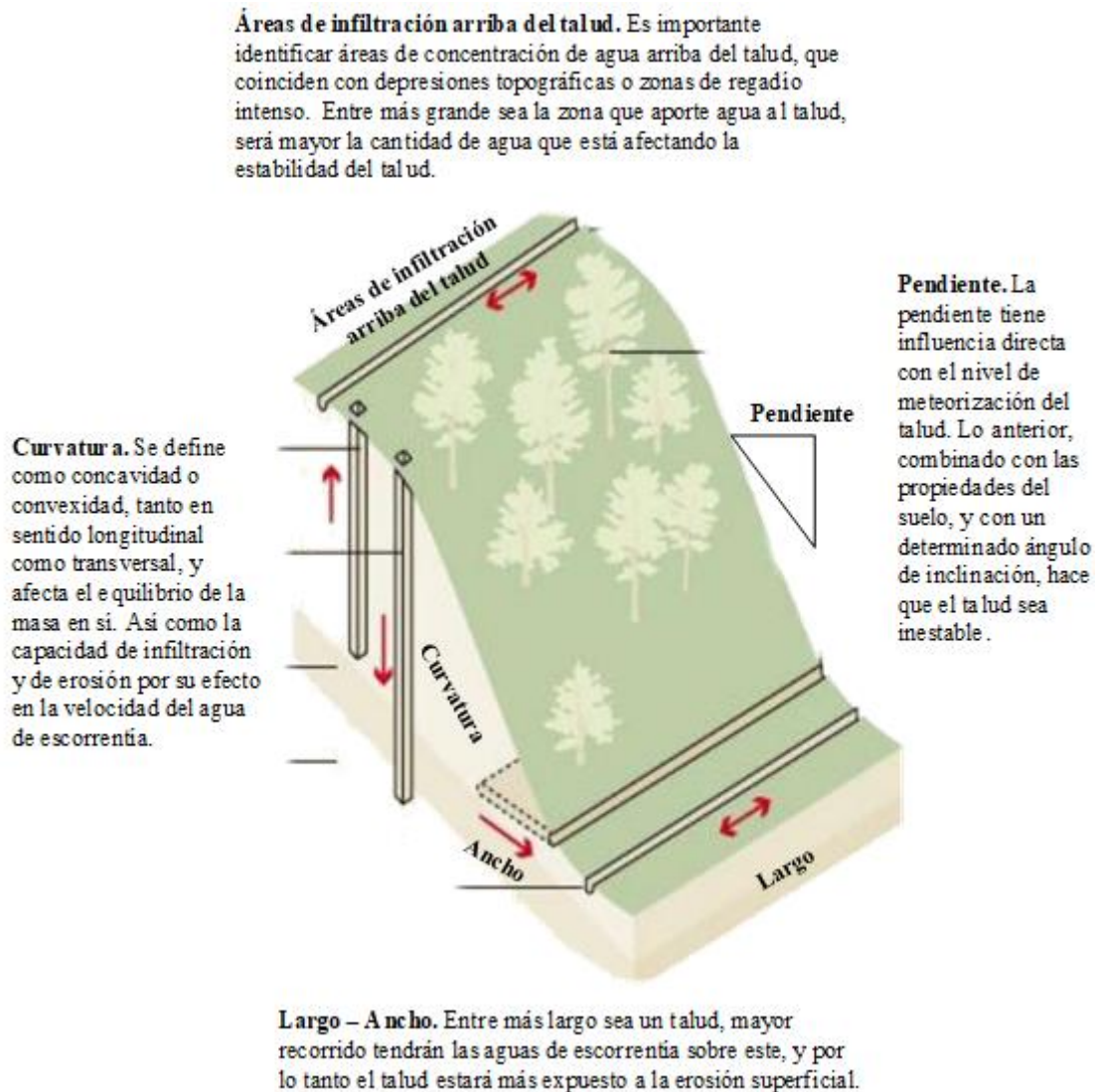
Según González, et al. (2002, p. 431), las carreteras, precisan la excavación de taludes, en general estos se planean para ser estables, a largo plazo, para lo que requieren, un análisis de estabilidad, para evitar posibles deslizamientos.

### 2.2.2. Factores geométricos de un talud

Medidas geométricas: altura, pendiente, longitud, anchura, etc., que afectan directamente la estabilidad de la ladera, ya que determinan los niveles de tensión total y las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos (Zamora, 2019).

Figura 7.

Factores geométricos de un talud



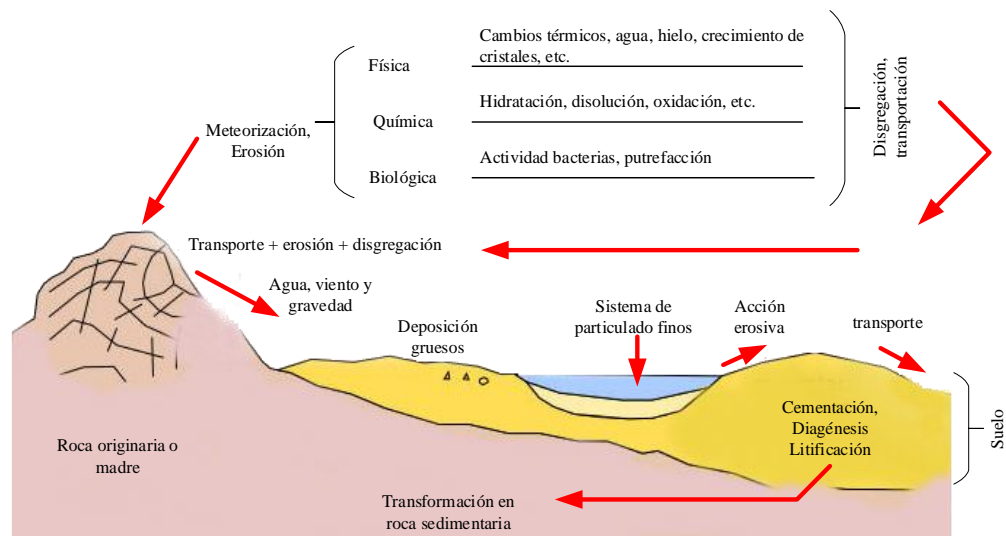
Nota: Adaptado (Zamora, 2019). Elaboración propia.

### 2.2.3. Teoría de mecánica de suelos

El Dr. Karl Terzaghi definió a la mecánica de suelos como “la aplicación de las leyes de la mecánica e hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química-mecánica de las rocas” (Crespo, 2004, p. 17).

**Figura 8.**

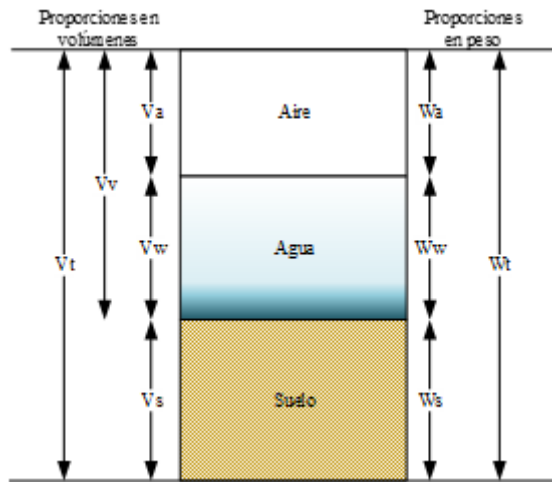
*Origen de los suelos*



El suelo es producido por intemperismo, mediante procesos físicos, mecánicos y químicos e incluso biológicos (actividad de bacterias que generan putrefacción en las rocas), tal como se puede observar en la Fig. 8; los suelos residuales, permanecen donde se forman y cubren superficies rocosas de las que se derivan, mientras que, los transportados, son trasladados, por medio de procesos físicos, a otros lugares (Braja, 2001). El suelo se define como un material no consolidado compuesto por partículas líquidas, sólidas y vacíos (Parra, 2018).

**Figura 9.**

*Composición del suelo*



La clasificación de los suelos SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos) caracteriza cualitativamente al suelo, en base a su gradación y plasticidad, como, de grano grueso, gravas (G) y arenas (S), de grano fino como limos (M) y arcillas (C), o suelos altamente orgánicos (O), los cuales son inadecuados para la construcción, mientras que el sistema de clasificación AASHTO divide el suelo en dos grandes categorías: granulares y del tipo limo – arcillosos (Morales, 2019).

**Figura 10.**

*Suelos, según AASHTO*

Materiales granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo – arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Excelente a bueno como terreno de fundación.							Regular a deficiente como terreno de fundación.			

Nota: Tomado de la tesis de grado del autor (Puentes, 2020).

Figura 11.

Suelos, según SUCS

Clasificación de los suelos			Símbolo	Suelos típicos
Suelos de granos gruesos	Gravas	Gravas limpias	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos.
			GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos.
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas de grava – arena y limo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava – arena y arcilla.
	Arenas	Arenas limpias	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos.
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
Suelos de granos finos	Limos y arcillas	Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillas.
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas.
			OL	Limos inorgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
		Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de diatomeas, limos elásticos.
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas
			OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media.
Suelos altamente orgánicos			PT	Turba, estiércol, y otros suelos altamente orgánicos.

Nota: Tomado de la tesis de grado del autor (Puentes, 2020)

#### 2.2.4. Propiedades físico, mecánicas e hidráulicas de los suelos

##### Propiedades físicas

**Contenido de humedad.** Correspondencia del peso del agua en la muestra, y el peso de la muestra seca (Pérez, 2018).

$$CH = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

En la ecuación 1, el contenido de humedad (CH) es igual al peso de agua (Ww) entre el peso de sólidos (Ws), multiplicado por cien.

**Límite líquido.** Humedad con el cual una masa de suelo, a los 25 golpes supera la división de 1 cm, en la copa Casagrande (Pérez, 2018).

**Límite plástico.** Humedad con la que el suelo presenta quiebre al formarse rollos de 3 mm de diámetro (Pérez, 2018).

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots(2)$$

En la ecuación 2, el índice de plasticidad (IP) es igual a la resta del límite líquido y el límite de plasticidad.

**Peso específico.** Correspondencia entre peso y volumen, del suelo (Yepes, 2014).

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \dots\dots\dots(3)$$

En la ecuación 3, el peso específico de las partículas sólidas es igual a la división entre el peso de los sólidos del suelo entre el volumen sólido.

$$\gamma = \frac{P}{V} \dots\dots\dots(4)$$

En la ecuación 4, el peso específico aparente del suelo es igual a la división del peso entre el volumen del suelo.

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} \dots\dots\dots(5)$$

En la ecuación 5, el peso específico seco del suelo es igual a la división del peso de los sólidos del suelo entre el volumen del suelo.

**Granulometría.** Medida del tamaño de las partículas del suelo (Morales, 2018), donde para el suelo mayor a 0.075 se determina por tamizado, y para el menor, se encuentran por sedimentación (Morales, 2019).

$$\% \text{ retenido parcial} = \frac{P_{ti}}{P} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

En la ecuación 6, el porcentaje parcial retenido en un tamiz es igual a la división del peso parcial retenido en un tamiz (Pti) entre el peso de la muestra total (P).

$$\% Ret. acum. = \frac{Peso \text{ ret. acum.}}{P_T} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

En la ecuación 7, el porcentaje retenido acumulado es igual a la división del peso retenido acumulado entre el peso total de la muestra (PT).

$$\text{Peso que pasa} = PT - \text{Peso ret. acum} \dots\dots\dots(8)$$

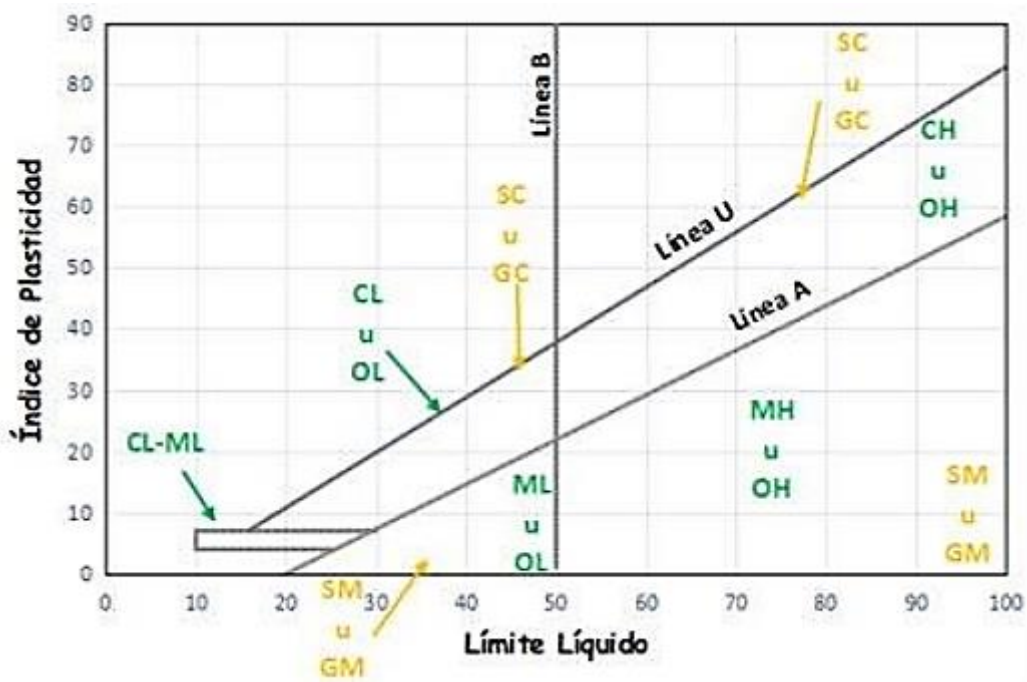
En la ecuación 8, el peso que pasa es igual a la resta del peso total menos el peso retenido acumulado.

$$\% \text{Que pasa} = \frac{\text{Peso que pasa}}{PT} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

En la ecuación 9, el porcentaje que pasa es igual a la división del peso que pasa por el tamiz entre el peso total de la muestra.

**Figura 12.**

*Carta de plasticidad*



Nota: Tomado de la tesis de grado del autor (Puentes, 2020).

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \dots\dots\dots(10)$$

En la ecuación 10, el coeficiente de curvatura (Cc) es igual a la división del cuadrado de la dimensión del tamiz por el que pasa el 30% de la muestra de suelo (D30) entre la multiplicación de la dimensión del tamiz por el que pasa el 10% de

la muestra de suelo (D10) y la dimensión del tamiz por el que pasa el 60% de la muestra de suelo (D60).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (11)$$

En la ecuación 11, el coeficiente de uniformidad (Cu) es igual a la división de la dimensión del tamiz por el que pasa el 60% de la muestra de suelo (D60) y la dimensión del tamiz por el que pasa el 10% de la muestra de suelo (D10).

**Propiedades mecánicas de los suelos**

**Cohesión.** Capacidad de unión de las partículas. Se considera como la máxima resistencia que puede alcanzar un suelo ante la tensión a la que esté sometido, la cohesión puede ser verdadera o superficial (Pérez, 2018). La cohesión, varía, por humedad y cantidad de finos, por ello, las arenas son no cohesivas (Pincay, 2020).

**Ángulo de fricción.** Conocido como ángulo de frotamiento interno, es la pendiente del esfuerzo de tensión normal y tensión de cizalladura de un suelo, depende del tamaño que presenten las partículas del suelo, su forma, la densidad de los granos y de la presión normal (Gesenhues, 2020). Se determina por el ensayo de corte directo o triaxial (Pincay, 2020).

$$\tau = c' + (\sigma_n - \mu) \tan \phi' \dots \dots \dots (12)$$

En la ecuación 12,  $\tau$  es la resistencia al corte del terreno,  $c'$  es la cohesión efectiva,  $\sigma_n$  es la tensión normal,  $\mu$  es la presión intersticial y  $\phi'$  es el ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno (Blanco, 2017).

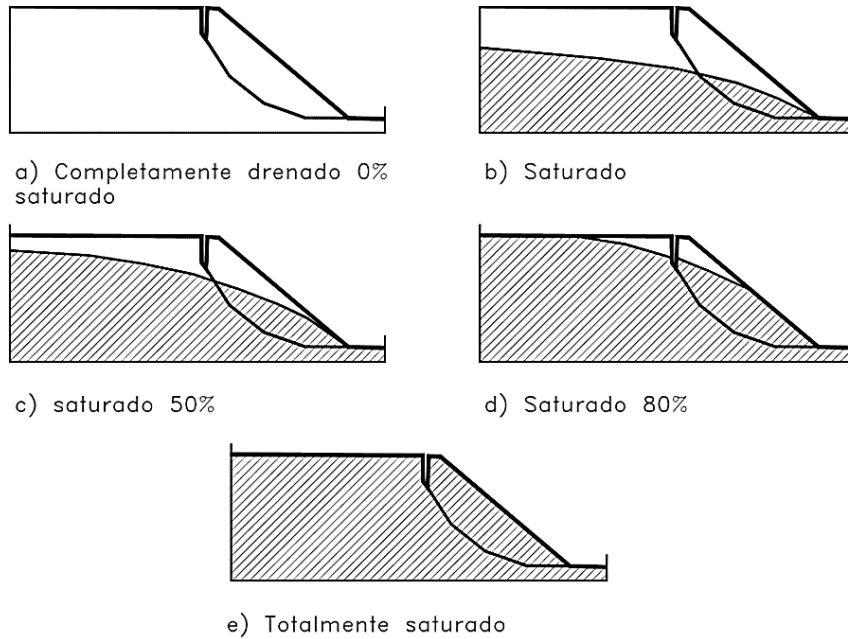
**Propiedades hidráulicas de los suelos**

**Nivel freático.** Línea de presión de poros igual a cero, equivalente a que la presión neta en el sitio es igual a la presión atmosférica (Suárez, 2009).



**Figura 13.**

*Saturación y niveles freáticos*



Nota: (Suárez, 2009).

**Permeabilidad.** Propiedad que tiene el suelo de ser atravesado por fluidos sin perturbar su estructura interna (Zamora, 2019). Para comprobar la estabilidad del talud por incidencia de la infiltración causada por la precipitación, se necesita conocer la conductividad hidráulica o permeabilidad (Ttiito, 2018). Esta, se obtiene mediante tablas de valores típicos dadas por Coduto (1999), Doménico y Schwartz (1990) y Sotelo (2002), donde el valor de conductividad hidráulica para el suelo (GC, GM) es de  $4e-7$  m/s, para el suelo (SM) es de  $1e-4$  m/s, para el material rocoso es de  $1e-9$  m/s (Ttiito, 2018).

**Tabla 3.**

*Permeabilidad para suelos saturados según Braja M. Das (2013)*

Suelo	K (cm/s)
Grava limpia	1 a 100
Arena gruesa	0.01 a 1
Arena fina	0.001 a 0.01
Arcilla limosa	0.000001 a 0.001
Arcilla	< 0.000001

Nota: (Braja, 2013).

**Tabla 4.***Permeabilidad en suelos, según Gonzáles et al. (2002)*

Suelo	K (cm/s)
Grava mal gradada (GP)	$\geq 1$
Grava uniforme (GP)	0.2 a 1
Grava bien gradada (GW)	0.05 a 0.3
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-2} - 0.2$
Arena bien gradada (SW)	$10^{-3} - 0.1$
Arena - limosa (SM)	$5 \times 10^{-3} - 10^{-3}$
Arena - arcillosa (SC)	$10^{-4} - 10^{-3}$
Limo de baja plasticidad (ML)	$5 \times 10^{-5} - 10^{-4}$
Arcillas de baja plasticidad (CL)	$10^{-5} - 10^{-8}$

Nota: (Gonzáles et al., 2002).

**Tabla 5.***Coefficientes de permeabilidad para suelos según FAO (2021)*

Tipo de suelo	Permeabilidad K (cm/s)
Grava limpia	$10 - 10^{-2}$
Arena limpia	$10^{-2} - 10^{-3}$
Arena limpia, y mezclas de grava	$10^{-3} - 10^{-5}$
Arenas muy finas	$10^{-5} - 10^{-6}$
Limos orgánicos e inorgánicos	$10^{-6} - 10^{-7}$
Mezcla de arena, limo y arcilla	$10^{-7} - 10^{-8}$
Depósitos estratificados de arcilla, etc.	$10^{-8} - 10^{-9}$
Suelos impermeables, por ejemplo, arcillas homogéneas por debajo de la zona de meteorización	$10^{-9} - 10^{-11}$

Nota: (FAO, 2021).

### 2.2.5. *Riesgo*

Condición que, al no cambiar por la intervención humana o por medio de un cambio en las condiciones del entorno físico-ambiental, anuncia un determinado nivel de impacto socio económico hacia el futuro (Narváez et al., 2009). Esa posibilidad está sujeta a análisis en términos cualitativos y cuantitativos (Lavell, 2001). La determinación del riesgo abarca la evaluación del peligro, los estudios de vulnerabilidad y los análisis del riesgo (Freeman et al., 2009).

#### 2.2.5.1. Peligro

Posibilidad que un fenómeno, acontezca en un lugar y lapso específico, con una gravedad de ocurrencia (CENEPRED, 2015, Freeman et al., 2009).

#### 2.2.5.2. Vulnerabilidad

Secuelas físicas, sociales y económicas que tendría la ocurrencia de un fenómeno. La vulnerabilidad física, analiza el impacto, sobre los medios de vida (Freeman et al., 2009).

#### 2.2.5.3. Identificación de áreas o tramos de riesgo potencial

Según CENEPRED (2015), se pueden identificar áreas o tramos de riesgo potencial, con las siguientes alternativas:

- a) Tramos de riesgo potencial a partir de información histórica
- b) Tramos o áreas de riesgo potencial a partir del cruce de información con los usos del suelo
- c) Zonas clasificadas según nivel de riesgos
- d) Evaluación preliminar de riesgos y selección de áreas con riesgo potencial

#### 2.2.5.4. Nivel de riesgo

Probabilidad de daños en personas y medios de vida expuestos a un peligro. El nivel del riesgo depende del peligro y vulnerabilidad (Narváez et al., 2009).

#### **2.2.6. Riesgo geotécnico por deslizamiento de taludes**

Según CENEPRED (2015) entenderemos por riesgo Geotécnico “todo proceso, situación o suceso en el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geotécnicos”. Probabilidad de que se suscite un evento que genere daños, como secuela de la integración del peligro de deslizamiento y vulnerabilidad (Díaz, Chuquisengo y Ferrada, 2005).

$$f(R) = P \times V \dots\dots\dots(13)$$

En la ecuación 13, se representa la función de estimación del riesgo, que viene a ser la interacción del peligro (P) y la vulnerabilidad (V).

La vulnerabilidad de una comunidad, cambia frecuentemente, para analizarla se considera la exposición, fragilidad y resiliencia (Tirado, 2020). En el caso de una carretera el riesgo por deslizamiento se puede considerar tan solo como el análisis de la peligrosidad o susceptibilidad a movimientos de masa, debido a que este expresa la facilidad con que el fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales de la plataforma vial (Tacilla, 2019).

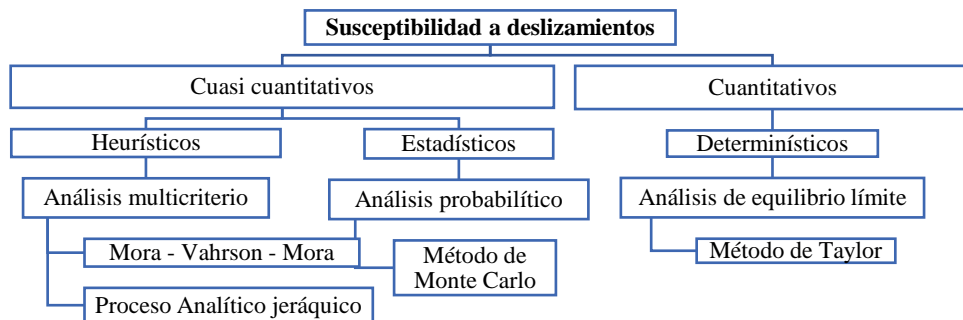
$$f(R) \text{ en una vía} = P \dots\dots\dots(14)$$

En la ecuación 14, se representa la función de estimación del riesgo en una carretera, donde la vulnerabilidad se igual a 1, debido a que el deslizamiento solo afectaría a la plataforma de la vía, entonces se considera al riesgo como el peligro o susceptibilidad a movimientos en masa (Tacilla, 2019).

El peligro, es la posibilidad, de ocurrencia de un fenómeno dañino, de magnitud, lapso y ubicación definido (Tirado, 2020), mientras que, la susceptibilidad a movimientos de masa, es la probabilidad espacial, de que ocurran deslizamientos (Bonachea, 2006), para medirlo cuantitativamente, se suele usar, el Factor de Seguridad (FS) (Zamora, 2019).

**Figura 14.**

*Métodos de estimación de la susceptibilidad frente a movimientos de masa*



Nota: Adaptado de (Suárez, 2009).

**2.2.7. Análisis de estabilidad en taludes**

Según Valiente et al. (2015), para comprobar la estabilidad, de una masa de suelo, se debe determinar su factor de seguridad al deslizamiento, contrastando los esfuerzos que tienden a producir con los que tienden a evitar el deslizamiento.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots(15)$$

En la ecuación 15, el factor de seguridad con respecto a la resistencia del talud se expresa como la división entre la resistencia cortante promedio del suelo ( $\tau_f$ ) y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de la falla ( $\tau_d$ ).

$$\tau_f = C' + \sigma' \tan \phi \dots\dots\dots(16)$$

En la ecuación 16, la resistencia al corte de un suelo( $\tau_f$ ), consiste en la suma de la cohesión ( $C'$ ) con el resultado de la multiplicación del esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla ( $\sigma'$ ) por la tangente del ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ).

$$\tau_d = C'_d + \sigma' \tan \phi_d \dots\dots\dots(17)$$

En la ecuación 17, el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla ( $\tau_d$ ), consiste en la suma de la cohesión efectiva ( $C'_d$ ) con el resultado de la multiplicación del esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla ( $\sigma'$ ) por la tangente del ángulo de fricción interna que se desarrolla a lo largo de la superficie potencial de falla ( $\phi_d$ ).

$$FS = \frac{C' + \sigma' \tan \phi}{C'_d + \sigma' \tan \phi_d} \dots\dots\dots(18)$$

En la ecuación 18, se muestra otra forma de expresar el factor de seguridad en base a la cohesión y el ángulo de fricción del suelo.

**Tabla 6.***Coefficientes de seguridad para el análisis de taludes*

Normativa	Talud permanente	
	Estática	Sísmica
AASHTO LRFD	1.33 a 1.53	1.10
NAVFAC-DM7	1.50	1.20 a 1.15
FHWA-NHL-11-032		1.10
CE.020	1.50	1.25

Nota: Adaptado de (Valiente, et al., 2015).

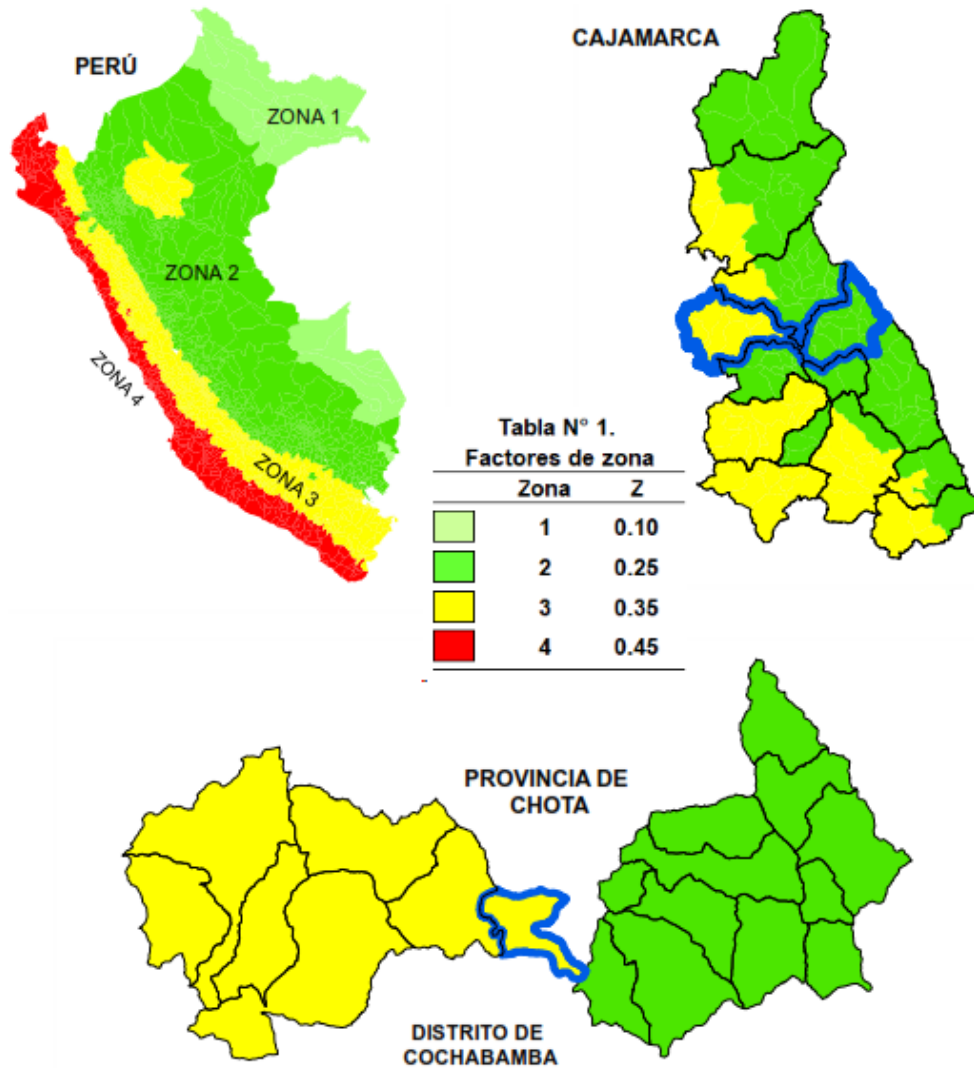
El análisis de estabilidad tiene como objetivo, definir el coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad estático y dinámico (González, et al., 2002). Para determinar el análisis de estabilidad, estático y pseudoestático, en taludes se utiliza generalmente softwares de procesamiento como Slide. El análisis estático consiste en la definición de como el efecto de la gravedad, el peso del suelo y sus características propias, pueden generar un movimiento en masa, mientras que el análisis pseudoestático mide los efectos del sismo en un talud pueden modelarse empleando aceleraciones horizontales y constantes (Valiente, et al., 2015). En estos modelos, se representan los efectos de temblores, por aceleraciones, que, crean fuerzas de inercia (Zamora, 2019). Para el modelo pseudoestático en taludes se determina la aceleración máxima por sismo que se colocará al modelo.

$$A_{m\acute{a}x-d} = \text{Factor s\acute{m}ico de zona} \times S \dots\dots\dots(19)$$

En la ecuación 19, se muestra la aceleración máxima horizontal de dise\~no ( $A_{m\acute{a}x-d}$ ), misma que se determina por la multiplicaci3n del factor s\acute{mico de zona y el factor de suelo (S) determinado seg\~un la clasificaci3n del suelo. En el caso de considerar m\~etodos pseudo-est\~aticos para el dise\~no de los taludes, la AASHTO y la FHWA sugieren reducir el anterior valor a la mitad (Valiente, et al., 2015).

**Figura 15.**

*Zonificación sísmica Perú (E.030)*



Nota: De acuerdo a la norma E.030 “Diseño sismorresistente” (Adaptado del MVCS, 2018).

**Tabla 7.**

*Clasificación de suelos de acuerdo a la amplificación sísmica*

Zona	So Roca dura	S1 Roca o suelos muy rígidos	S2 Suelos intermedios	S3 Suelos blandos
4			1.05	1.10
3	0.80	1.00	1.15	1.20
2			1.20	1.40
1			1.60	2.00

Nota: Los tipos de perfiles de suelos son cuatro clasificados según las particularidades del suelo, adaptado de la norma E.030 (MVCS, 2018).

**Tabla 8.**

*Periodo fundamental de vibración sísmica  $T_p$  (s) según suelo (Norma E.030)*

	<b>So</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
$T_p$ (S)	0.30	0.40	0.60	1.00

Nota: norma E.030 (MVCS, 2018).

Al análisis estático y pseudoestático, se le puede incorporar la influencia de la precipitación pluvial a fin de determinar cómo se ve afectado el movimiento de masa al tener como variable la presión del agua, causada por la precipitación, para ello, se necesita la conductividad hidráulica o permeabilidad del suelo, dato que se obtiene mediante tablas típicas (Ttito, 2018). Los métodos de análisis de estabilidad son: (González, et al., 2002).

- Métodos determinísticos
- Métodos probabilísticos

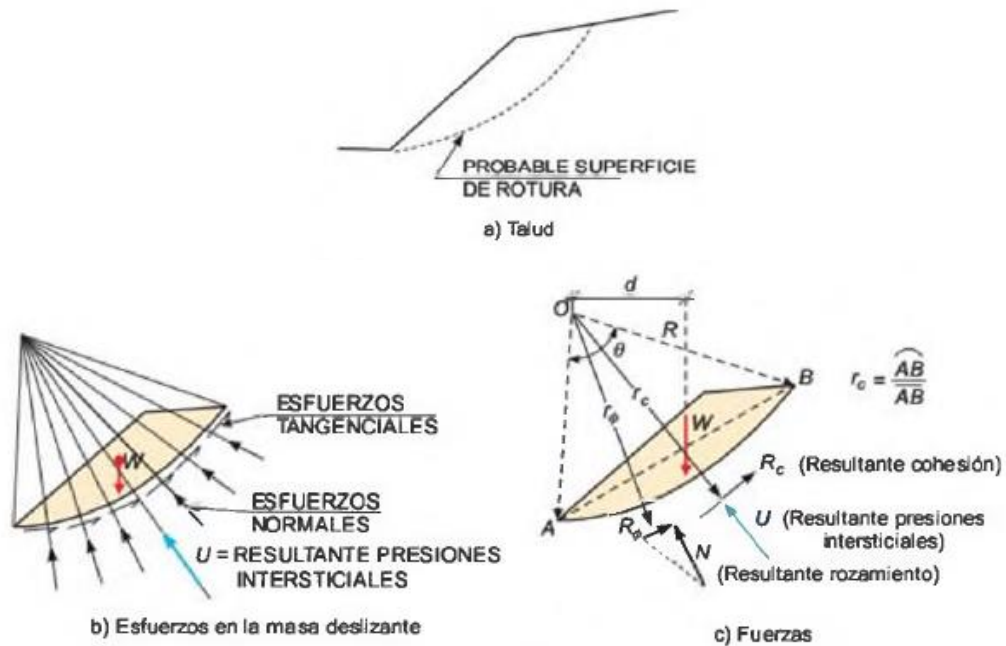
#### **2.2.8. Método determinístico de Taylor**

Conocidas o supuestas las características del talud, los métodos determinísticos indican si el talud es o no estable, para ello, se definen los valores de peso específico, cohesión y fricción, para encontrar el factor de seguridad (FS) (González, et al., 2002). La Serie de Taylor, también emplea técnicas estadísticas, para conocer el grado de incertidumbre en el cálculo del FS de un talud (Torres, 2007). El método de Taylor supone un suelo homogéneo y un manto rígido profundo, por lo que, sólo se utiliza en suelos cohesivos y se aplica solamente para el análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poros (Suarez, 2009). 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 usa el mismo método de Taylor, pero por medio de un método «de rebanadas» (González, et al., 2002):



**Figura 16.**

*Fuerzas que actúan sobre una superficie de rotura curva*



Nota: (González, et al., 2002).

Para la aplicación del método determinístico de Taylor se siguen los siguientes pasos (Torres, 2007):

- Valuar la desviación estándar, de la media  $\sigma$ , para cada una de las variables en la ecuación de estabilidad.
- Usar la técnica de la Serie de Taylor, para estimar la desviación estándar del factor de seguridad ( $\sigma F$ ) y el coeficiente de variación (VF) del factor de seguridad.
- Calcular el valor determinista del factor de seguridad  $F$  usando los mejores valores de la estimación para cada una de las variables en la ecuación del factor de seguridad. Este término es conocido como el valor más probable del factor de seguridad: FMLV.

### **2.2.9. Método probabilístico: Simulación de Monte Carlo**

Consideran la probabilidad de fallo de un talud en determinadas condiciones. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis, y a partir de ellas se realizan los cálculos del factor de seguridad mediante procesos iterativos. Se obtienen las funciones de densidad de probabilidad y la distribución de probabilidad del factor de seguridad y de las curvas de estabilidad del talud, con el factor de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia (González, et al., 2002). La simulación de Montecarlo es un método estadístico numérico basado en la generación de números aleatorios para simular el comportamiento de una variable. Es una técnica que combina conceptos estadísticos con la capacidad de los ordenadores para generar números pseudoaleatorios y automatizar los cálculos, siendo muy útil cuando hay pocos datos en el estudio de una variable (Hernández, 2007, p. 61). Cabe señalar que la estimación probabilística de la estabilidad de taludes, brinda la transcendental prerrogativa, de considerar de manera lógica la confiabilidad y riesgo del sistema, por lo tanto, facilita el desarrollo de nuevas perspectivas que, están fuera del alcance de los modelos determinísticos convencionales (Fernández, Villalobos y King, 2018). El método Montecarlo permite simultáneamente dos tipos de cálculos:

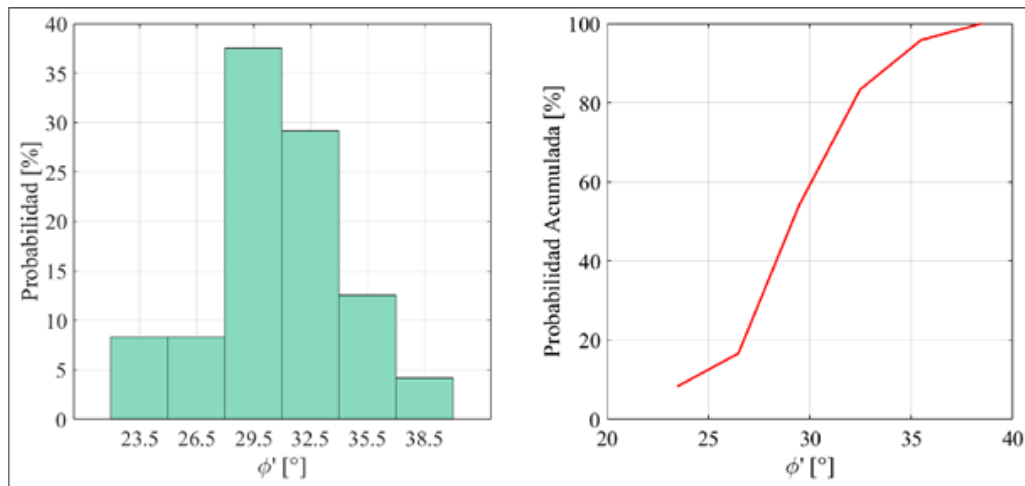
**Cálculo de probabilidades.** Según el acercamiento de la integral, estas posibilidades, pueden ser a su vez: Restricciones del problema de optimización y análisis de la función objetivo y análisis del rendimiento (Ayensa, 2016).

**Cálculo de parámetros estadísticos.** Por cálculo directo. A partir de cada una de las realizaciones dadas de las variables de entrada, se obtiene, gracias al modelo,

una realización proporcional de las variables de salida. A partir de ahí, se puede realizar la estadística, es decir, se pueden inferir los parámetros poblacionales a calcular a partir de los datos de la muestra (Ayensa, 2016).

**Figura 17.**

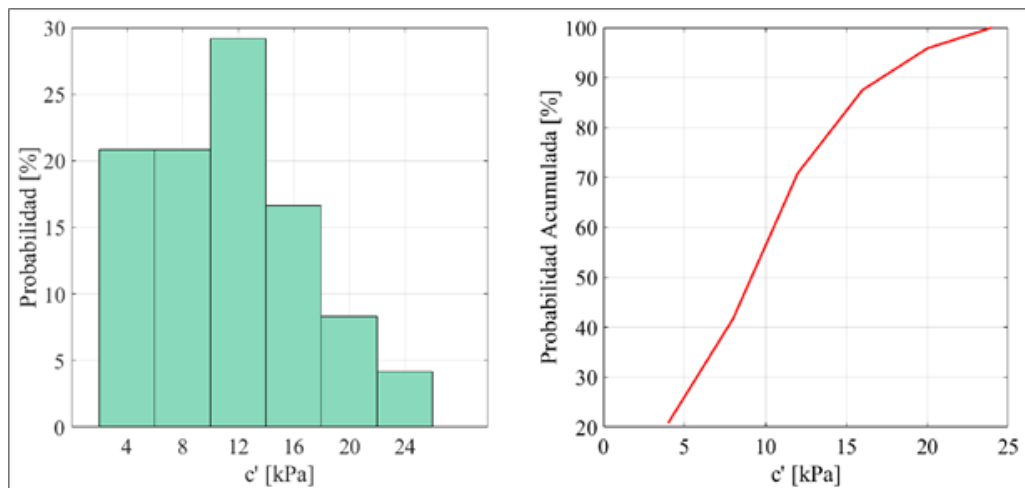
*Histograma y curva de probabilidad acumulada para el ángulo de fricción interna*



Nota: (Fernández, Villalobos y King, 2018).

**Figura 18.**

*Histograma y curva de probabilidad acumulada para la cohesión efectiva.*



Nota: (Fernández, Villalobos y King, 2018)

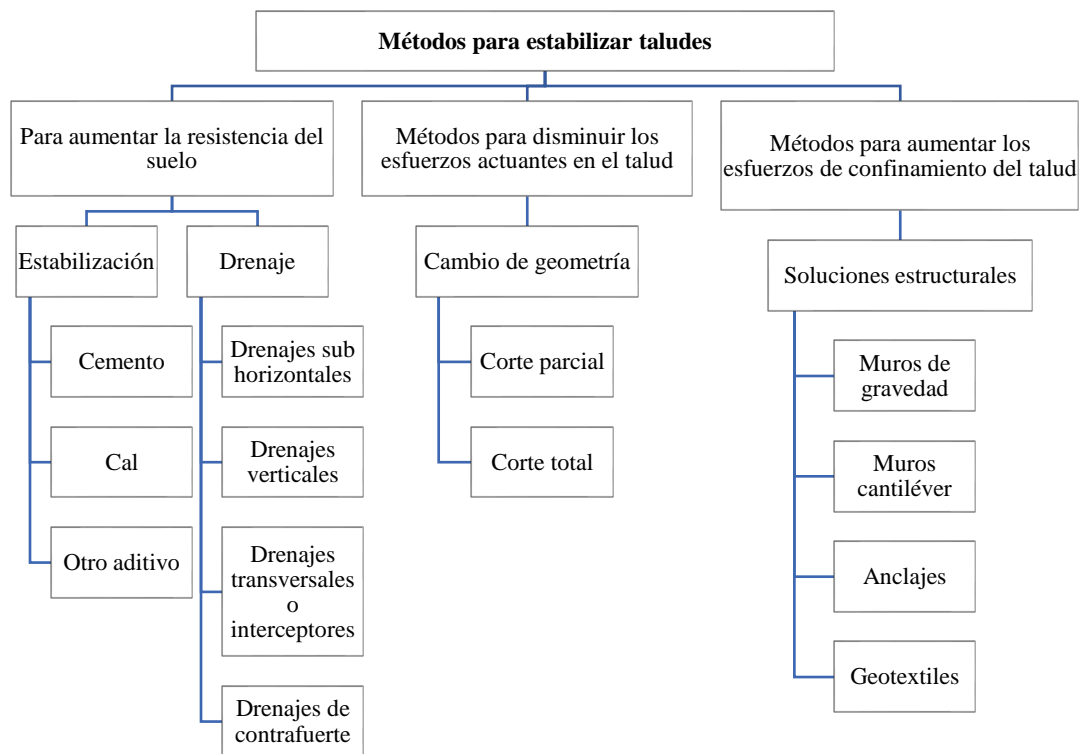
### 2.2.10. Métodos para estabilizar taludes

Si se comprueba que existe riesgo de inestabilidad en un talud determinado, hay tres grupos principales de soluciones para conseguir la estabilidad del mismo:

**Aumentar la resistencia del suelo**, se trata de soluciones que aplican el drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de sustancias que aumentan la resistencia del suelo, como el cemento u otro aglutinante; **disminuir las tensiones que actúan sobre el talud**, soluciones como cambiar la geometría del talud cortándolo parcial o totalmente en un ángulo menor o eliminando la cresta para reducir su altura, y **aumentar las tensiones de confinamiento del talud**, la estabilización de los taludes puede lograrse mediante obras estructurales, como muros de gravedad, pantallas atirantadas o bermas del mismo suelo, anclajes, entre otros (Miranda, 2017).

**Figura 19.**

*Métodos para estabilizar taludes*



Nota: Adaptado de (Miranda, 2017).

### 2.3. Definición de términos

**Análisis de estabilidad.** Se aplican al diseño de taludes, o cuando éstos, presentan inestabilidad. Hay que elegir el factor de seguridad apropiado, en función al fin

de la excavación, permanencia temporal o definitivo del talud, costes, consecuencias o riesgos que pueda ocasionar la rotura, etc. (Rodrigo, 2017).

**Deslizamientos.** Se refiere al movimiento de masas de roca o suelo, que, se desplaza a favor de una pendiente bajo la fuerza de la gravedad, pueden ocurrir en segundos o en una semana o incluso más tiempo (Castro y Azogue, 2020).

**Estabilidad.** Seguridad de una masa de tierra contra la rotura o movimiento (Espinoza y Rivera, 2018).

**Factor de seguridad.** Factor de amenaza, de que, el talud falle, en las peores circunstancias de comportamiento (Rodrigo, 2017).

**Ladera.** Masa de tierra o roca, que no es plana, sino que tiene pendiente. Es ladera cuando, su origen es natural y talud cuando se conformó artificialmente (Torres, 2017b).

**Movimientos en masa.** Se trata de procesos de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, en diferentes proporciones, generados por diversos factores, como flujos detríticos, deslizamientos y derrumbes ligados a la climatología (Escalante y Vargas, 2018).

**Riesgo a deslizamiento de taludes.** Probabilidad de que, se produzca una catástrofe como resultado del peligro de deslizamiento y la vulnerabilidad (Díaz, Chuquisengo y Ferradad, 2005). Para objeto del estudio se considera como riesgo de deslizamiento a la susceptibilidad de un movimiento de masa.

**Series de Taylor.** Es una herramienta matemática útil para ecuaciones no lineales. Así mismo se utiliza para la valoración de funciones matemáticas, en el diseño de proyectos de ingeniería (He & Ji, 2019).

**Simulaciones de Monte Carlo.** Método estadístico numérico basado en la generación de números aleatorios para simular el comportamiento de una variable.

Los métodos de Montecarlo, envuelven la rama de las matemáticas se utilizan para realizar experimentos por muestreo del modelo de un sistema (Liu et al., 2017).

**Software Slide.** Programa 2D de estabilidad de taludes, para evaluar el factor de seguridad o la probabilidad de fallo de las superficies de rotura circulares o no circulares en rocas o suelos de mala calidad (Torres, 2017b).

**Suelo.** Agregado de minerales, unidos por fuerzas de contacto débiles, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua (Torres, 2017b).

**Talud.** Cualquier superficie inclinada, con respecto a la horizontal, que, deben adoptar permanentemente las estructuras de tierra. Es una estructura compleja de analizar, debido a que en su estudio coinciden problemas de suelos y rocas, sin dejar de lado el papel primordial que juega la geología, aplicada en la formulación de cualquier criterio aceptable (Espinoza y Rivera, 2018).

## CAPÍTULO III.

### PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

Hay diferencia significativa entre el factor de seguridad estático y dinámico determinado al evaluar el riesgo a deslizamiento de taludes por el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros Carretera 3N, Chota

#### 3.2. Variables

##### 3.2.1. *Variable independiente*

“Factores que influyen en el deslizamiento del talud” representa aquellas características esenciales del talud que se deben conocer para realizar su análisis de estabilidad, son aquellos factores condicionantes (factores geométricos y factores de mecánica de suelos) y factores desencadenantes (factores hidrológicos y factores sísmicos) que terminan ocasionando los procesos geotécnicos de movimientos de masa en el talud, para objeto del estudio, los factores geométricos se han determinado por el análisis topográfico, los factores geotécnicos y geológicos por el análisis de mecánica de suelos, los factores hidrológicos como la permeabilidad se han definido por correlación según el tipo de suelo en base a referentes como el de la FAO (2021), y los factores sísmicos se han calculado utilizando el factor de zona sísmica y tipo de suelo dados en la norma E.030 del MVCS (2018).

##### 3.2.2. *Variable dependiente*

“Riesgo por deslizamiento de taludes” se entiende como la probabilidad de que ocurra un movimiento de masa en el talud de análisis, por ello su estudio depende de la definición del factor de seguridad estático y dinámico utilizando para el modelamiento los métodos de Taylor y Montecarlo.

### 3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 9.**

*Matriz de operacionalización de variables en estudio*

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición conceptual	Definición operacional			
				Indicadores	Ítem/ índice		
Variable dependiente	El riesgo a deslizamiento, es la posibilidad de que una catástrofe se dé por la combinación	Análisis de estabilidad del talud por el método de Taylor	Es el análisis determinístico para verificar el factor de seguridad del talud.	Factor de seguridad estático	N°		
				Factor de seguridad dinámico	N°		
Riesgo de deslizamiento de taludes	del peligro a deslizamiento con la vulnerabilidad (Díaz, Chuquisengo y Ferrada, 2005).	Análisis de estabilidad del talud por el método de Monte Carlo	Es el análisis probabilístico para verificar el factor de seguridad del talud.	Factor de seguridad estático	N°		
				Factor de seguridad dinámico	N°		
				Probabilidad de falla	%		
Variable independiente	Superficie inclinada, con dinamismo complejo, por sus factores geométricos, de geotecnia, e hidrológicos (Espinoza y Rivera, 2018).	Factores geométricos	Definidos por la topografía del talud.	Largo – ancho	m		
				Pendiente	%		
				Área de perfil	m <sup>2</sup>		
		Factores de mecánica de suelos	Son las características físicas y mecánicas del suelo del talud.	Factores de mecánica de suelos		Granulometría	%
						Peso específico	Kg/m <sup>3</sup>
						Límite líquido	%
						Límite plástico	%
		Factores del talud	Define la permeabilidad del suelo según su clasificación.	Factores hidrológicos		Cohesión	Kg/cm <sup>2</sup>
						Fricción	°
						Conductividad hidráulica	m/s
Factores sísmicos	Es el factor sísmico para el análisis dinámico del talud.	Factores sísmicos		Nivel freático	Sí/no		
				Precipitación pluvial	mm		
				Factor de zona sísmica	N°		
				Factor de suelo	N°		
				Coefficiente sísmico	N°		



## CAPÍTULO IV.

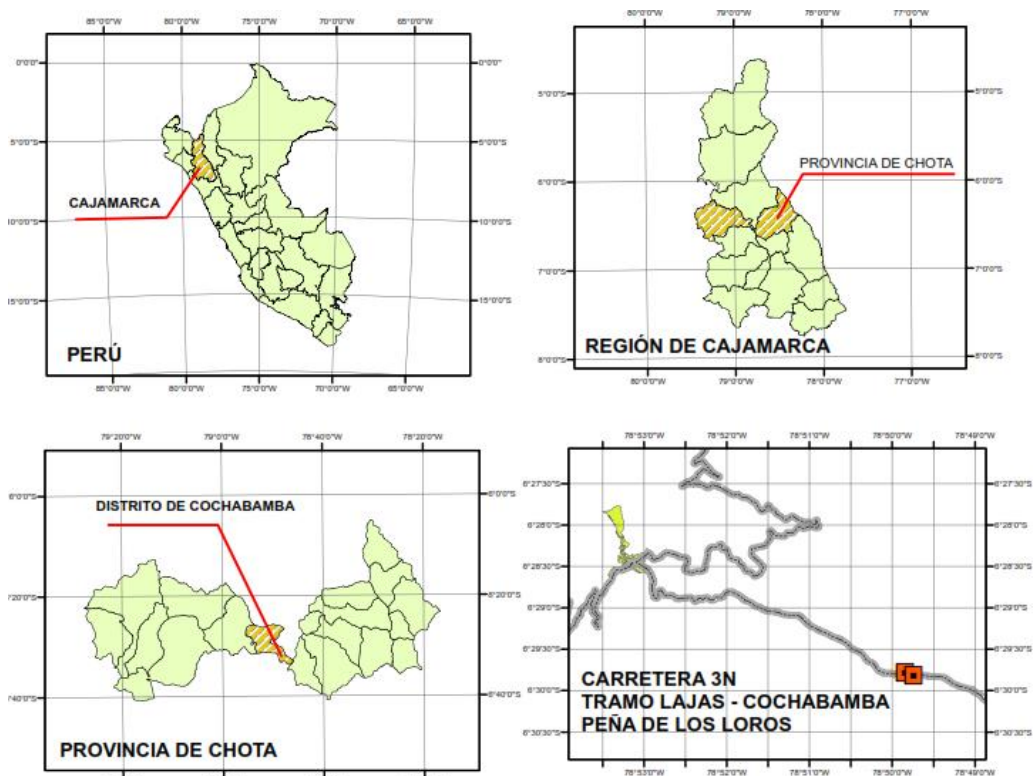
### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1. Ubicación geográfica del estudio

Se situó en el distrito de Cochabamba, provincia de Chota, región de Cajamarca, ubicado geográficamente en las coordenadas UTM WGS84 de 733859.35 m E y 9283883.31 m N, a 1673 msnm; es uno de los diecinueve distritos de la provincia, tiene una extensión superficial de 130.01 km<sup>2</sup>, limita por el este con el distrito de Lajas, por el norte con la provincia de Cutervo, por el sur con el distrito de Chancay baños (provincia de Santa Cruz) y por el oeste con el distrito de Huambos. El distrito de Cochabamba tiene vías de conexión locales, regionales y nacionales, de las que destaca la carretera longitudinal de la sierra 3N, cuyo trayecto está acompañado en el margen derecho por el río Chotano y en el margen izquierdo por taludes y laderas.

**Figura 20.**

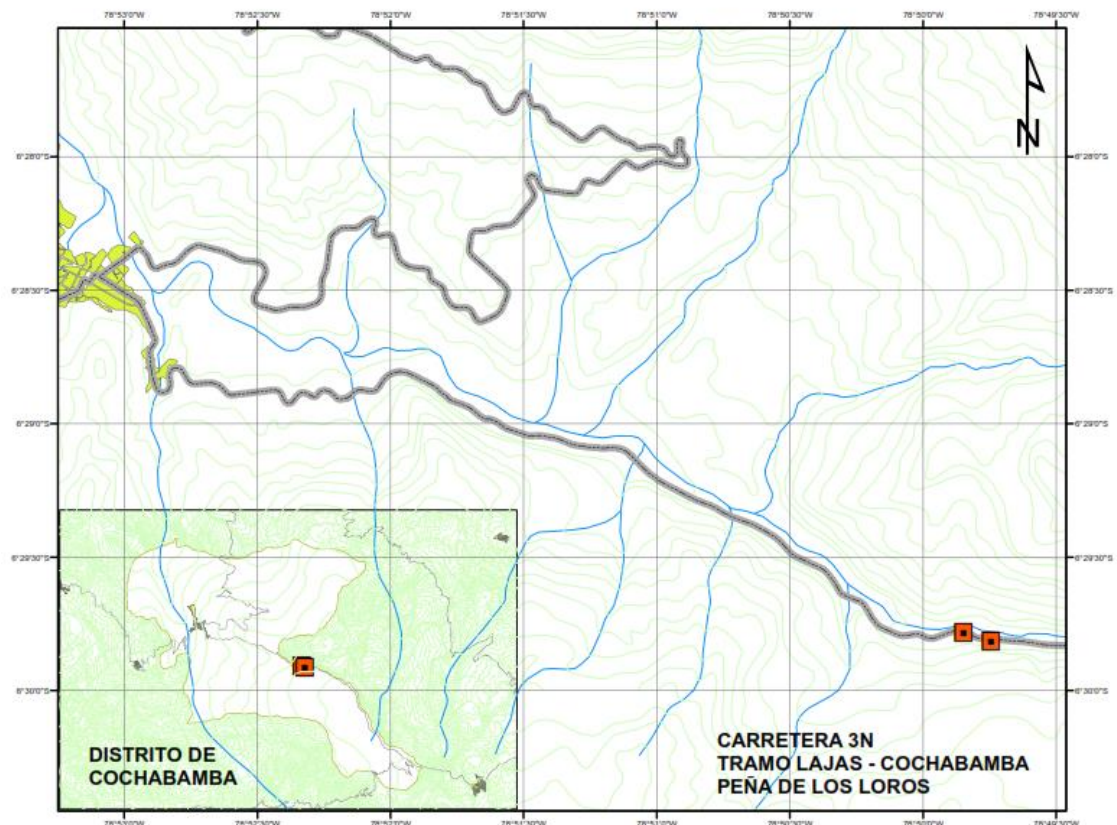
*Mapa de ubicación del distrito de Cochabamba*



La investigación se ha desarrollado en la carretera 3N longitudinal de la sierra, vía que se encarga de conectar la región Cajamarca con la región Lambayeque, pero que en el tramo Lajas – Cochabamba, específicamente en la zona denominada Peña de los Loros (Km 127.50 de la carretera 3N), se ve frecuentemente afectada por el deslizamiento del talud, situación que se acrecienta frente a las precipitaciones pluviales, que generalmente se dan entre los meses de noviembre a mayo siendo abril el mes de mayor intensidad (115.05 mm/mes), según el Senamhi (2021). El tramo de deslizamiento convencional tiene una extensión de 180 m alineados a la vía 3N, entre las coordenadas UTM WGS84 de 740082.8825 m, 9281354.0019 m a 1840.16 msnm (inicio) y 739893.6276 m, 9281415.1834 m a 1826.11 msnm (fin).

**Figura 21.**

*Carretera 3N, tramo Lajas – Cochabamba*



Geológicamente el suelo del talud Peña de los Loros pertenece a la formación Yumagual, margas y calizas grises, pardas, en conformación más o menos uniforme, donde también, hay una parte lutácea marga amarillenta, con dureza homogénea, tiene grosor medio de 700 m (Crisólogo, 2009). Litoestratigráficamente, tiene ambiente nerítico, poca energía, estromatolitos (Robert, 2002), son facies de plataforma abierta que cambian a facies de plataforma interna nerítica, la progradación de esta plataforma carbonatada hacia el suroeste está asociada a una inestabilidad tectónica local durante el Albiano superior, entonces las facies de areniscas carbonatadas de ambiente emersivo cambian a facies de plataforma abierta somera (Caja, 2017).

**Figura 22.**

*Geología del suelo del talud Peña de los Loros*

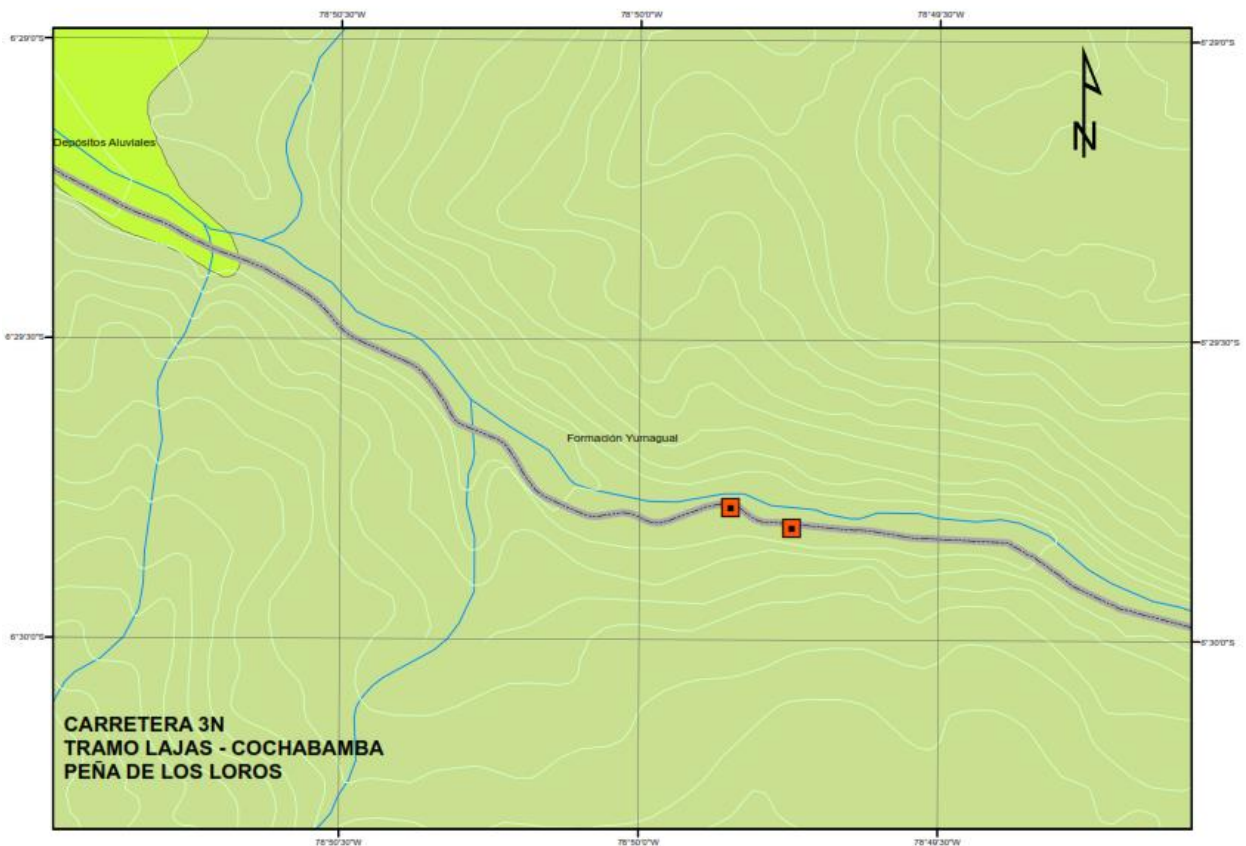
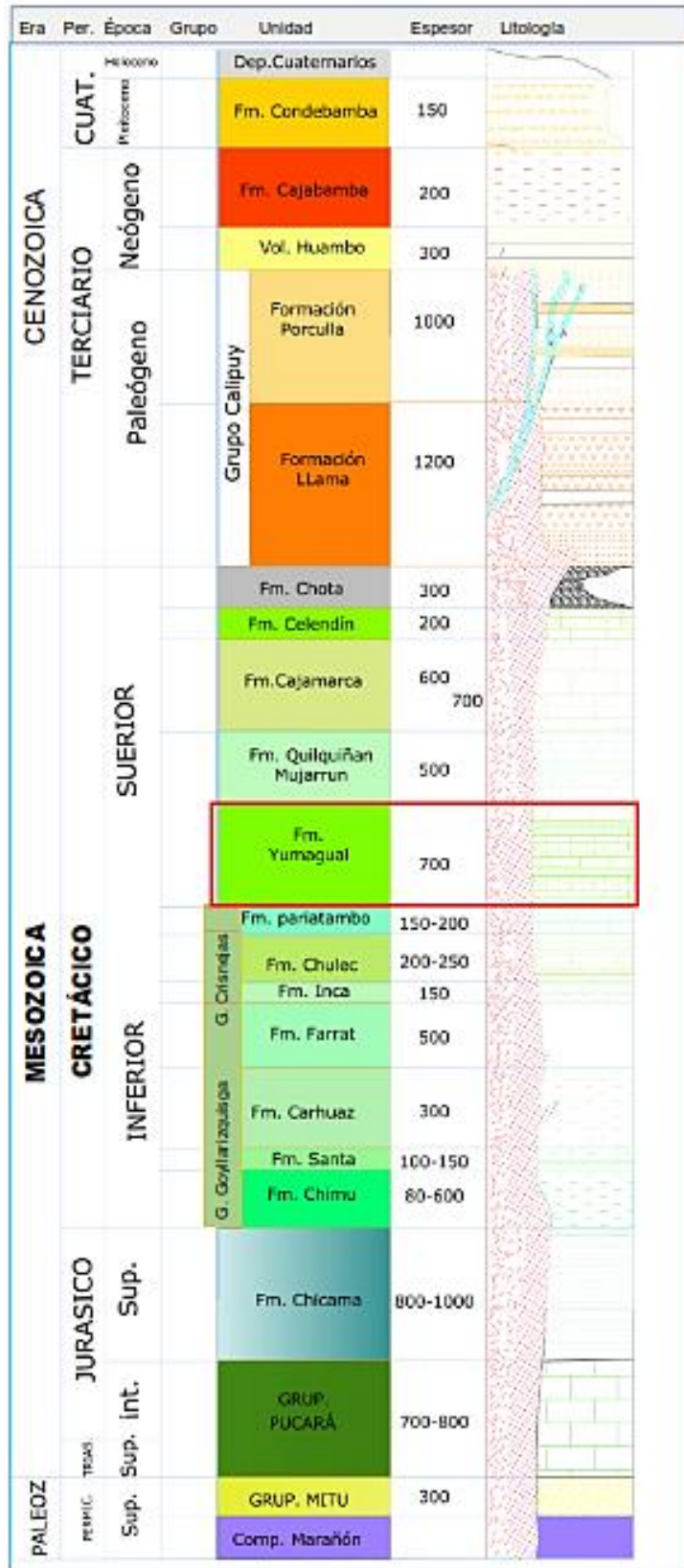


Figura 23.

Ubicación de la formación Yumaqual, dentro de la columna estratigráfica, en la región Cajamarca



Nota: (Caja, 2017)



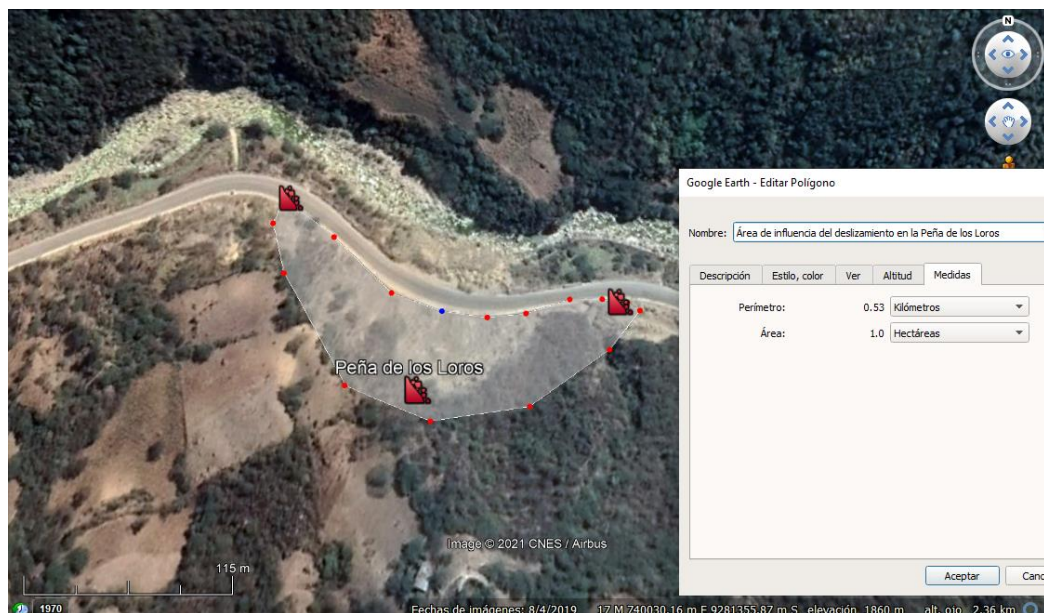
## 4.2. Unidad de análisis, población y muestra

### 4.2.1. Población

El talud del tramo Lajas – Cochabamba, específicamente en la zona denominada Peña de los Loros (Km 127.50 de la carretera 3N), en una extensión de 180 m alineados a la carretera 3N, entre las coordenadas UTM WGS84 de 740082.8825 m, 9281354.0019 m a 1840.16 msnm (inicio) y 739893.6276 m, 9281415.1834 m a 1826.11 msnm (fin).

**Figura 24.**

*Peña de los Loros, tramos Lajas – Cochabamba*



Nota: Google earth.

### 4.2.2. Muestra

No probabilística, determinada por conveniencia, debido a que el talud de análisis es una zona de deslizamientos constantes según fuentes como: La República, 2013, Andina, 2015, El Comercio, 2017, Núñez et al., 2017, Santa Mónica, 2019 y La República, 2021; por tanto, la muestra estuvo conformada por 18 secciones de 10 metros c/u (km 0+020 a km 0+190 respecto a la delimitación del levantamiento topográfico) del talud de la Peña de los Loros (km 127.50 de la

carretera 3N), en el tramo Lajas – Cochabamba. El área de influencia del talud es aproximadamente 0.01 km<sup>2</sup>, por lo que en base a la norma E.050 del MVCS (2018) que establece un número de tres calicatas por hectárea de terreno, se realizó la excavación de tres calicatas ubicadas en el talud según se indica en la Tabla 10; del fondo de cada calicata se extrajeron cuatro muestras representativas con un muestreador mecánico para la realización del ensayo de corte directo, así mismo se extrajeron muestra de suelo de los costados de la calicata para los ensayos de granulometría y límites plásticos, a fin de clasificar la tipología del suelo (SUCS).

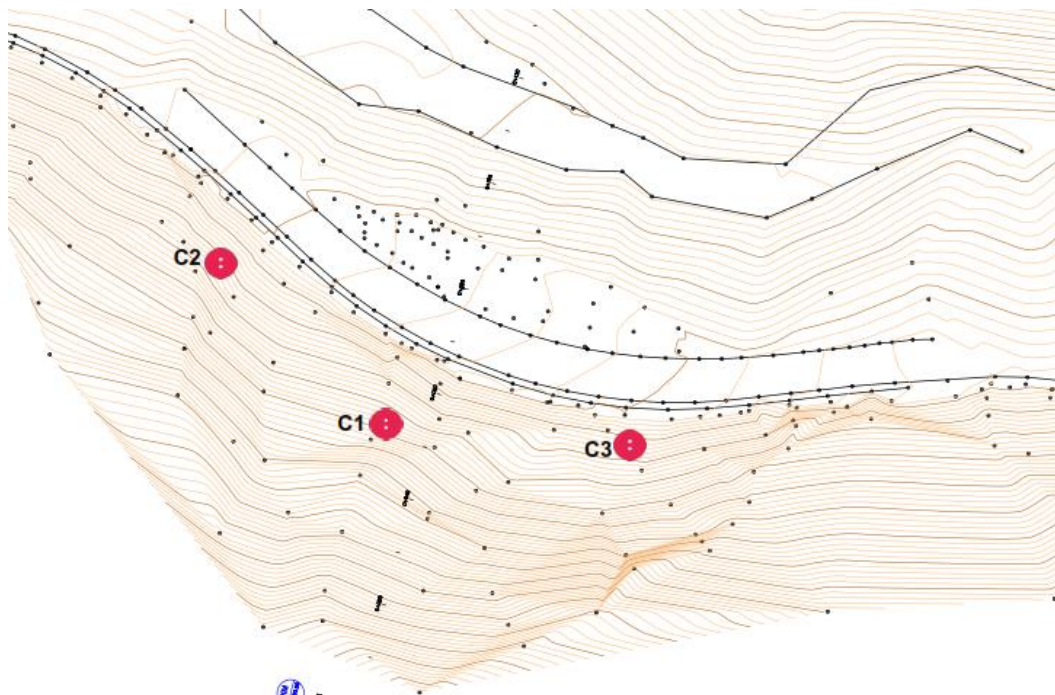
**Tabla 10.**

*Ubicación de las calicatas en el talud*

Calicata	Este	Norte
Calicata 1	739969.8738	9281354.6325
Calicata 2	739937.5738	9281372.0309
Calicata 3	739919.2362	9281360.0712

**Figura 25.**

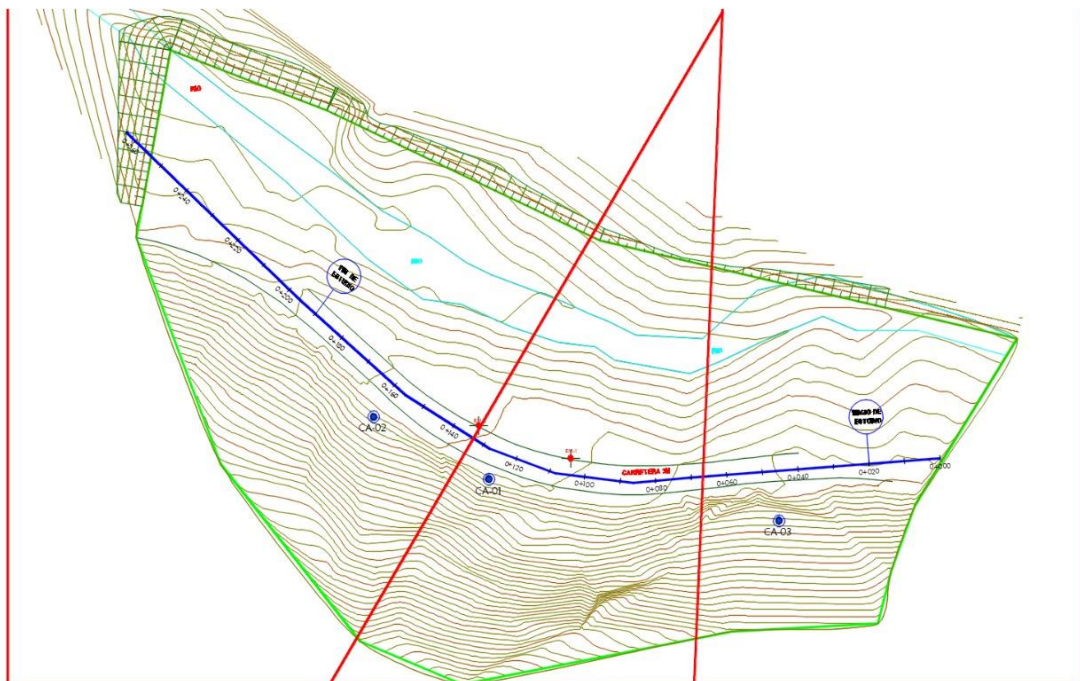
*Ubicación de las calicatas en la Peña de los Loros*



Definidas las características del suelo, se elaboró el polígono de Thiessen mediante el software ArcGIS con la finalidad de delimitar que calicata influiría en cada una de las secciones, siendo así, se verificó que la calicata 3, abarca las secciones 0+020 a 0+060 km; la calicata 1 abarca de la sección 0+070 a 0+130 km y la calicata 2 abarca de la sección 0+140 a 0+190 km.

**Figura 26.**

*Polígono de Thiessen para definir secciones de influencia por calicata*



Las 18 secciones del talud de la Peña de los Loros, se han analizado por el método determinístico de Taylor y el método probabilístico de Monte Carlo utilizando los datos de cohesión, ángulo de fricción, peso específico, tipo de suelo SUCS y conductividad hidráulica del suelo de la calicata 1 para cinco secciones (0+070 a 0+130 km), el suelo de la calicata 2 para siete secciones (0+140 a 0+190 km) y el suelo de la calicata 3 para seis secciones (0+020 a 0+060 km), teniendo en cuenta las condiciones dadas en la Tabla 11.

**Tabla 11.**

*Tipos de análisis de estabilidad de taludes aplicados a la Peña de los Loros*

<b>Método determinístico</b>	<b>Método probabilístico</b>
Análisis estático	Análisis estático
Análisis con infiltración por lluvia	Análisis con infiltración por lluvia
Análisis dinámico	Análisis dinámico
Análisis dinámico con infiltración por lluvia	Análisis dinámico con infiltración por lluvia

Para el análisis de infiltración se utilizaron las tablas de la FAO (2021) para definir la conductividad hidráulica del suelo según su clasificación SUCS, siendo así se definió a  $10^{-5}$  como coeficiente de permeabilidad para el suelo limoso de alta plasticidad y  $10^{-3}$  para el suelo areno limoso, así mismo la precipitación máxima media pluvial que se utilizó como dato para el análisis fue equivalente a la de la estación Cochabamba.

#### **4.2.3. Unidad de análisis**

El perfil de talud de 18 secciones de la Peña de los Loros entre las coordenadas UTM WGS84 de 740082.8825 m, 9281354.0019 m a 1840.16 msnm (inicio) y 739893.6276 m, 9281415.1834 m a 1826.11 msnm (fin).

#### **4.2.4. Unidad de observación**

Los factores que inciden en la estabilidad del talud. Estos fueron:

- La geometría del talud (largo – ancho, pendiente, perfil geométrico).
- Las particularidades del suelo:
  - Granulometría NTP 339.128 (INACAL, 2019)
  - Límites LL y LP, NTP 339.129 (INACAL, 2019)
  - Cohesión y ángulo de fricción, por corte directo, NTP 339.171 (INACAL, 2017)
- La precipitación máxima media de la estación hidrológica de Cochabamba.
- La intensidad sísmica definida en base a la norma E.030 (MVCS, 2018).



### 4.3. Tipo y descripción del diseño de investigación

#### 4.3.1. Tipo de investigación

El enfoque del estudio es cuantitativo, de nivel descriptivo, la investigación describe los procedimientos y datos del análisis al talud Peña de Los Loros, ubicado en el tramo Lajas – Cochabamba, así mismo la investigación, por su finalidad, es aplicada, porque hace uso del método determinístico y probabilístico para definir los factores de seguridad, estático y dinámico, del talud, generando así nuevo conocimiento a partir de saberes existentes.

**Tabla 12.**

*Tipo de estudio, según los principales criterios*

Condición	Tipo
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque	Cuantitativa
Objetivos	Descriptiva
Fuente de datos	Mixta
Control de diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal
Contexto donde sucede	Biblioteca, laboratorio, campo
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria

#### 4.3.2. Diseño de investigación

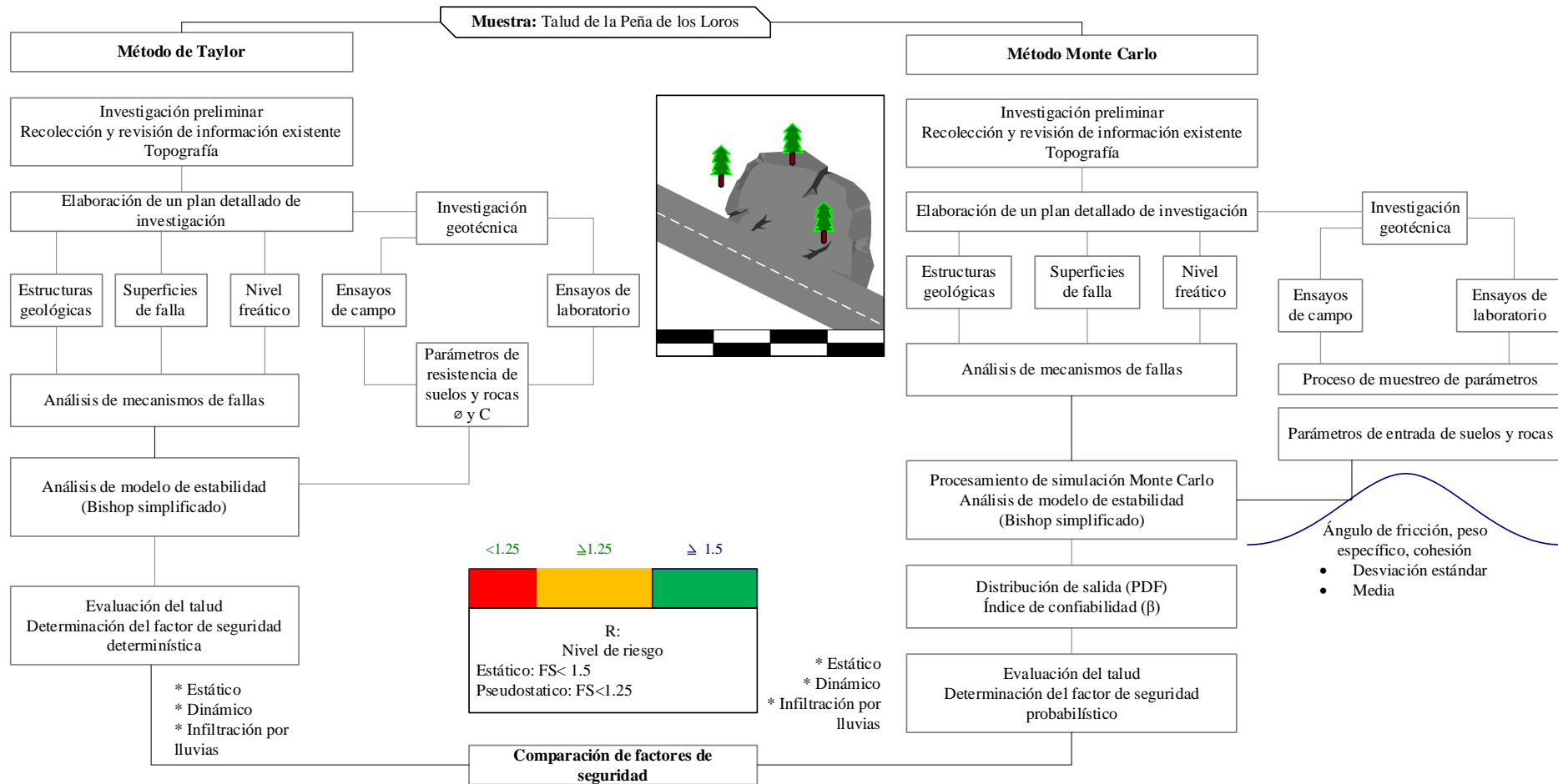
Cuasiexperimental “Diseño de comparación estática con grupo de control”, debido a que si bien en el análisis de estabilidad estático del talud no se han variado sus características geométricas y de mecánica de suelos, en el análisis de infiltración se han agregado datos de conductividad hidráulica en base al tipo de suelo e intensidad de precipitación en base a los datos de la estación Cochabamba, generando una alteración del escenario de análisis de estabilidad para verificar su variación frente a lluvias, además para el análisis pseudoestático, también denominado dinámico, se altera el modelo del talud adicionando fuerzas sísmicas en base a un factor calculado según la norma E.030 del MVCS (2018). Siendo así

se tiene como modelos de análisis de estabilidad el modelo estático (Grupo de control), el modelo estático con infiltración, el modelo pseudoestático y el modelo pseudoestático con infiltración (Grupos de cuasi experimentación), todos estos modelos analizados bajo el método probabilístico (Monte Carlo) y el método determinístico (Taylor), para poder comparar los factores de seguridad.

$$\begin{array}{lll}
 GE1 & X1 & O1 \\
 GE2 & X2 & O2 \dots\dots\dots(20) \\
 GC & & O3
 \end{array}$$

En la ecuación 20, se puede observar que el grupo de control (GC) corresponde al análisis estático (O3), mientras que el grupo experimental 1 (GE1) corresponde al análisis dinámico (O1), donde el tratamiento experimental (X1) que recibe el análisis del talud es el factor sísmico, y por último el grupo experimental 2 (GE2) corresponde al análisis estático y dinámico con infiltración por precipitaciones pluviométricas (O3), donde el tratamiento experimental (X2) que recibe el análisis del talud, es el coeficiente de permeabilidad y la intensidad máxima media de la estación meteorológica, Cochabamba.

Figura 27. Esquema de investigación



### 4.3.3. Métodos de investigación

Para realizar el análisis de estabilidad del talud, se aplica el método determinista y probabilístico, según el procedimiento descrito en: (Torres, 2007)

**Tabla 13.**

*Métodos de análisis de estabilidad de taludes*

<b>Método de análisis determinista</b>	<b>Método de análisis probabilístico</b>
a) Elaboración del levantamiento topográfico de la zona en estudio, identificar en planta las secciones a realizar el estudio.	a) El análisis probabilístico comienza en base al modelo determinista creado para el análisis de estabilidad.
b) Elaboración de las secciones transversales del talud a realizar el modelo de análisis de estabilidad.	b) Seleccionar todas las variables y parámetros de entrada y distribuirlos en funciones de probabilidad para obtener resultados en forma probabilística. Los parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, pasan por procesos de determinación del valor medio, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y coeficiente de variación.
c) Elaboración del modelo geotécnico con el fin de conocer los parámetros que influyen en los análisis de estabilidad. En esta etapa se debe determinar los parámetros de resistencia del suelo, tales como: ángulo de fricción y cohesión.	c) Luego de realizado el proceso de distribución de cada variable, se procede a realizar el proceso de simulación Monte Carlo en base al modelo determinista elaborado.
d) Elaboración del modelo hidrológico con el fin de conocer los cambios en el régimen de las aguas subterráneas, los cuales actúan como detonadores a los movimientos en los taludes y estos se encuentran generalmente, relacionados con las lluvias y la hidrología superficial.	d) Se obtiene la distribución de salida en forma probabilística, para la aplicación a los análisis de estabilidad de taludes, los resultados que se obtienen con respecto al factor de seguridad son los siguientes: Factor de seguridad medio (FS), probabilidad de falla e índice de confiabilidad.
e) Realizar el análisis de estabilidad mediante el método de equilibrio límite sobre el modelo geotécnico elaborado para de esta manera determinar el FS determinista del talud.	

Nota: Adaptado de (Torres, 2007).

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas empleadas fueron:

**Observación.** Se visualizó el talud Peña de Los Loros, para definir la superficie de falla, estructuras geológicas, presencia de nivel freático, etc.

**Levantamiento topográfico.** Se determinó los puntos geográficos del área de influencia del talud Peña de los Loros, para definir las secciones transversales.

**Estudio geotécnico.** Se realizó la exploración y análisis de mecánica de suelos, para definir las propiedades físico-mecánicas del suelo que compone el talud.

- NTP 339.128 Granulometría de suelos (INACAL, 2019)
- NTP 339.129 Límites de plasticidad de suelos (INACAL, 2019)
- NTP 339.131 Peso específico del suelo (INACAL, 2019)
- NTP 339.171 Corte directo de suelos (INACAL, 2017)

**Análisis de estabilidad.** Se efectuó el análisis estático, dinámico y de infiltración del talud Peña de Los Loros, mediante el método de análisis determinístico y probabilístico.

**Comparación.** Se contrastaron los datos obtenidos del análisis del talud, para determinar la variación de los factores de seguridad y su cumplimiento con la norma CE.020 del (MVCS, 2018).

##### **4.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

**Cuaderno de campo.** Ha permitido registrar todos los datos observados, a fin de que sirvan de apoyo para el análisis del talud.

**Secciones topográficas.** Son el medio en que se presentan los datos del levantamiento topográfico y representan las 18 secciones del perfil de talud.

**Informe geotécnico.** Son aquellos formatos de mecánica de suelos donde se muestran los resultados de los ensayos físico-mecánicos del suelo, tales como: análisis granulométrico, límites de plasticidad, peso específico, corte directo.

**Modelo Slide 5.0.** Es el modelo digital en el que se presenta el análisis del talud, por el método determinístico Taylor y probabilístico de Monte Carlo.

**Matriz de comparación.** Representa el resumen de los resultados del análisis de estabilidad del talud, donde se muestra la comparación, de los factores de seguridad, obtenidos en distintos escenarios (estático, con infiltración, dinámico y dinámico con infiltración) con los métodos de análisis determinístico Taylor y probabilístico de Monte Carlo.

**Tabla 14.**

*Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de los datos de cada variable*

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Variable independiente Factores del talud	Observación en campo al talud	Observación	Cuaderno de campo
	Estudio topográfico	Levantamiento topográfico	Secciones topográficas
	Ensayos de laboratorio GSE	Estudio geotécnico	Informe geotécnico
Variable dependiente Riesgo de deslizamiento de taludes	Resultados del modelamiento determinístico	Análisis de estabilidad determinístico	Modelo Slide 5.0 determinístico
	Resultados del modelamiento probabilístico	Análisis de estabilidad probabilístico	Modelo Slide 5.0 probabilístico
	Factores de seguridad estático y dinámico	Comparación	Matriz de comparación

#### 4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

Se han utilizado técnicas computacionales, que abarcaron el uso de los softwares computacionales Civil 3D 2018 (para plantear las secciones topográficas), AutoCAD 2018 (para mostrar los perfiles del talud), Microsoft Excel 2016 (para

procesar los resultados del estudio de mecánica de suelos), Slide 5.0 (para el análisis de estabilidad de taludes), hidroesta (para determinar la precipitación máxima de la estación meteorológica Cochabamba) y Minitab 19 (para realizar el análisis ANOVA del estudio).

#### ***4.5.1. Procesamiento de análisis por el método determinístico de Taylor***

Para el análisis de estabilidad basándose en la metodología de la serie de Taylor usando el método de Bishop Simplificado, se ha seguido los siguientes pasos:

##### **Análisis estático**

Para el análisis estático, se exporta el talud desde AutoCAD en formato DXF al programa Slide 5.0, se define las propiedades de los materiales en “Properties/Define materials” (Fig. 28), se genera la grilla de la superficie de potencial falla en “Surfaces/auto grid” (Fig. 29), se corre el programa en “Analysis /Compute”, luego en “Analysis /Interpret” se ubica el factor de seguridad estático.

##### **Análisis estático con infiltración**

El análisis de infiltración se realiza con elementos finitos en “Project Settings / Groundwater / Steady State FEA”, se discretiza el modelo en “Discretize and mesh”, se ingresa la condición de borde (Fig. 30), sea por infiltración o recarga por precipitación (Se usó las precipitaciones de la estación de Cochabamba para un periodo de retorno de 50 años, equivalente a 104.97 mm/día o 0.10 m/día). Se ingresa la permeabilidad hidráulica del suelo en “Properties Hydraulic\_ Properties”, según la FAO (2021) para limo de alta plasticidad (MH)  $K_s$  igual a  $10^{-5}$  y para arena (S)  $k_s$  igual a  $10^{-3}$ . Luego se corre el programa y se obtiene el factor de seguridad del talud sometido a infiltración por precipitaciones pluviales.

### **Análisis dinámico**

Para el análisis pseudo estático o dinámico se utiliza la aceleración máxima horizontal de diseño (Valiente, et al., 2016)

$$A_{max_d} = PGA \times S \dots\dots\dots(21)$$

En la ecuación 21, la aceleración de diseño ( $A_{max_d}$ ) es igual a la multiplicación del factor de zona (PGA) que en este caso equivale a 0.35 debido a que el distrito de Cochabamba se ubica en la zona sísmica 3 según la norma E.030 (MVCS, 2018), y el factor de amplificación sísmica del suelo (S) es igual a 1.15 debido a que el suelo del área de estudio es un suelo intermedio codificado como S2. Por tanto, la aceleración de diseño  $A_{max_d}$  equivale a 0.4025.

$$Ad = \frac{1}{2} \times A_{max_d} \dots\dots\dots(22)$$

En la ecuación 22, se toma en cuenta la recomendación del AASHTO y FHWA descritas por Valiente, et al. (2016), que sugieren tomar un factor sísmico para el análisis pseudo estático de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{3}$  del valor de  $A_{max_d}$ , por lo que el coeficiente pseudo estático ( $Ad$ ) equivale a 0.201.

El coeficiente pseudo estático 0.201 es incorporado al modelo en “Loading/Seismic Load” (Fig. 32), luego se corre el programa y se puede observar el factor de seguridad dinámico.

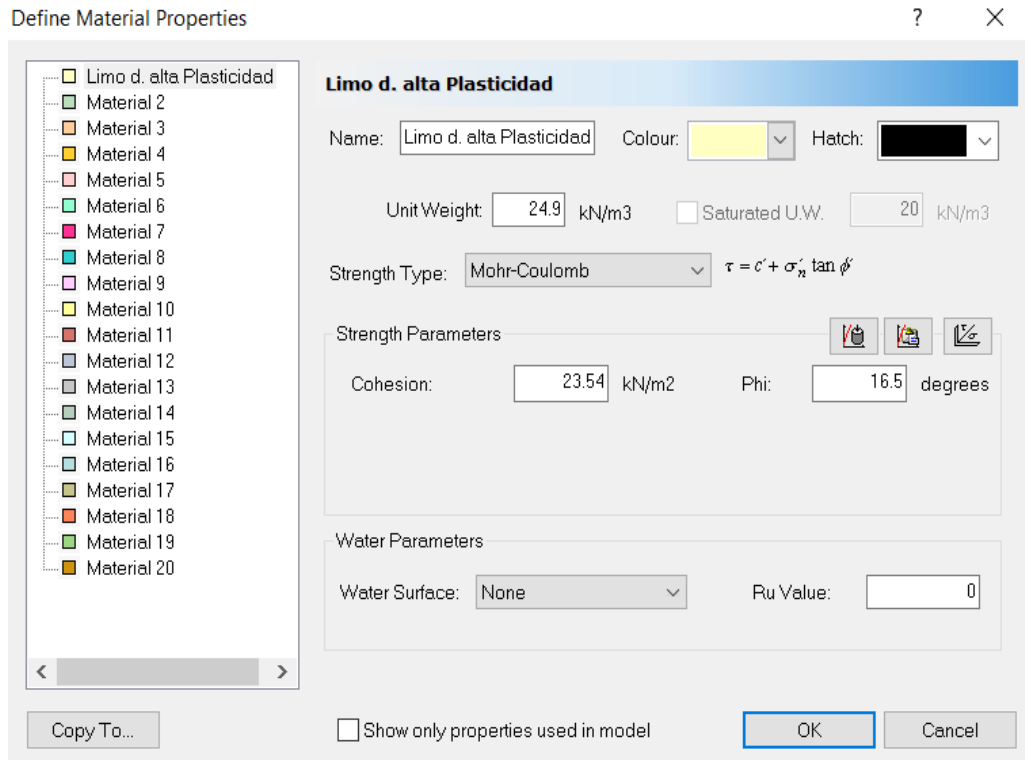
### **Análisis dinámico con infiltración**

Para el análisis dinámico con infiltración, al modelo estático con infiltración se le agrega el coeficiente pseudo estático y se corre el programa, a fin de verificar el factor de seguridad en condiciones críticas.



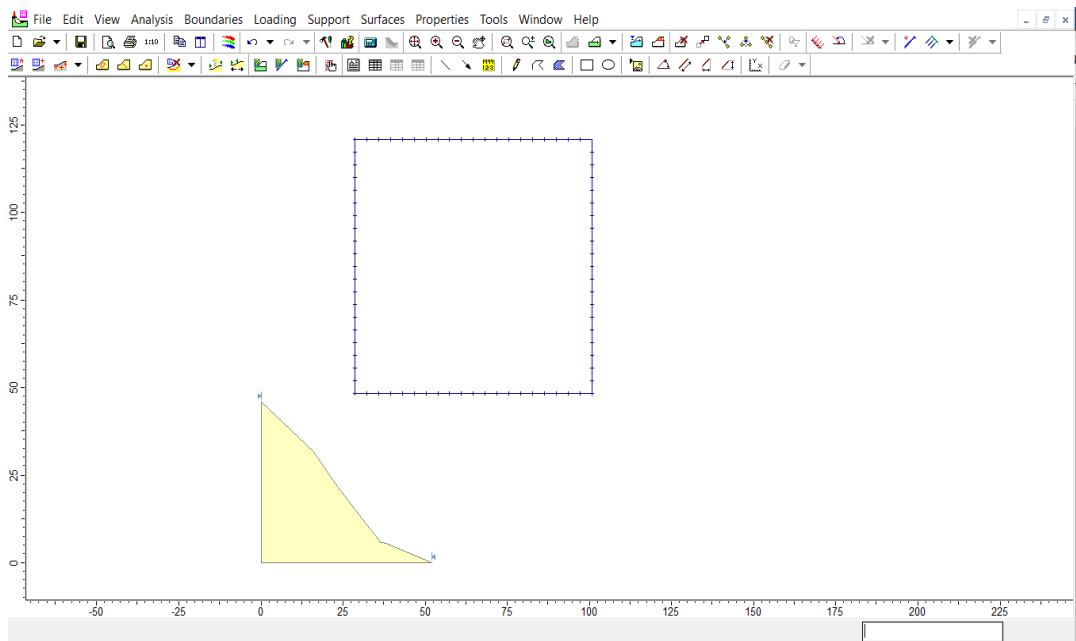
**Figura 28.**

*Definición de propiedades del suelo del talud en el software Slide 5.0*



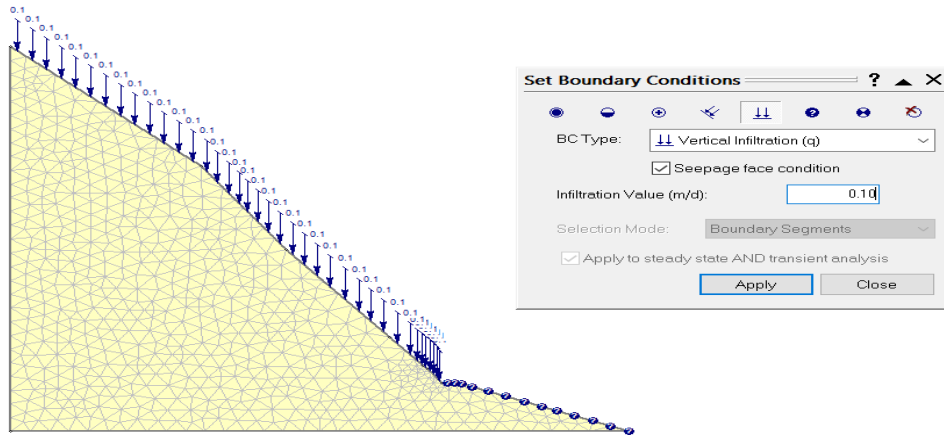
**Figura 29.**

*Grilla sobre la superficie de falla del talud*



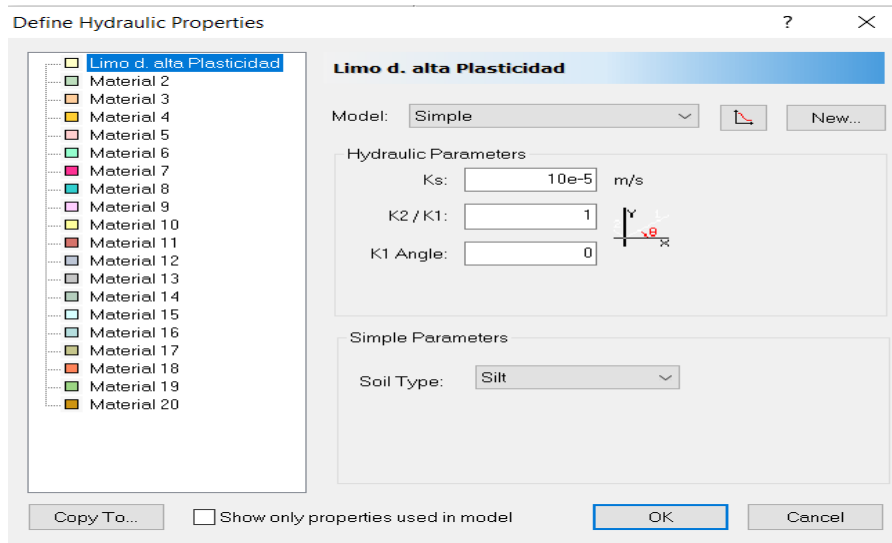
**Figura 30.**

*Condiciones de precipitación al modelo del talud*



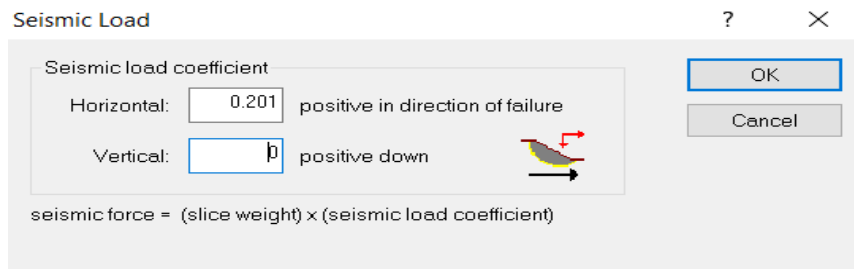
**Figura 31.**

*Permeabilidad hidráulica del suelo del talud*



**Figura 32.**


*Incorporación del sismo al talud*



#### **4.5.2. *Procesamiento de análisis por el método probabilístico de Monte Carlo***

Basándose en el método de Monte Carlo, utilizando el método de Bishop Simplificado, se ha seguido los siguientes pasos:

##### **Análisis estático**

Teniendo como base el modelo determinístico utilizado para el análisis estático, se dan los parámetros del proyecto en “analysis/Project Settings”, se selecciona “Statistics”, se activa “Probabilistic Analysis”, la cantidad de muestras que va a correr el programa, siendo para caso del estudio de 1000, y el tipo de análisis que se va a realizar “Global Minimum”. Luego se definen los parámetros estadístico, tales como, las propiedades del material: cohesión, ángulo de fricción y peso específico del suelo, en “Statistics/Materials” se utiliza la opción añadir “add”, viéndose una serie de tres diálogos, que permiten seleccionar de forma rápida las propiedades del material que se desea definir, en la primera ventana se selecciona el material del talud, en la segunda ventana se selecciona las propiedades del material que se define como variable aleatoria (cohesión, Phi y peso unitario o unit weight en inglés), en la tercera ventana se selecciona la distribución estadística “Normal” y se selecciona finalizar. Se vuelve a la ventana estadísticas del material “Material Statistics”, pero ahora aparecerán las propiedades del material que se seleccionaron como variables aleatorias, la distribución estadística y los parámetros estadísticos, agregando el parámetro de desviación estándar “Std Dev” para cada material, de tal forma, que el mínimo relativo y el máximo relativo se calculan automáticamente en el  ícono, luego se corre el programa, para obtener como resultados del análisis probabilístico del talud general “Global minimum” el factor de seguridad, factor de seguridad medio, probabilidad de falla, índice de confiabilidad “normal” e índice de confiabilidad “log. Normal”.

Así mismo, se pueden observar los gráficos de histogramas, mismos que permiten visualizar la distribución de muestras generadas para las variables de los datos de entrada y la distribución de factores de seguridad calculados para el análisis probabilístico. Se pueden observar histogramas, grafica acumulativa del factor de seguridad y gráficos de dispersión de cualquiera de las dos variables aleatorias una contra la otra.

### **Análisis estático con infiltración**

El análisis de infiltración se realiza con elementos finitos en “Project Settings / Groundwater / Steady State FEA”, se discretiza el modelo en “Discretize and mesh”, se ingresa la condición de borde, sea por infiltración o recarga por precipitación (Se trabajó con las precipitaciones de la estación de Cochabamba para un periodo de retorno de 50 años, equivalente a 104.97 mm/día o 0.10 m/día). Se ingresa la permeabilidad hidráulica del suelo en “Properties Hydraulic Properties”, según la FAO (2021) para limo de alta plasticidad (MH)  $K_s$  igual a  $10^{-5}$  y para arena (S)  $k_s$  igual a  $10^{-3}$ . Luego se corre el programa y se obtiene el factor de seguridad del talud sometido a infiltración por precipitaciones pluviales.

### **Análisis dinámico**

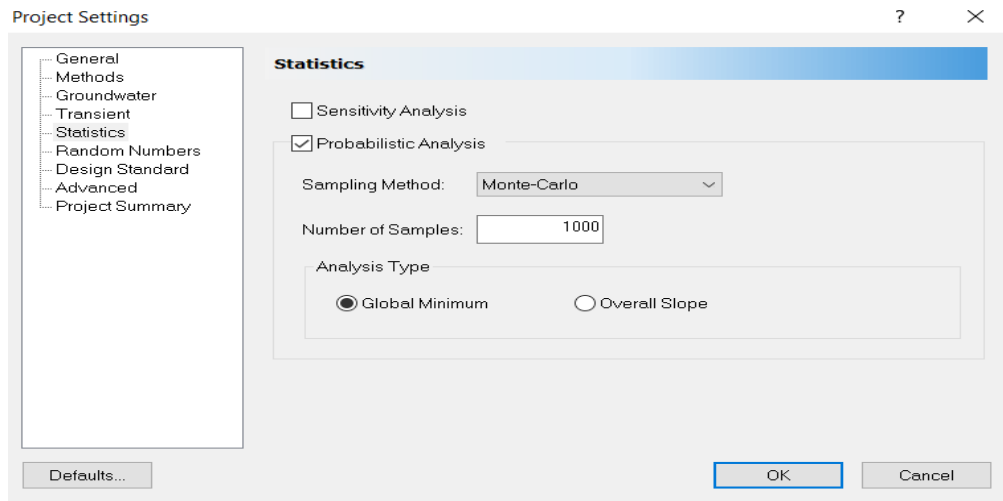
Para el análisis pseudo estático o dinámico se tomó en cuenta la recomendación del AASHTO y FHWA descritas por Valiente, et al. (2016), que sugieren tomar un factor sísmico para el análisis pseudo estático de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{3}$  del valor de la aceleración de diseño, por lo que el coeficiente pseudo estático ( $A_d$ ) equivale a 0.201. El coeficiente pseudo estático es incorporado al modelo en “Loading/Seismic Load”, luego se corre el programa y se puede observar el factor de seguridad dinámico.

## Análisis dinámico con infiltración

Para el análisis dinámico con infiltración, al modelo estático con infiltración se le agrega el coeficiente pseudo estático y se corre el programa, a fin de verificar el factor de seguridad en condiciones críticas.

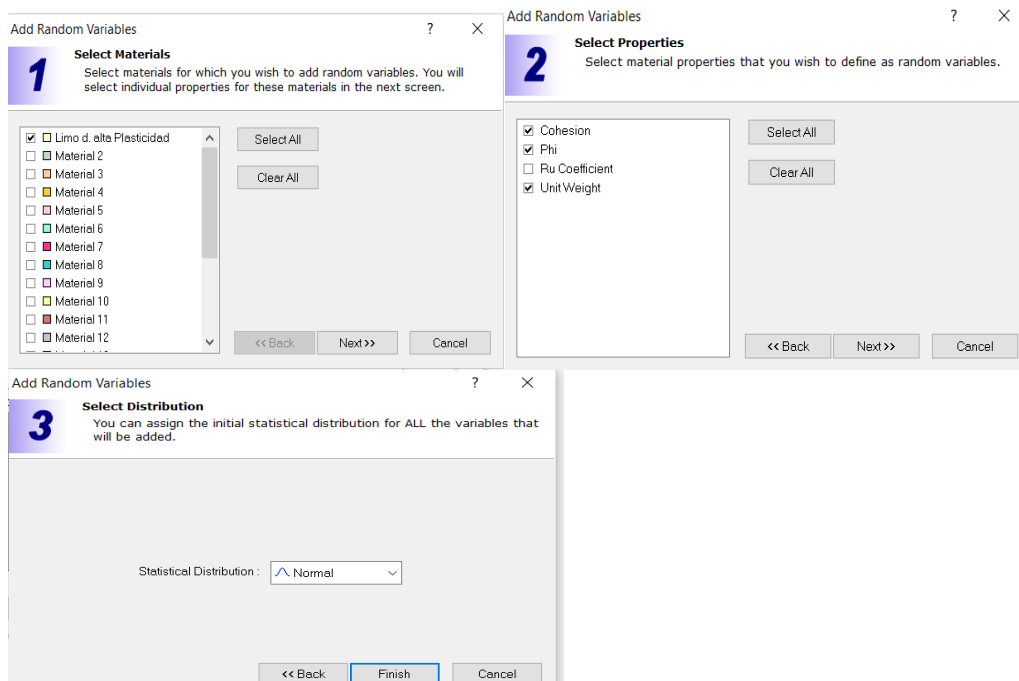
**Figura 33.**

*Condiciones de análisis probabilístico del talud*



**Figura 34.**

*Parámetros estadísticos de los materiales del talud*



**Figura 35.**

*Estadísticas del material del talud*

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Limo d. alta Plasticidad	Cohesion	Normal	23.54	0	0	0
2	Limo d. alta Plasticidad	Phi	Normal	16.5	0	0	0
3	Limo d. alta Plasticidad	Unit Weight	Normal	24.9	0	0	0

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Limo d. alta Plasticidad	Cohesion	Normal	23.54	1	0	0
2	Limo d. alta Plasticidad	Phi	Normal	16.5	1	0	0
3	Limo d. alta Plasticidad	Unit Weight	Normal	24.9	1	0	0

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Limo d. alta Plasticidad	Cohesion	Normal	23.54	1	3	3
2	Limo d. alta Plasticidad	Phi	Normal	16.5	1	3	3
3	Limo d. alta Plasticidad	Unit Weight	Normal	24.9	1	3	3

**Figura 36.**

*Configuración para visualizar el histograma y gráficos de dispersión del factor de seguridad del talud*

## 4.6. Matriz de consistencia metodológica

Anexo 1.

## CAPÍTULO V.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

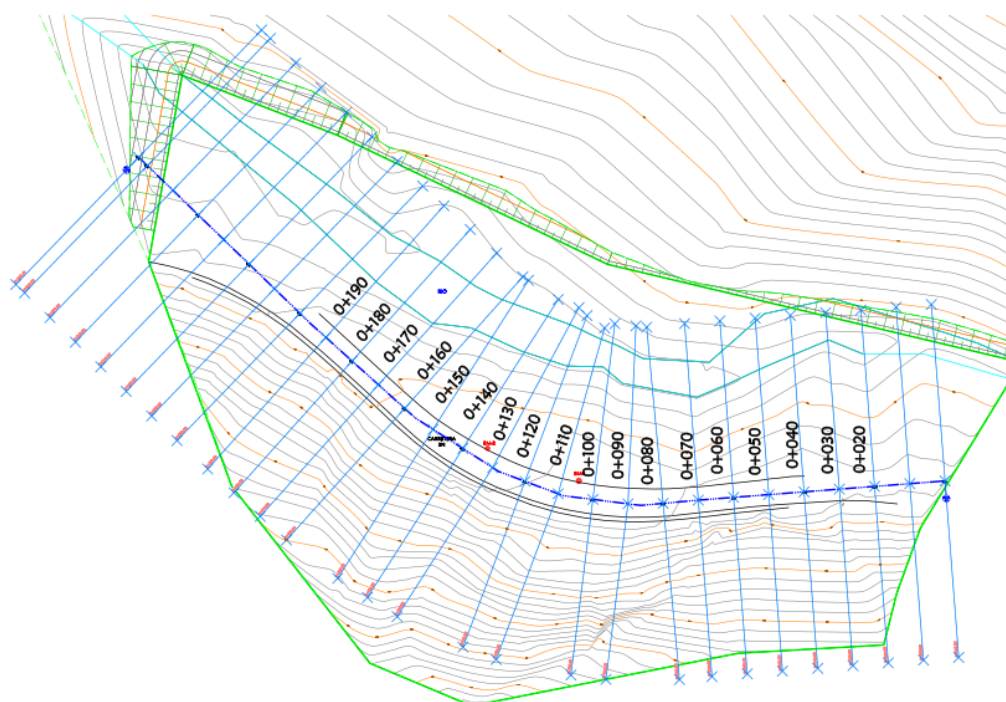
#### 5.1. Presentación de resultados

##### 5.1.1. *Propiedades físico-mecánicas del suelo del talud*

En el talud Peña de Los Loros, en el tramo Lajas – Cochabamba, en el km 127.50 de la carretera 3N, se realizó el levantamiento topográfico y se trazó el talud del km 0+000 al km 0+200, tomando como muestra de análisis del km 0+020 al km 0+190 (Fig. 37), dividiendo cada 10 metros de distancia en secciones. Luego se excavaron tres calicatas para una extensión de 1 ha de talud en planta (Fig. 25), mismas que según el polígono de Thiessen de división (Fig. 26), la calicata 3, abarca las secciones 0+020 a 0+060 km; la calicata 1 abarca de la sección 0+070 a 0+130 km y la calicata 2 abarca de la sección 0+140 a 0+190 km, para el modelamiento del talud.

**Figura 37.**

*División de secciones del talud Peña de Los Loro en el tramo Lajas – Cochabamba*

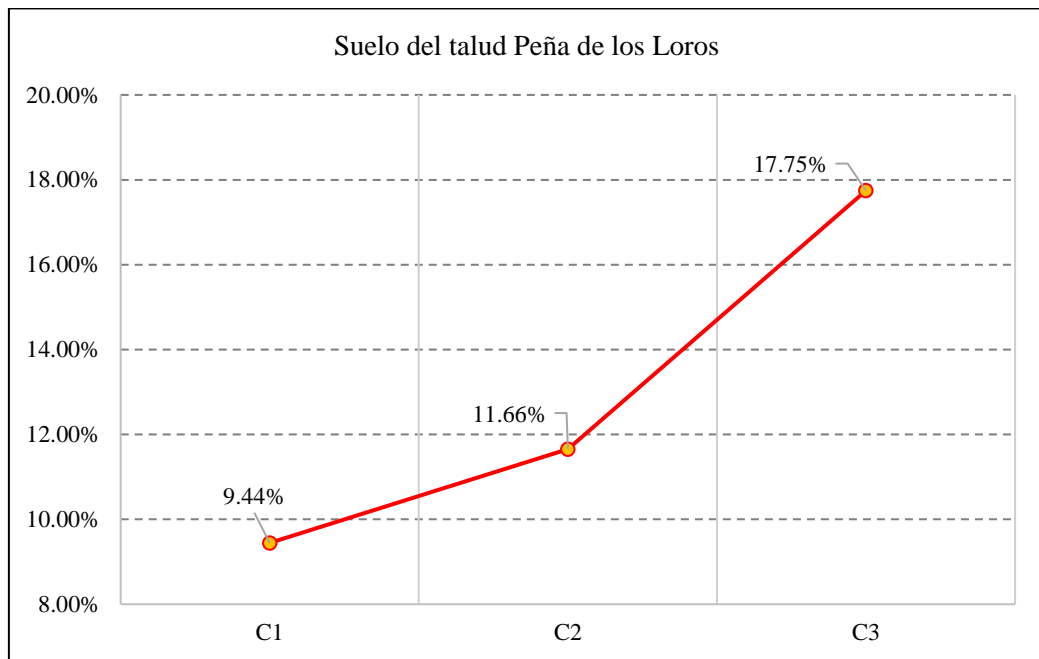


La humedad natural del suelo del talud Peña de los Loros se incrementa progresivamente para cada calicata, llegando a alcanzar valores de 9.44%, 11.6% y 17.75% para la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 respectivamente. Según el análisis granulométrico del suelo de la calicata 1, el peso del material menor a 4.75 mm (Tamiz N° 4) es 95.8%, lo que significa una cantidad de 4.2% de gravas, el porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 (0.075 mm) es 26.70% por tanto son suelos finos, y el 69.10 son suelos arenosos; mientras que en la calicata 2, el material gravoso es 17.30%, el suelo fino es 65.50% y el suelo arenoso es 17.20%; valores similares a los de la calicata 3, donde el suelo gravoso es 6.40%, el suelo fino es 78.10% y el suelo arenoso es 15.5%; por lo que se observa el suelo de la calicata 1, presenta una gradación distinta a las de la calicata 2 y calicata 3, en cambio, el suelo de la calicata 2 y calicata 3 presenta una curva granulometría similar con un gráfico paralelo. Las curvas de fluidez del suelo fino permiten determinar el contenido de humedad a los 25 golpes, donde se observa que el límite líquido va de menor a mayor para el suelo de la calicata 1, calicata 3 y calicata 2, con valores de 50.50%, 52.30% y 53.80% respectivamente, así mismo el índice de plasticidad para la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 es 18.88%, 21.38% y 21.97% respectivamente, lo que muestra mayor plasticidad en las calicatas 2 y 3, suelo con mayor presencia de finos. Al integrar los datos de gradación y límites de consistencia se ha determinado la clasificación de los suelos del talud Peña de los Loros; la calicata 1 según la clasificación SUCS es un suelo areno limoso (SM), perteneciente al grupo A-2-7 (1), según la clasificación AASHTO; en cambio, la calicata 2 y calicata 3 según la clasificación SUCS son suelos limosos de alta plasticidad (MH), integrados según AASHTO en los grupos A-7-5 (13) y A-7-5 (15) respectivamente.



**Tabla 15.***Humedad del suelo del talud Peña de los Loros*

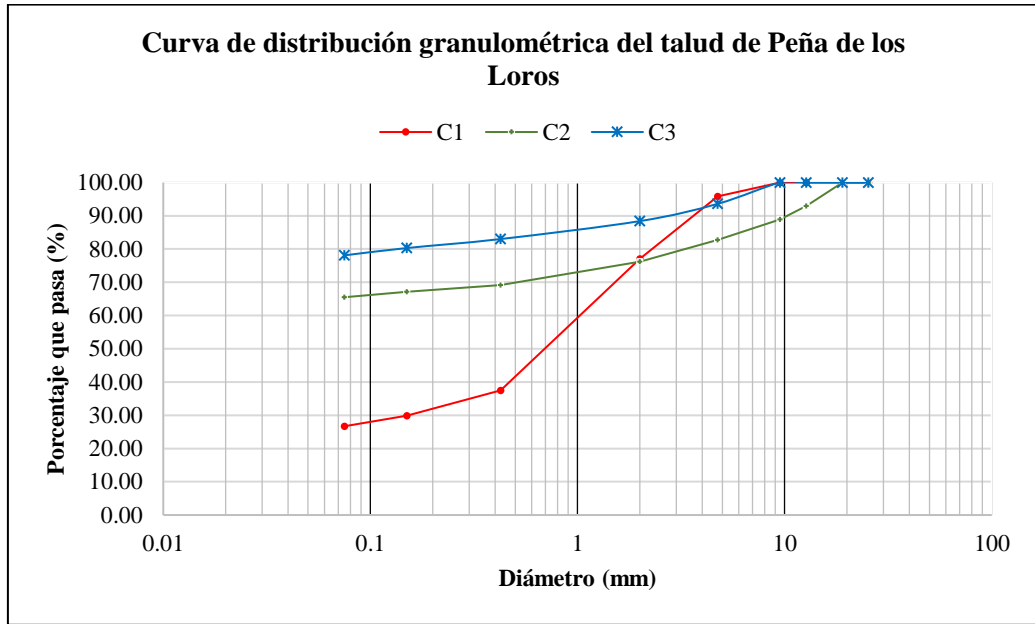
Contenido de humedad del suelo del talud Peña de los Loros	Calicata		
	C1	C2	C3
Suelo húmedo	2700	2500	2800
Peso del agua	233	261	422
Peso de suelo seco	2467	2239	2378
<b>Contenido de humedad</b>	9.44%	11.66%	17.75%

**Figura 38.***Humedad del suelo del talud Peña de los Loros***Tabla 16.***Análisis granulométrico del suelo del talud Peña de los Loros*

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa		
	C1	C2	C3
25.4	100.00	100.00	100.00
19.00	100.00	100.00	100.00
12.7	100.00	92.90	100.00
9.50	100.00	88.90	100.00
4.75	95.80	82.70	93.60
2.00	77.10	76.20	88.40
0.425	37.50	69.20	83.00
0.15	29.90	67.10	80.30
0.075	26.70	65.50	78.10

**Figura 39.**

*Curvas de distribución granulométrica del suelo del talud*



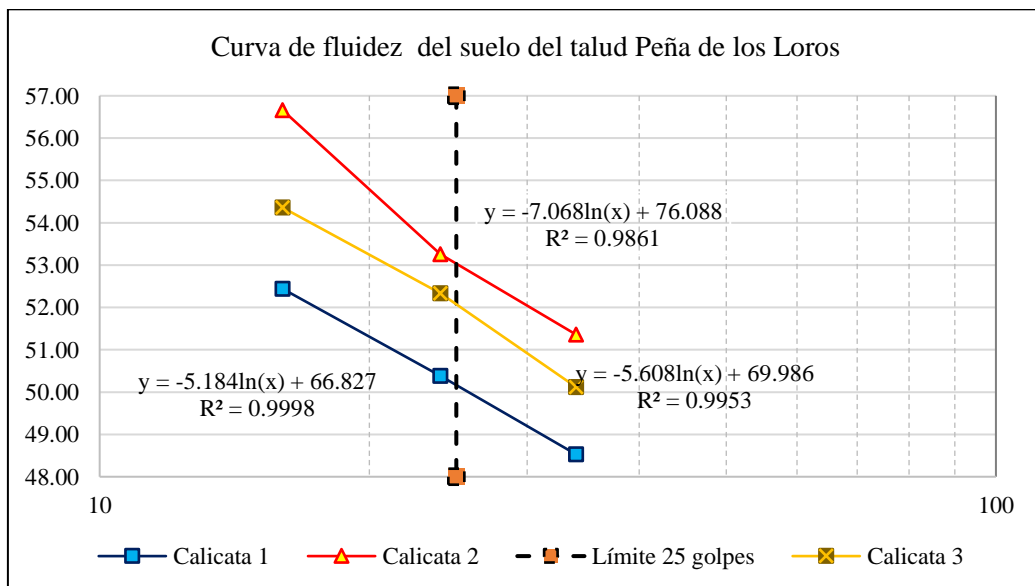
**Tabla 17.**

*Límites de consistencia, talud Peña de los Loros*

Límites de consistencia	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
LL (%)	50.50	53.80	52.30
LP (%)	31.62	32.43	30.34
IP (%)	18.88	21.38	21.97

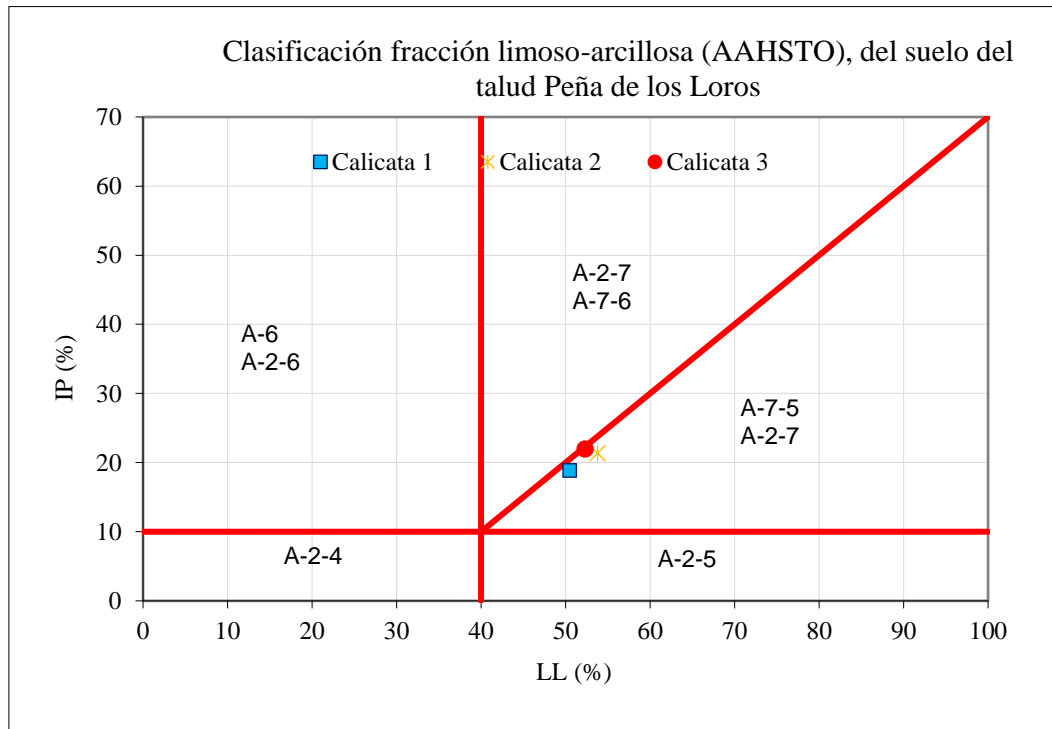
**Figura 40.**

*Curvas de fluidez del suelo del talud Peña de los Loros*



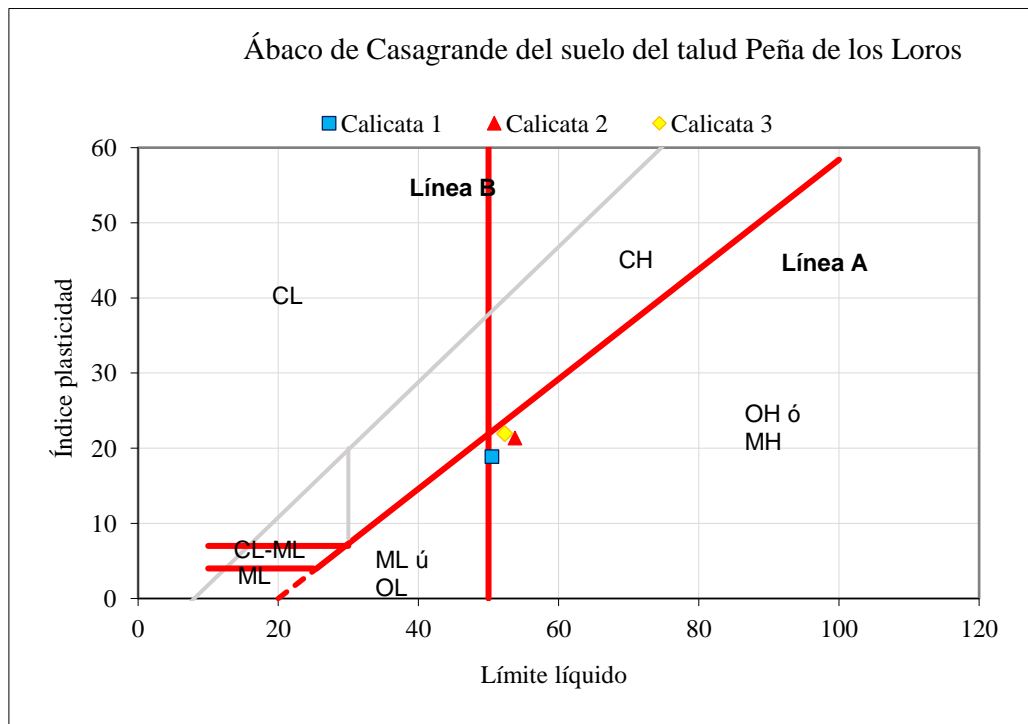
**Figura 41.**

*Clasificación AASHTO del suelo del talud Peña de los Loros*



**Figura 42.**

*Ábaco de Casagrande de la fracción del suelo fino del talud Peña de los Loros*



Los parámetros de importancia del suelo para el análisis del talud son el peso específico o gravedad específica, y las propiedades mecánicas cohesión y fricción. El peso específico del suelo para la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 es 2.55 g/cm<sup>3</sup>, 2.57 g/cm<sup>3</sup> y 2.54 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, estos valores para el modelamiento del talud tienen que estar en unidades de kN/m<sup>3</sup>, siendo así los valores son respectivamente 25.00 kN/m<sup>3</sup>, 25.20 kN/m<sup>3</sup> y 24.90 kN/m<sup>3</sup>. Para determinar las propiedades mecánicas del suelo se ha realizado el ensayo de corte directo considerando que no hay nivel freático en el suelo, siendo así en la Fig. 43, se muestran las líneas de resistencia al corte del suelo del talud Peña de los Loros, donde el inicio de la línea de tendencia es la cohesión del suelo y la pendiente de la ecuación de la recta equivale al ángulo de fricción. La cohesión para el suelo de la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 equivale a 0.26 kg/cm<sup>2</sup>, 0.24 kg/cm<sup>2</sup> y 0.24 kg/cm<sup>2</sup>, pero para el análisis de estabilidad estos valores deben estar en unidades de kN/m<sup>2</sup> ascendiendo a 25.50 kN/m<sup>2</sup>, 23.54 kN/m<sup>2</sup> y 23.54 kN/m<sup>2</sup>. El ángulo de fricción interna de la calicata 1, calicata 2 y calicata 3 son 18°, 16.5° y 16.5°, por lo que se evidencia que la calicata 2 y 3 presentan las mismas características mecánicas así mismo tienen el mismo tipo de suelo limoso de alta plasticidad, en cambio la calicata 1 tiene propiedades mecánicas distintas, debido a que es un suelo areno limoso.

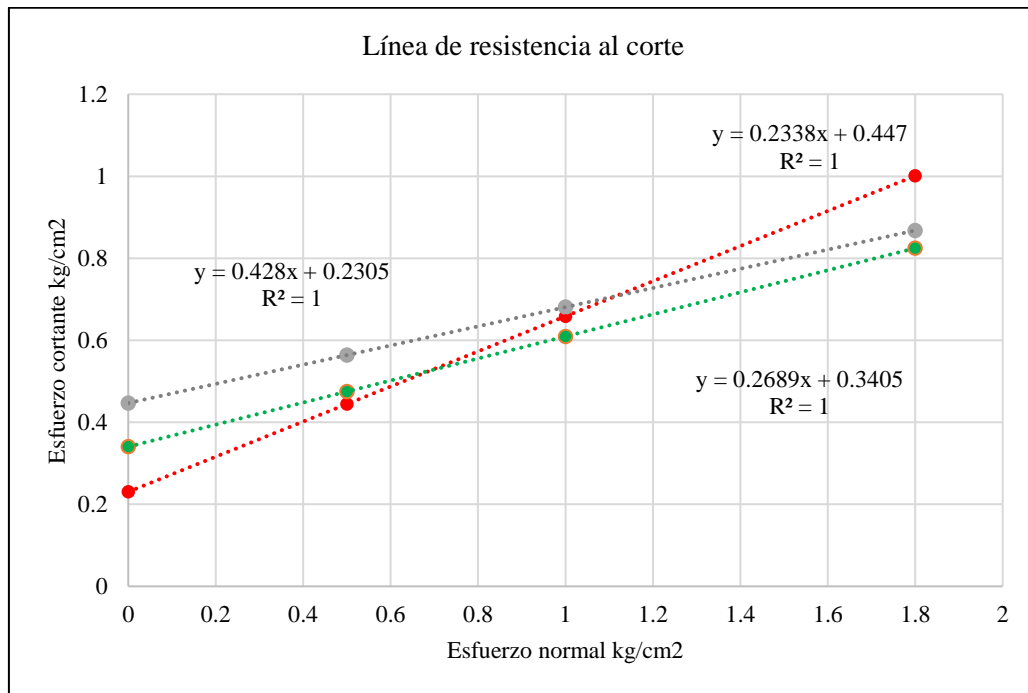
**Tabla 18.**

*Gravedad específica de los sólidos del suelo del talud Peña de los Loros*

Datos	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Masa de suelo seco	110	110	110
Masa de fiola + agua destilada	652	651	651.575
Masa de fiolo + agua destilada + suelo	718.95	718.2	718.325
Temperatura del agua	23.8	23.8	23.8
Coeficiente de corrección a 20°C	0.99914	0.99914	0.99914
Peso específico de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	2.555	2.57	2.54
Peso específico de sólidos (KN/m <sup>3</sup> )	25.00	25.20	24.90

**Figura 43.**

*Línea de resistencia al corte del suelo del talud Peña de los Loros*



**Tabla 19.**

*Propiedades mecánicas del suelo del talud Peña de los Loros*

Propiedades mecánicas	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	0.26	0.24	0.24
Cohesión (kN/m <sup>2</sup> )	25.50	23.54	23.54
Ángulo de fricción interna	18	16.5	16.5

### **5.1.2. Análisis de estabilidad de taludes por la metodología Taylor**

El análisis de estabilidad de taludes es un proceso en el que se evalúan las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes para determinar el factor de seguridad (F.S.) estático, dinámico y/o por infiltración frente a precipitaciones pluviales. Para aplicar la metodología determinística de Taylor, por el método de Bishop simplificado en el tramo de 180 metros del talud Peña de los Loros, utilizando el software Slide 5.0, se ha tomado en cuenta los resultados de mecánica de suelos de la calicata 1, 2 y 3, a las cuales por su ubicación en la distribución en planta (Fig. 26) según el polígono de Thiessen le corresponde las secciones de 0+020 a 0+060 (calicata 3), 0+070 a 0+130 (calicata 1) y 0+140 a 0+190 (calicata 2), donde la calicata 3, suelo limoso de alta plasticidad tiene valores de cohesión, ángulo de fricción interna, peso específico y permeabilidad hidráulica del suelo de 23.54 kN/m<sup>2</sup>, 16.5°, 24.9 kN/m<sup>3</sup> y 10<sup>-5</sup>, respectivamente; la calicata 1 suelo arenoso limoso tiene 25.50 kN/m<sup>2</sup> de cohesión, 18° de ángulo de fricción, 25 kN/m<sup>3</sup> de peso específico y un coeficiente de permeabilidad hidráulico de 10<sup>-3</sup>; la calicata 2 suelo limoso de alta plasticidad tiene las mismas características mecánicas (cohesión y fricción) que la calicata 3, pero su peso específico difiere puesto que este asciende a 25.20 kN/m<sup>3</sup>. Así mismo, el talud según la norma E.030 (MVCS, 2018) se ubica en la zona sísmica 3, con un factor de zona de 0.35 y un factor de amplificación del sismo para el tipo de suelo S2 equivalente a 1.15; la aceleración de diseño es igual a la multiplicación del factor de zona por el factor de amplificación sísmica, y el factor pseudo estático según las recomendaciones del AASHTO y la FHWA es igual a la mitad de la aceleración de diseño, por tanto, el coeficiente pseudo estático para el análisis dinámico de la estabilidad del talud Peña de los Loros es 0.201. Por último, como precipitación máxima diaria para el

análisis estático y dinámico con infiltración por precipitación pluvial se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Cochabamba, estimando que la precipitación máxima diaria para un Tr de 50 años ascendía a 0.10 m/día.

Por la metodología determinística de Taylor, aplicando el método de Bishop simplificado, para la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.578 y 0.445, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua, son 0.497 y 0.377 respectivamente; para la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.598 y 0.459, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua, son 0.499 y 0.373 respectivamente; para la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.555 y 0.424, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua, son 0.470 y 0.354 respectivamente; para la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.543 y 0.413, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.448 y 0.334 respectivamente; para la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.517 y 0.394, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.418 y 0.312 respectivamente; para la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.565 y 0.434, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.462 y 0.350 respectivamente; para la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.511 y 0.400, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua, son 0.429 y 0.329

respectivamente; para la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.448 y 0.358, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.412 y 0.327 respectivamente; para la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.454 y 0.369, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.427 y 0.337 respectivamente; para la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.559 y 0.436, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.452 y 0.342 respectivamente; para la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.555 y 0.428, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.453 y 0.342 respectivamente; para la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.555 y 0.424, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.440 y 0.329 respectivamente; para la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.566 y 0.428, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.462 y 0.340 respectivamente; para la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.583 y 0.445, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.458 y 0.347 respectivamente; para la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.546 y 0.419, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.454 y 0.345 respectivamente; para la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, el factor de

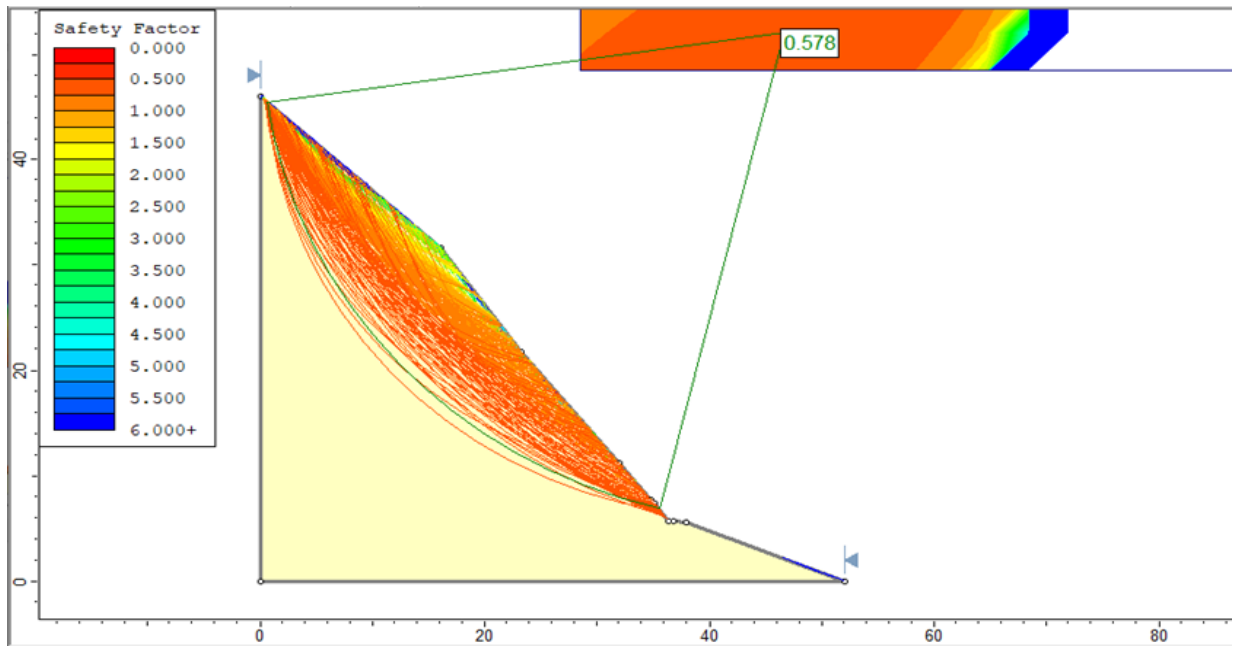


seguridad estático y dinámico son 0.580 y 0.440, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.466 y 0.342 respectivamente; para la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.636 y 0.477, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.501 y 0.365 respectivamente; y para la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, el factor de seguridad estático y dinámico son 0.658 y 0.498, respectivamente, mientras que los F.S., estático y dinámico, con infiltración de agua son 0.525 y 0.388 respectivamente.

Según la metodología determinística de Taylor Los F.S. estáticos para las 18 secciones son mayores que los F.S. dinámicos o pseudo estáticos, debido a que el segundo escenario representa la resistencia del talud frente a la acción sísmica, así mismo los factores de seguridad con infiltración de agua son menores para cada condición estática o dinámica sin lluvia, lo que determina que las precipitaciones pluviales son un factor desencadenante de los deslizamientos de talud en la Peña de los Loros, tramo Chota – Cochabamba de la carretera 3N.

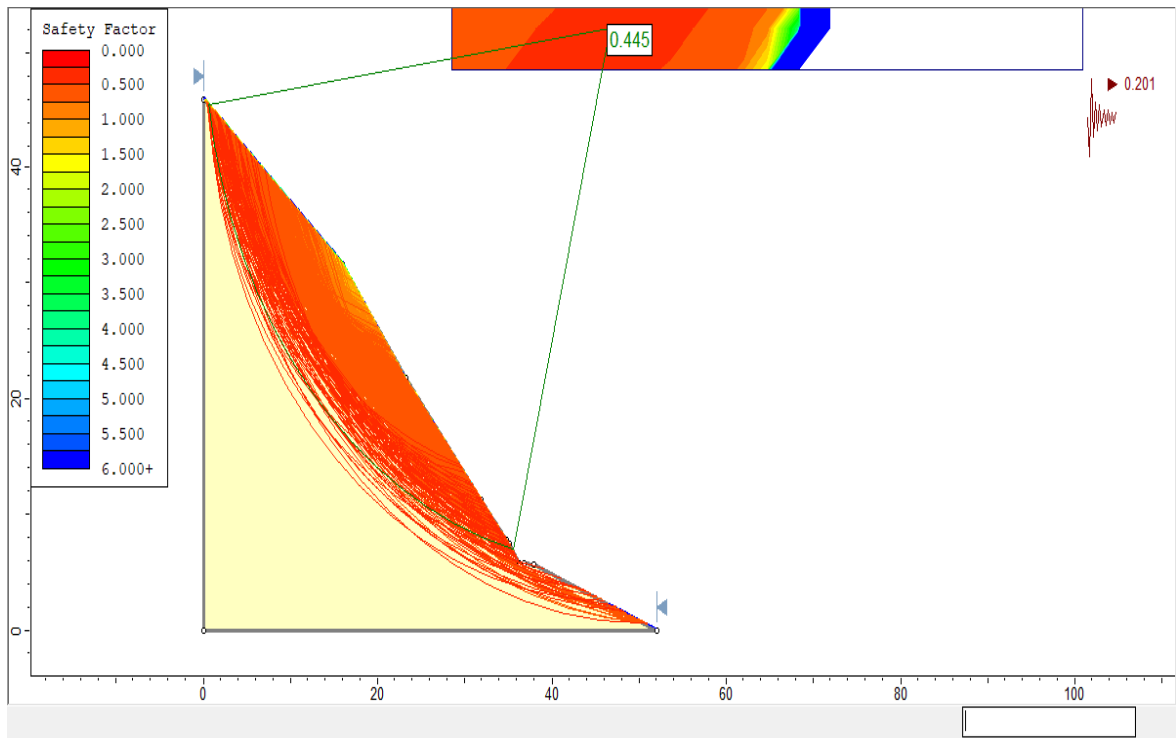
**Figura 44.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



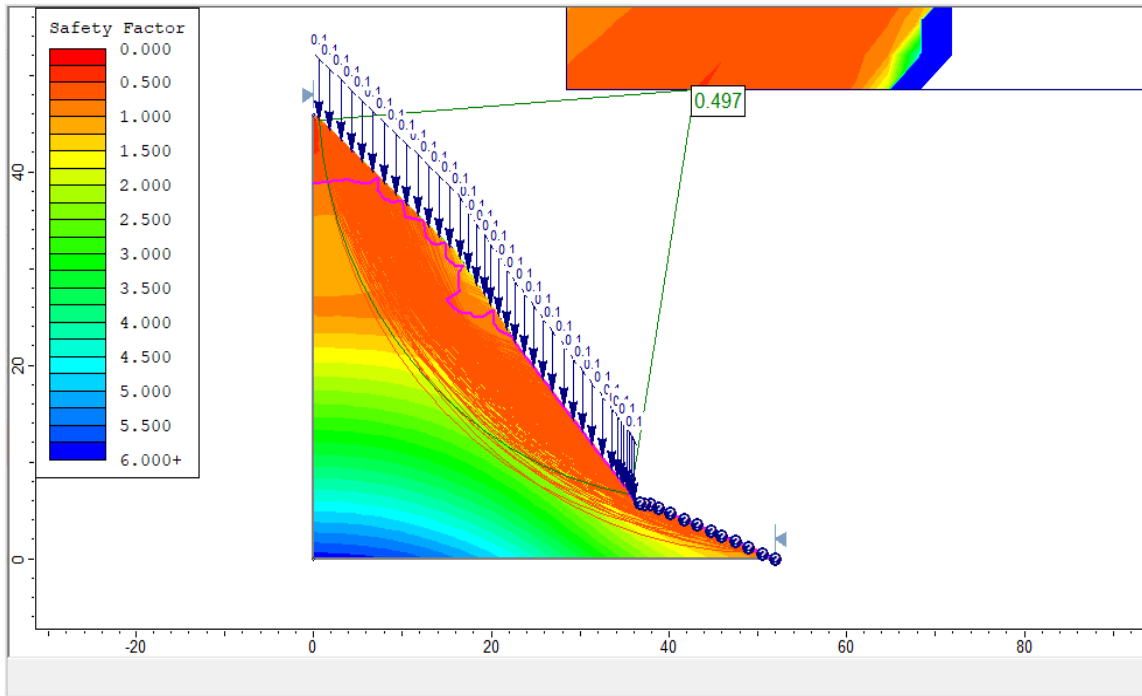
**Figura 45.**

*Factor de seguridad dinámico de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



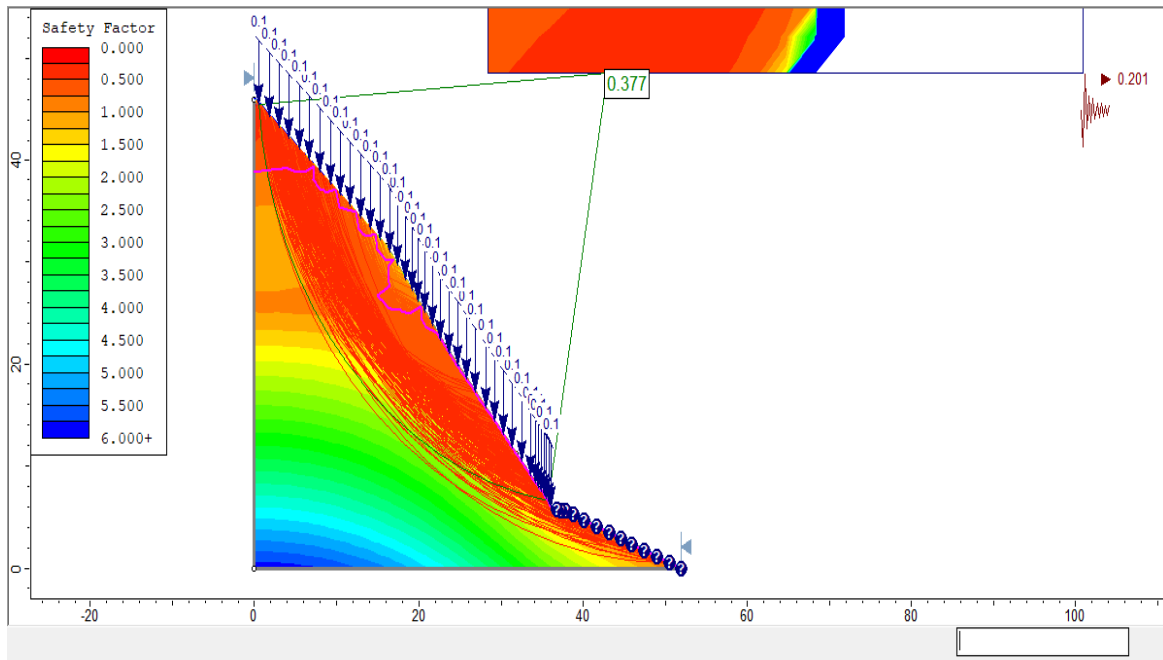
**Figura 46.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



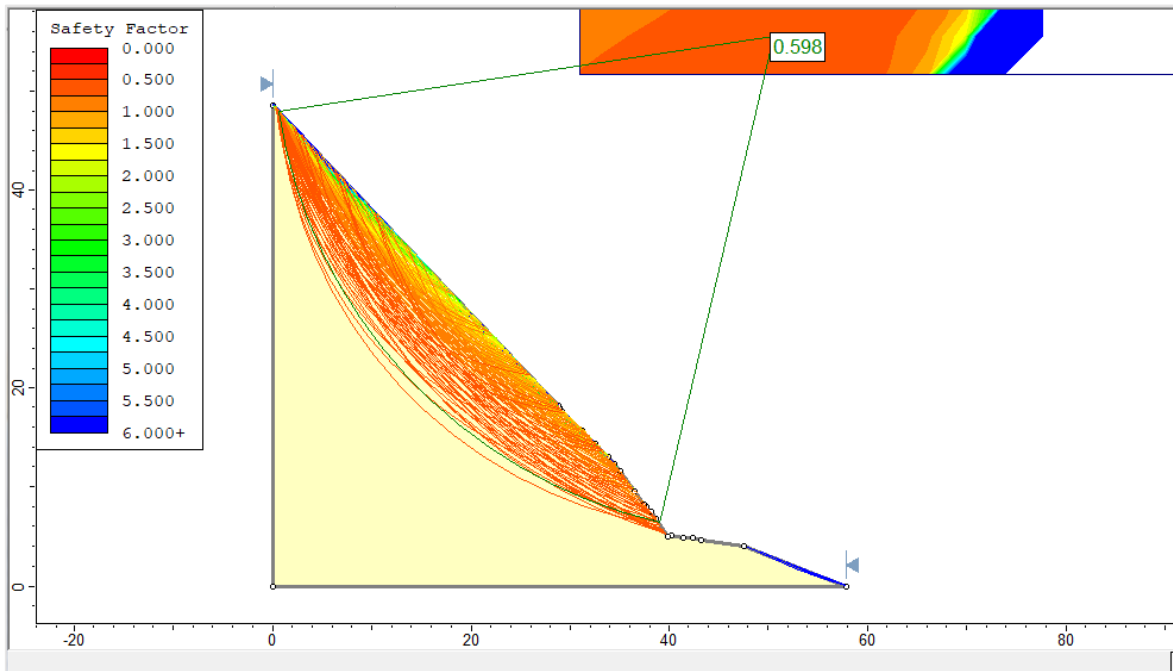
**Figura 47.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



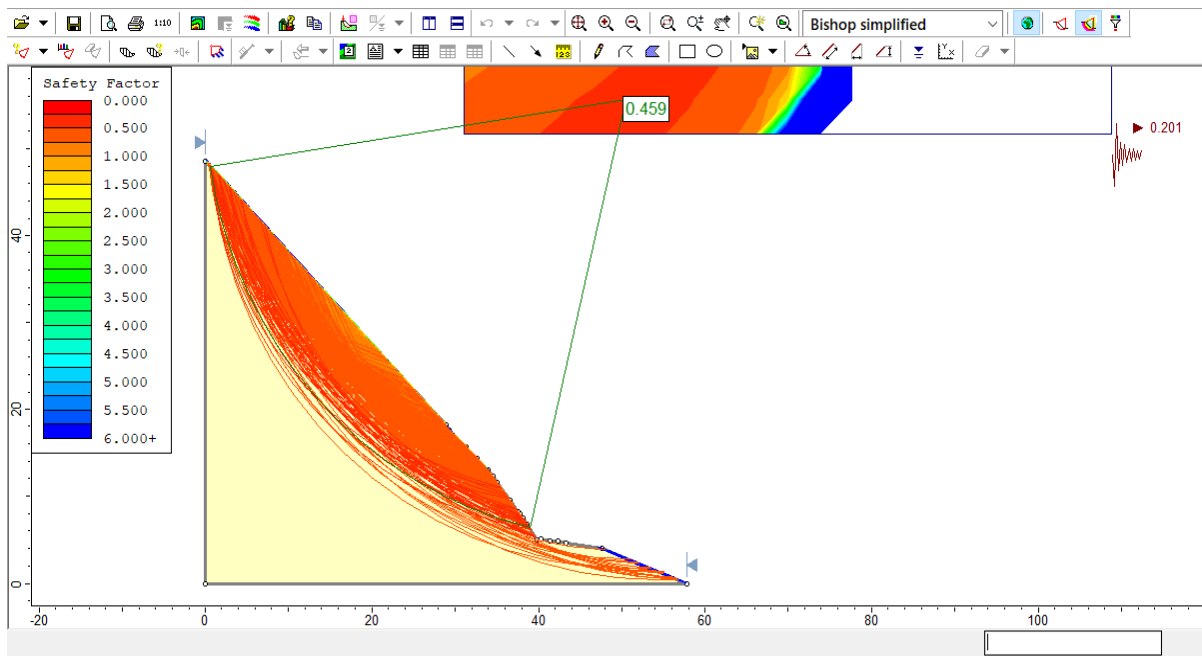
**Figura 48.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



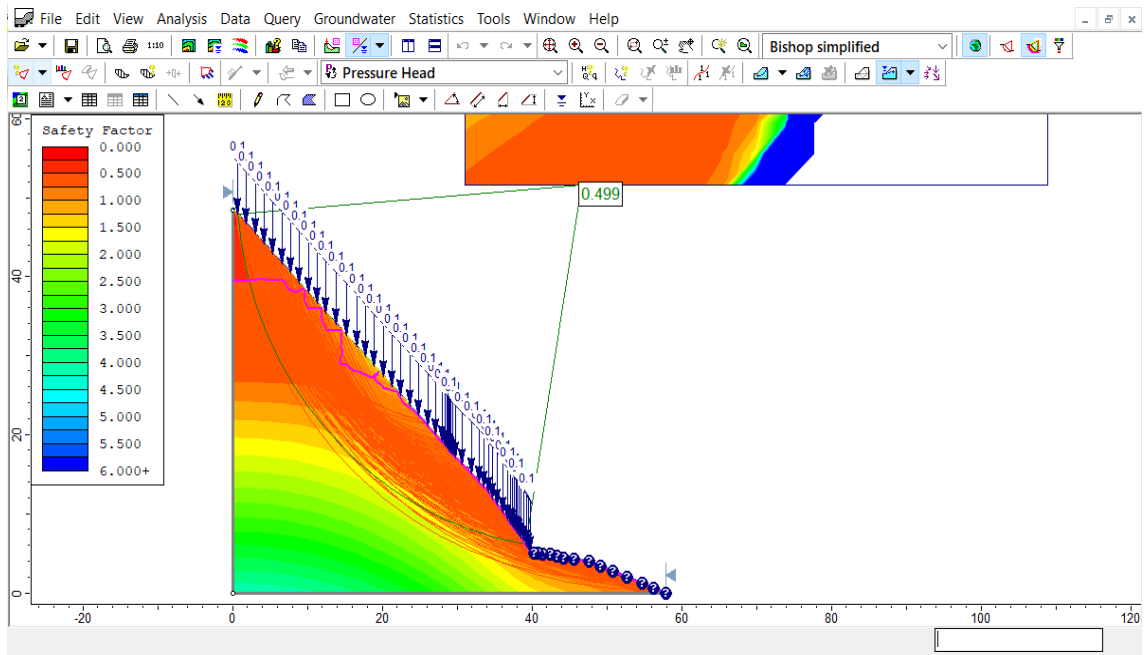
**Figura 49.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



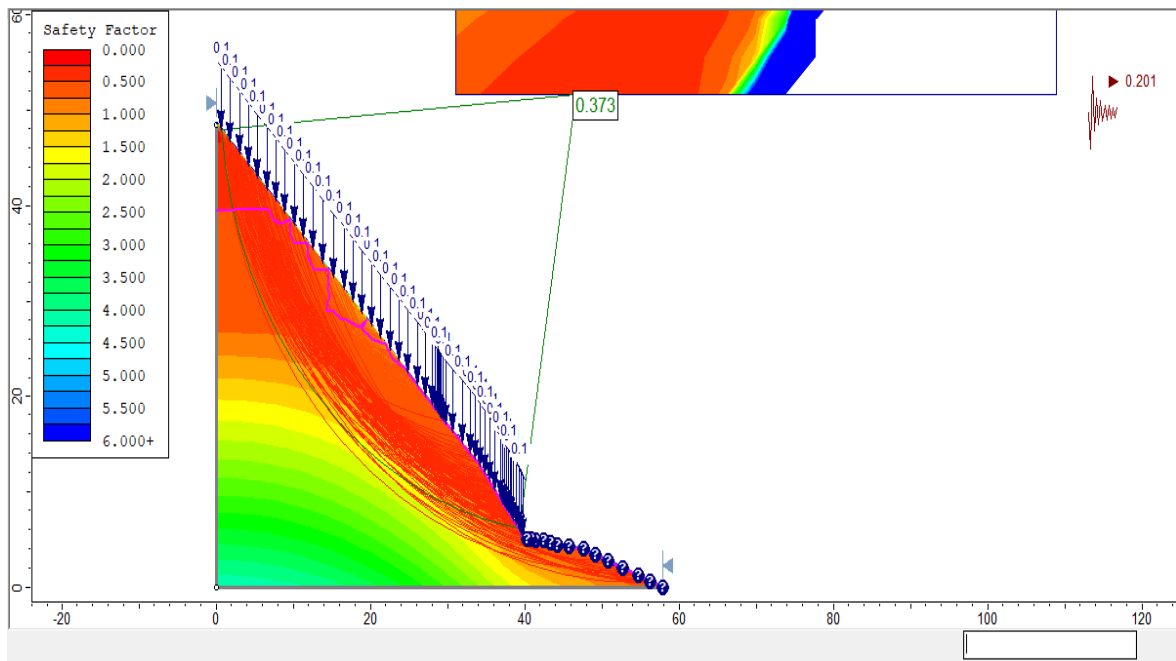
**Figura 50.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



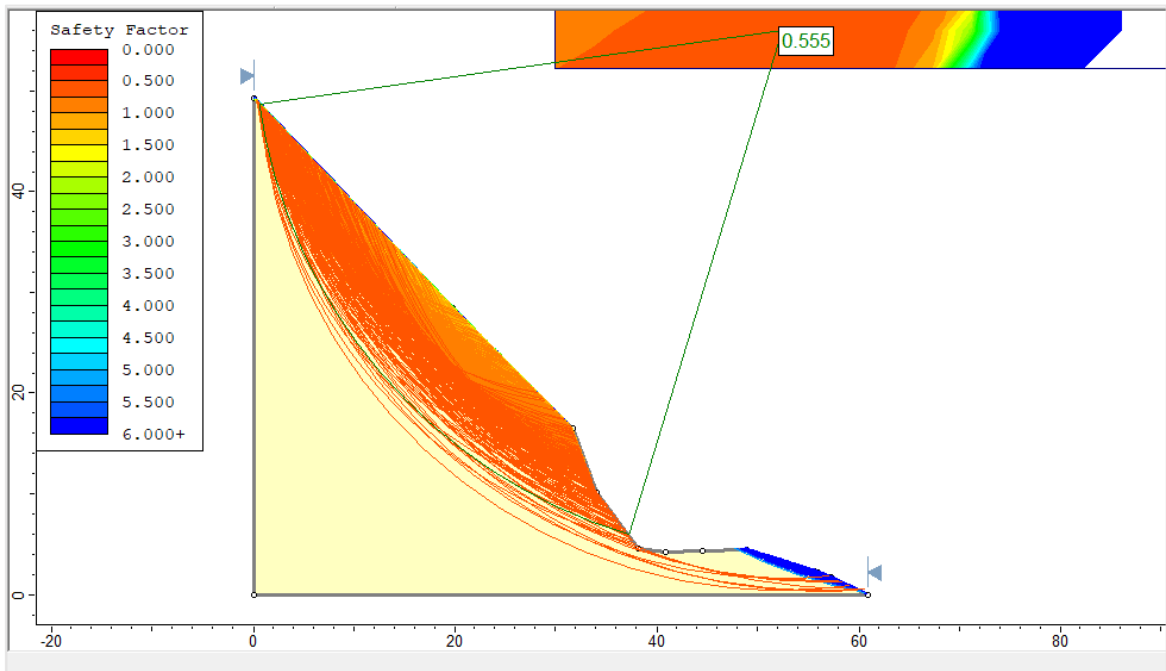
**Figura 51.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



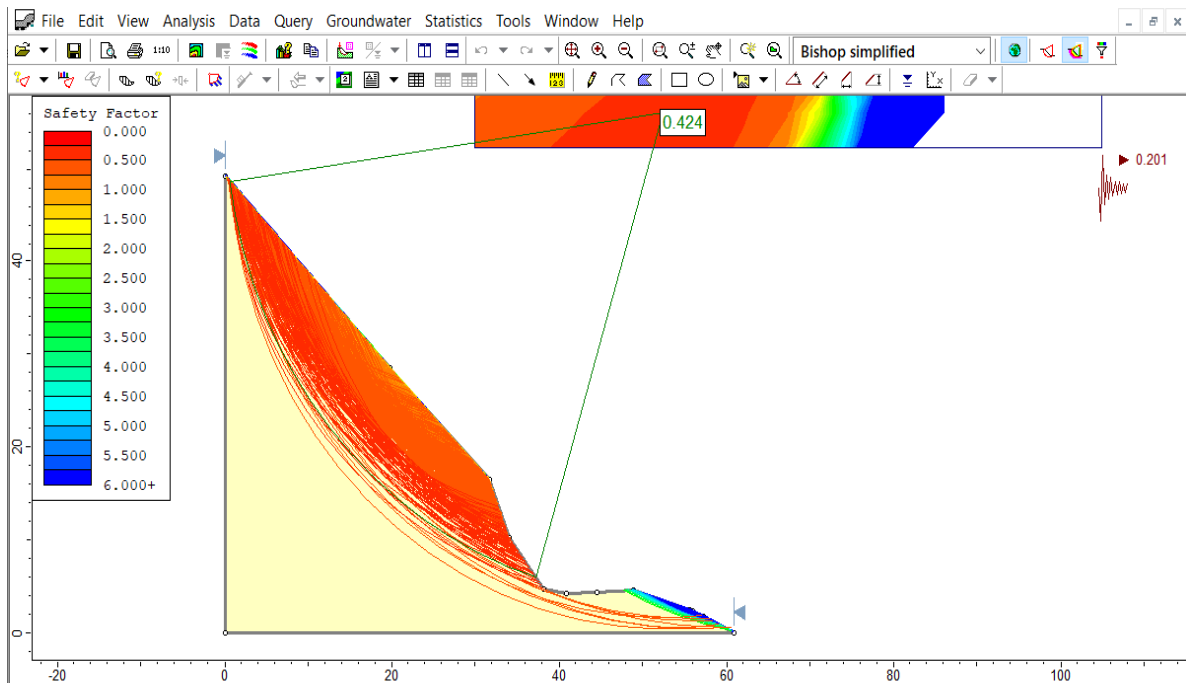
**Figura 52.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



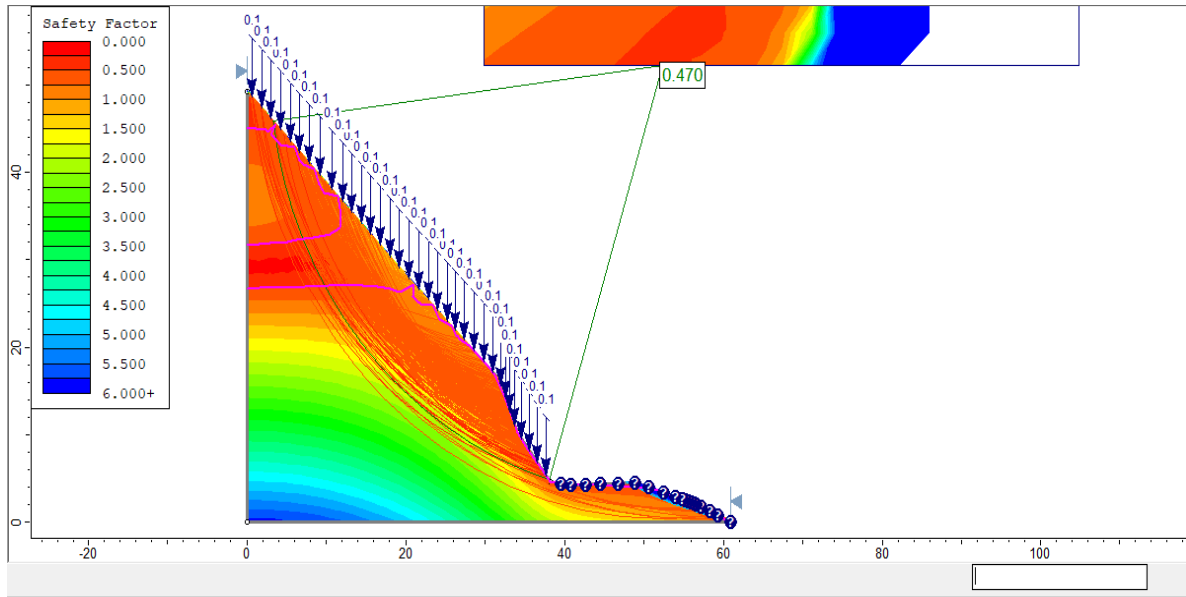
**Figura 53.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



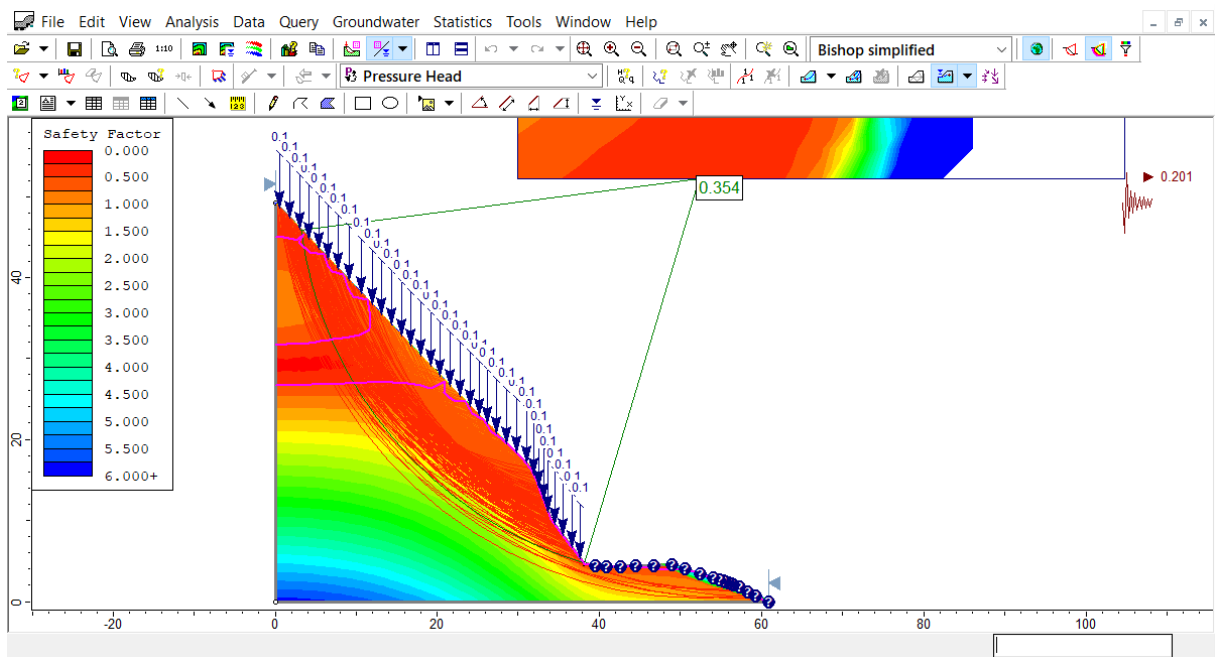
**Figura 54.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



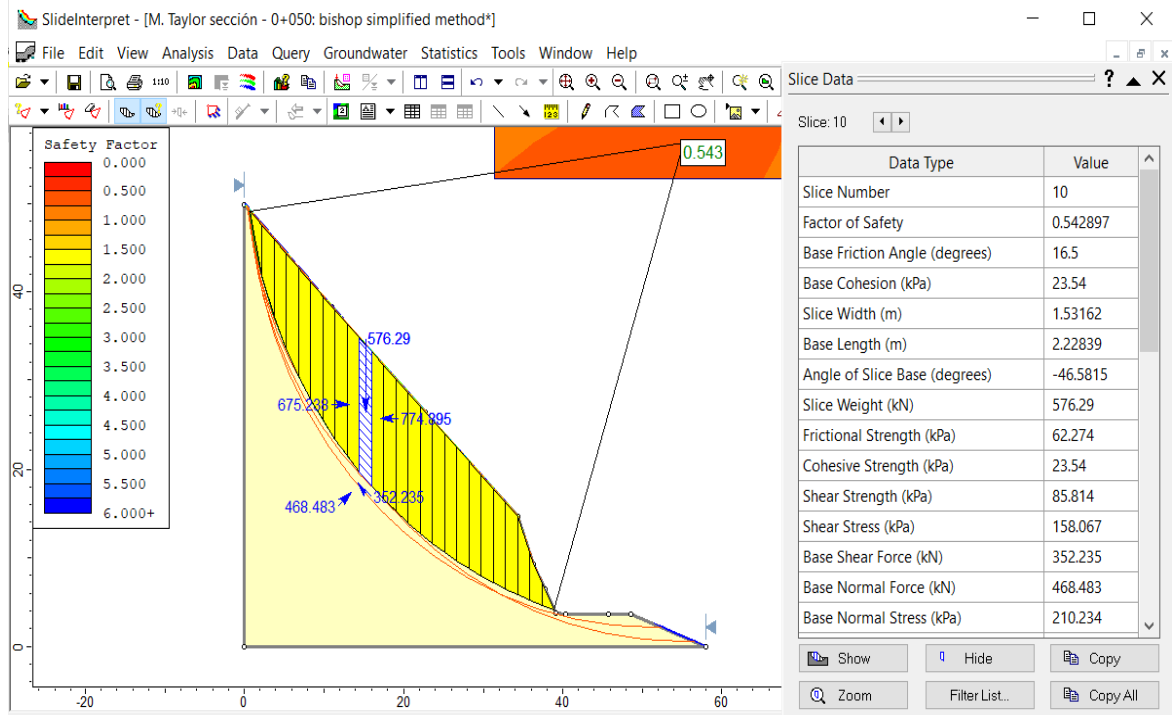
**Figura 55.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



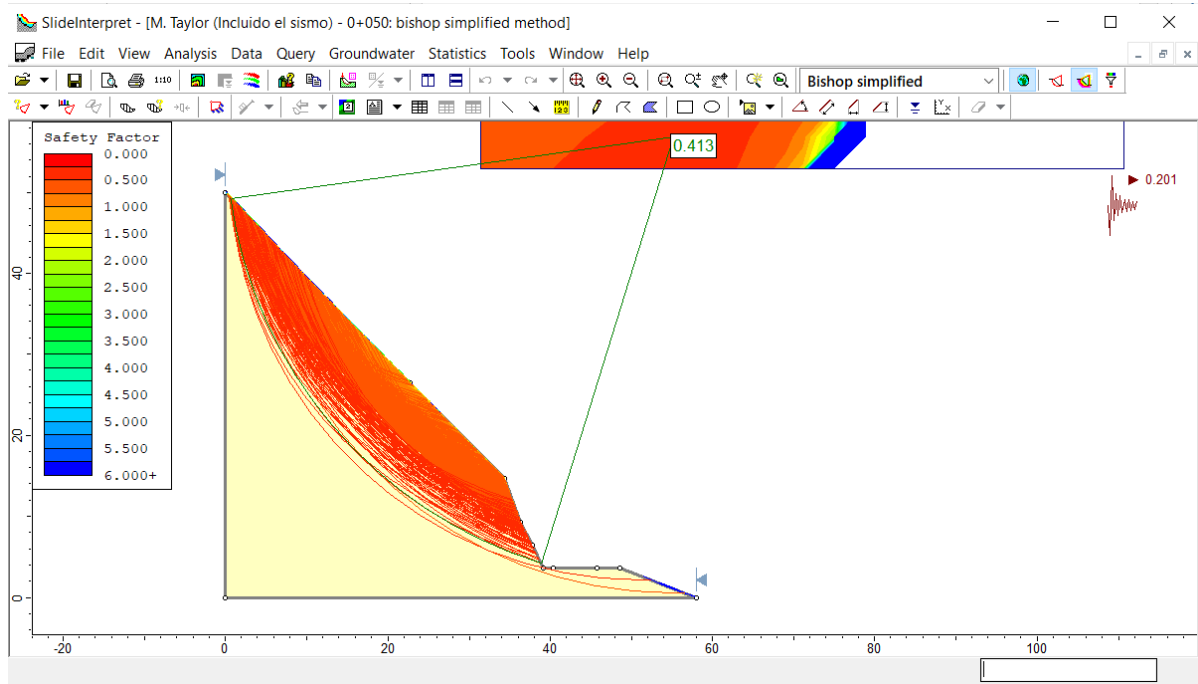
**Figura 56.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



**Figura 57.**

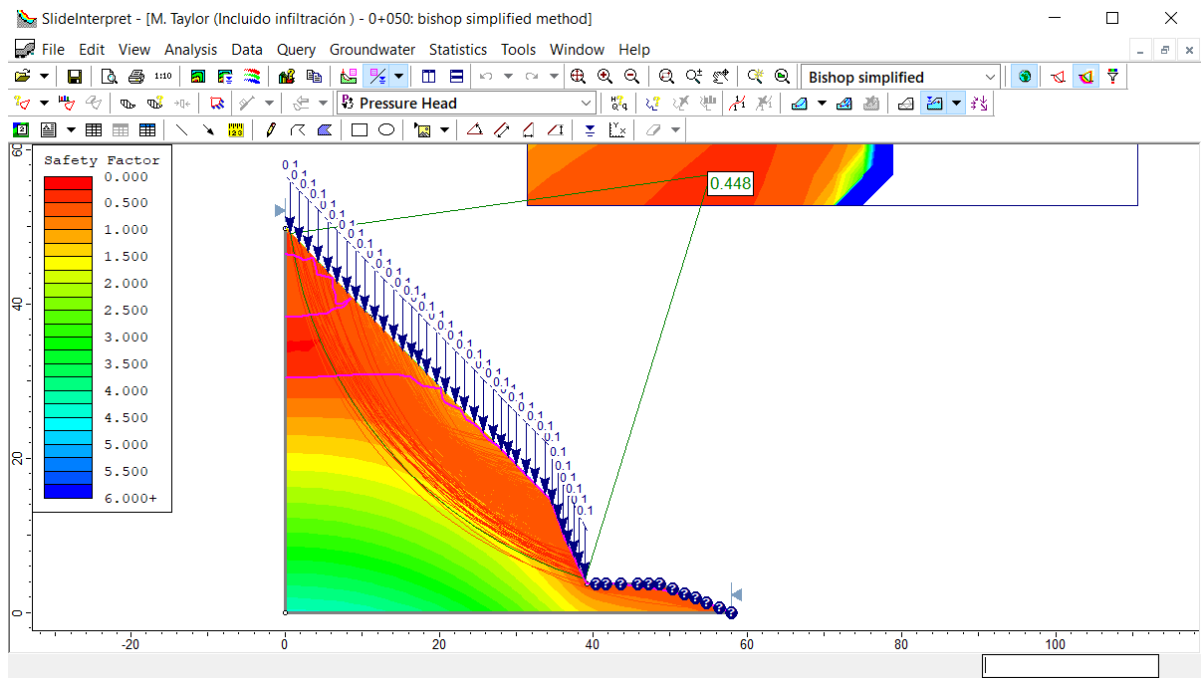
*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*





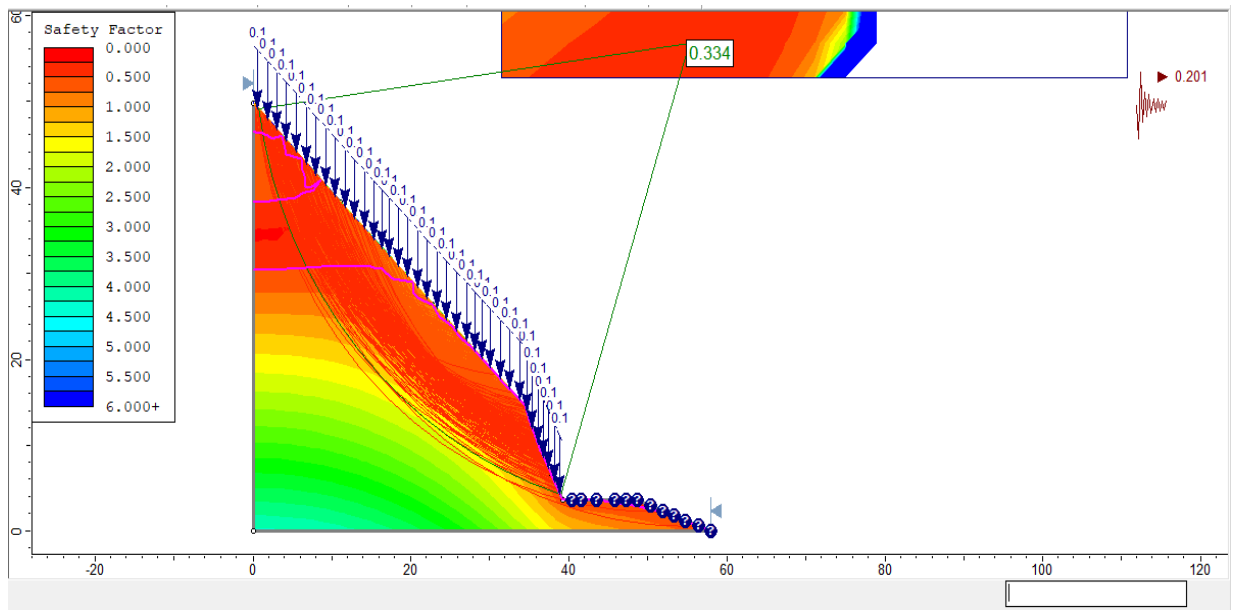
**Figura 58.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



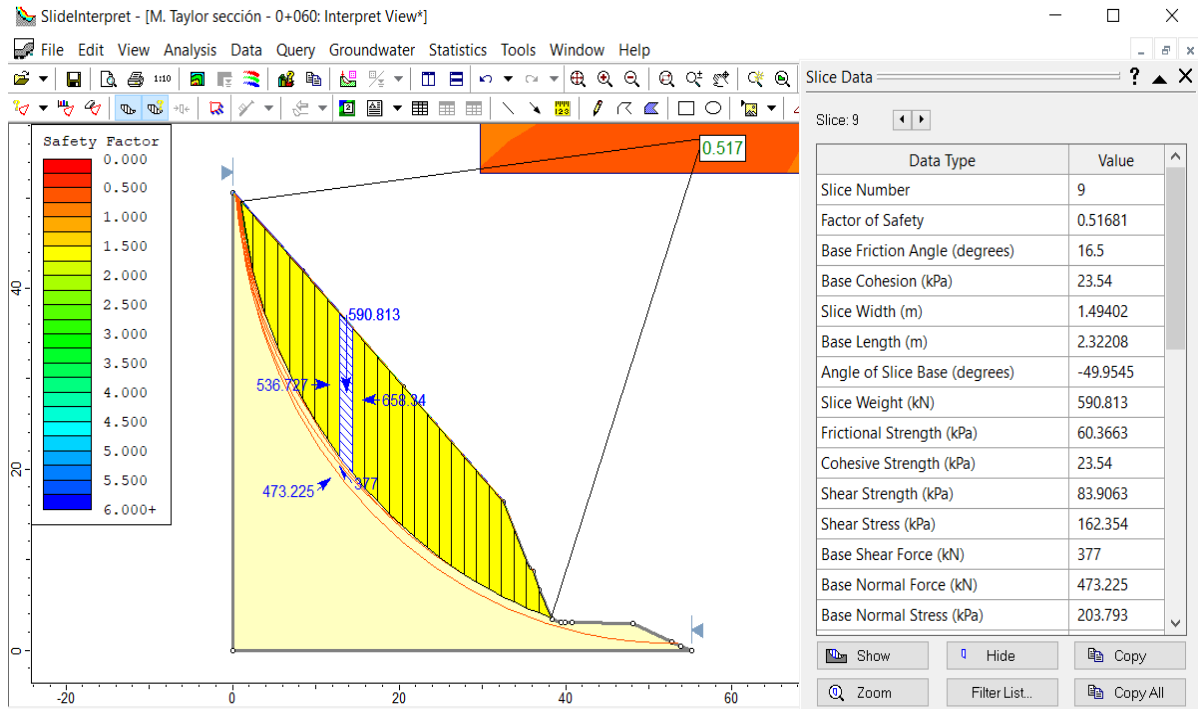
**Figura 59.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



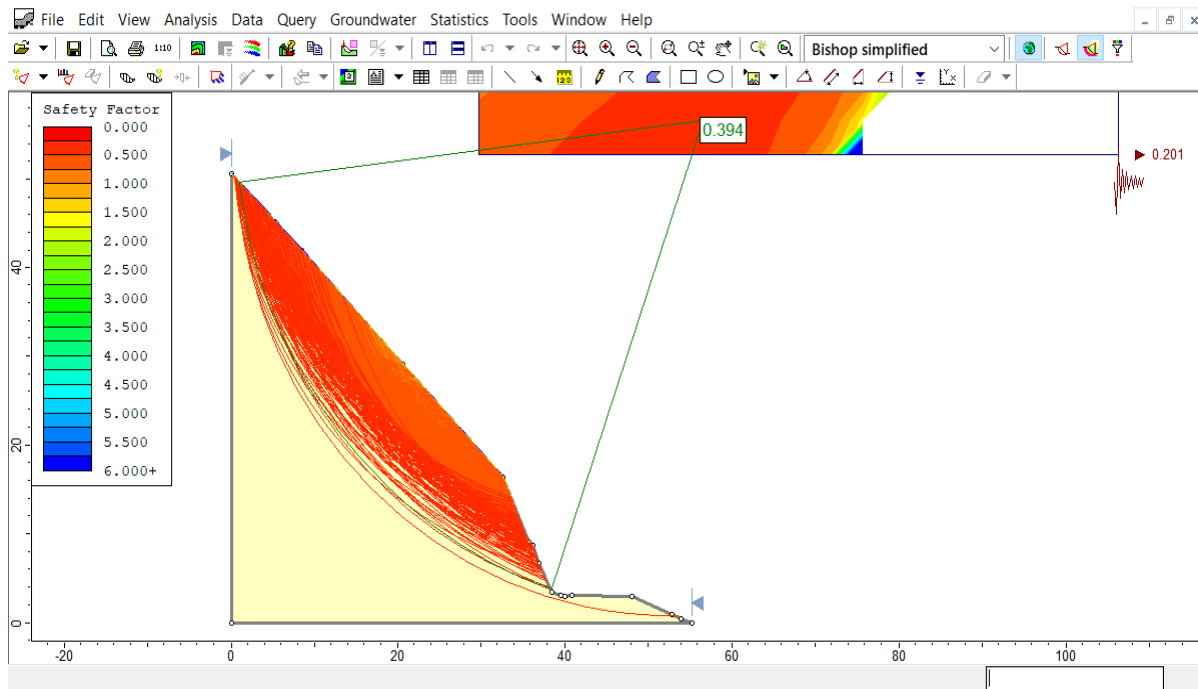
**Figura 60.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



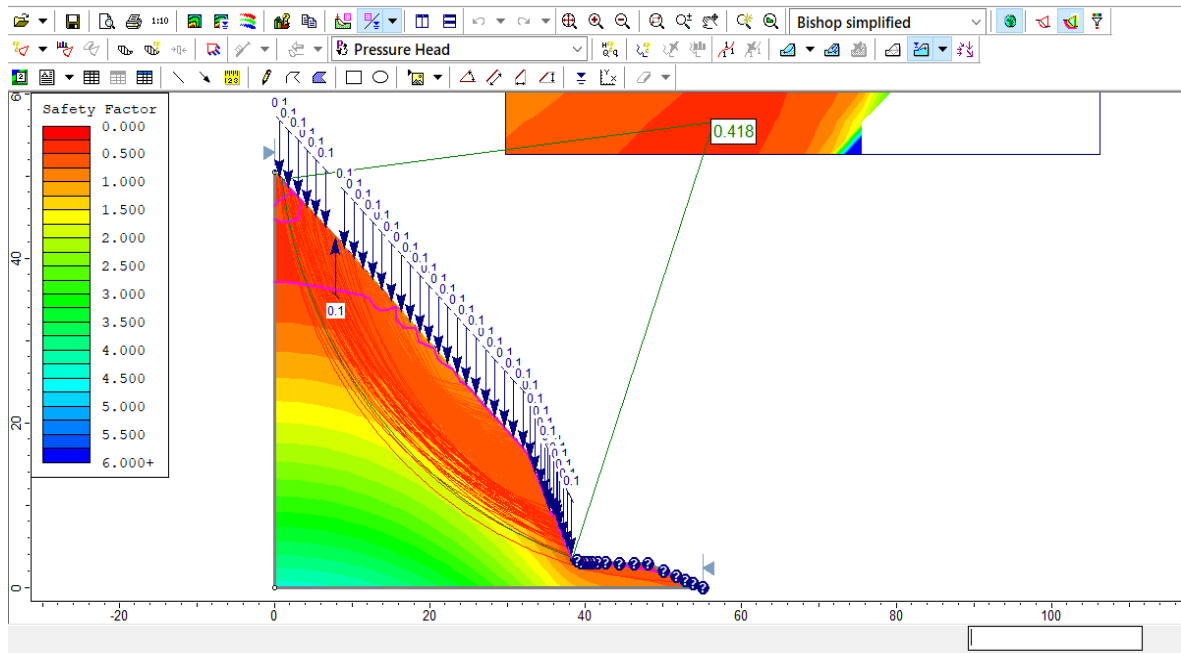
**Figura 61.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



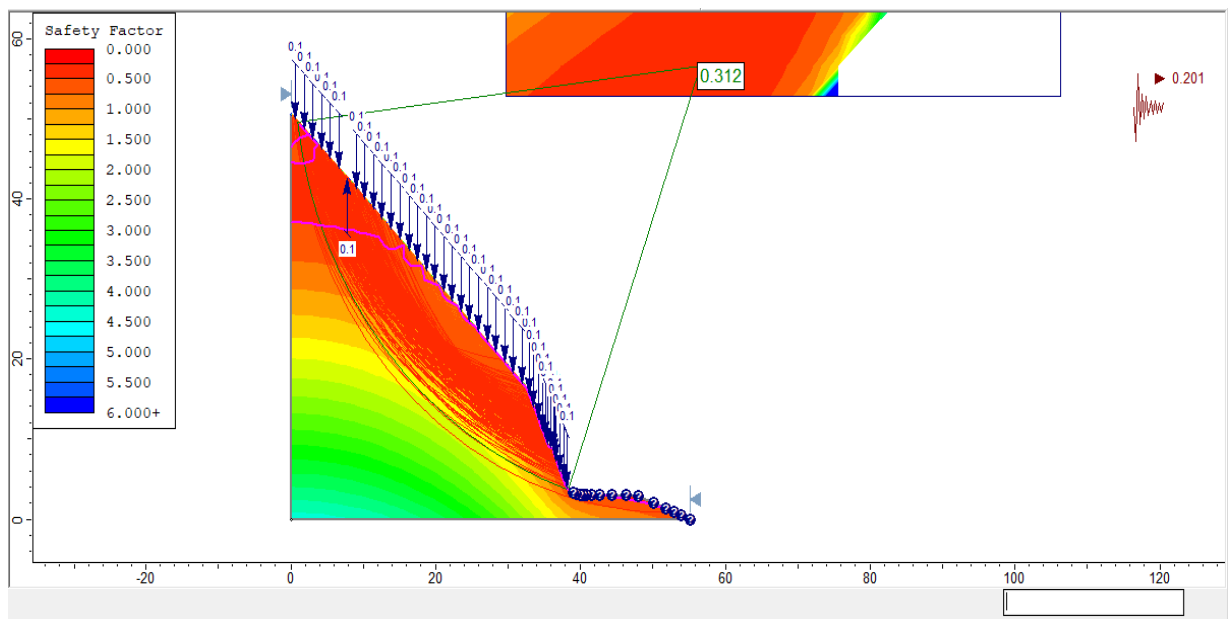
**Figura 62.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



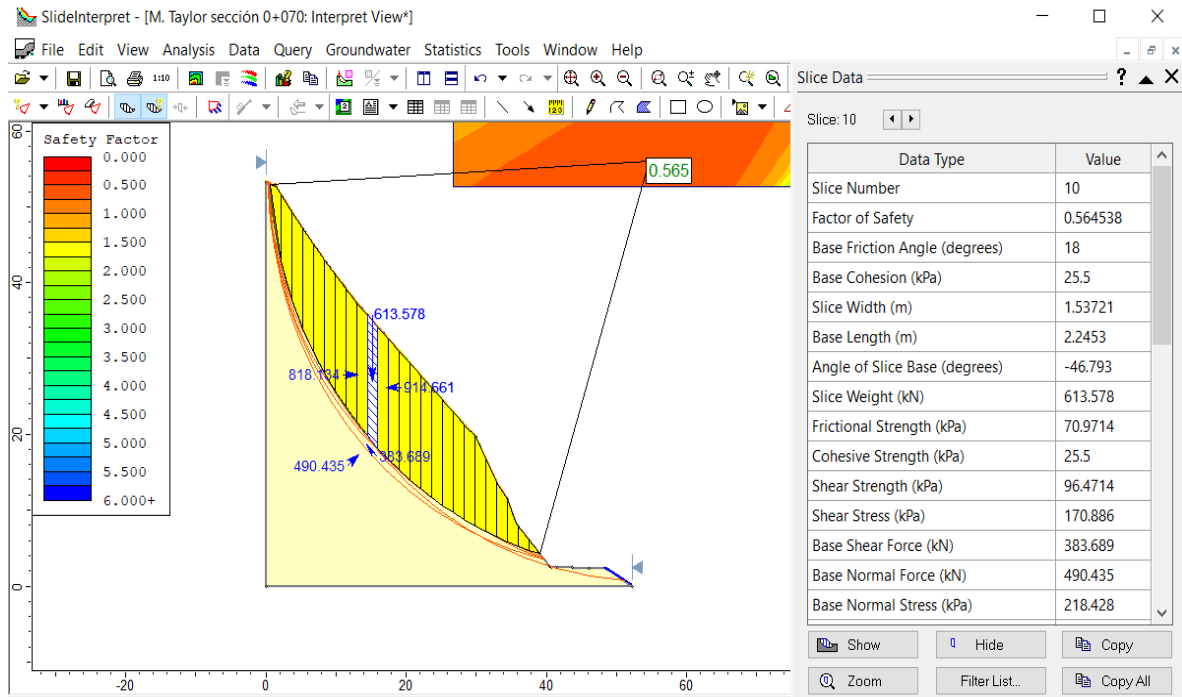
**Figura 63.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



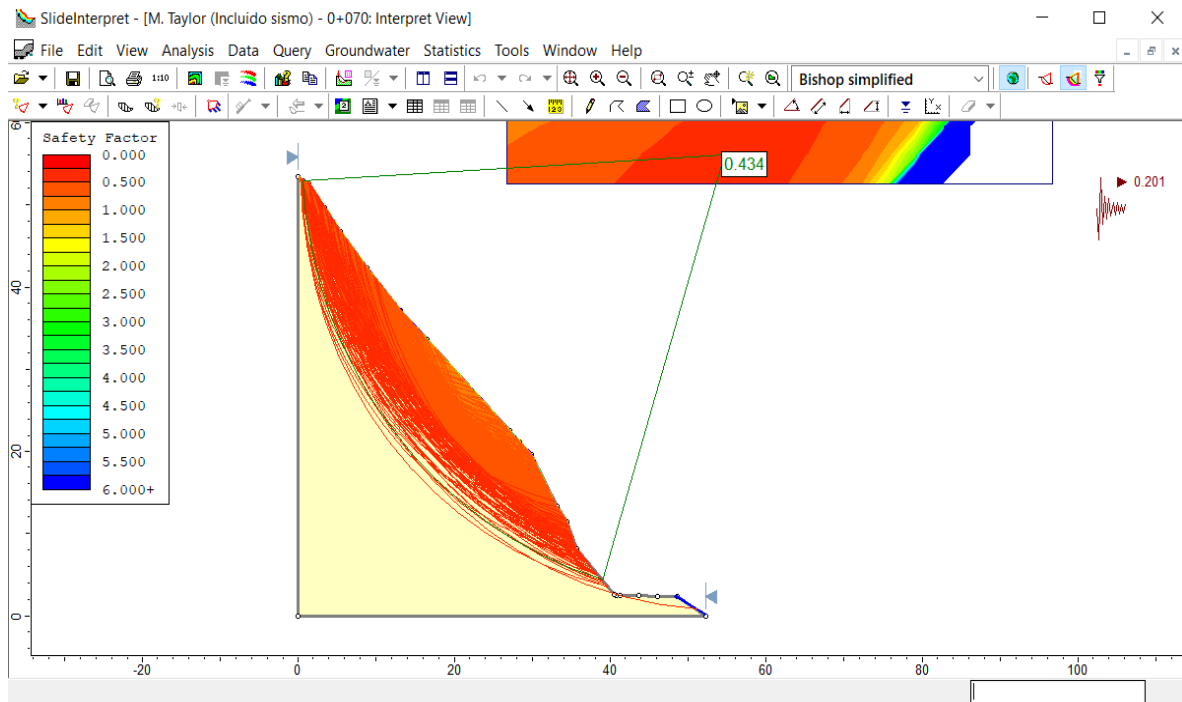
**Figura 64.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



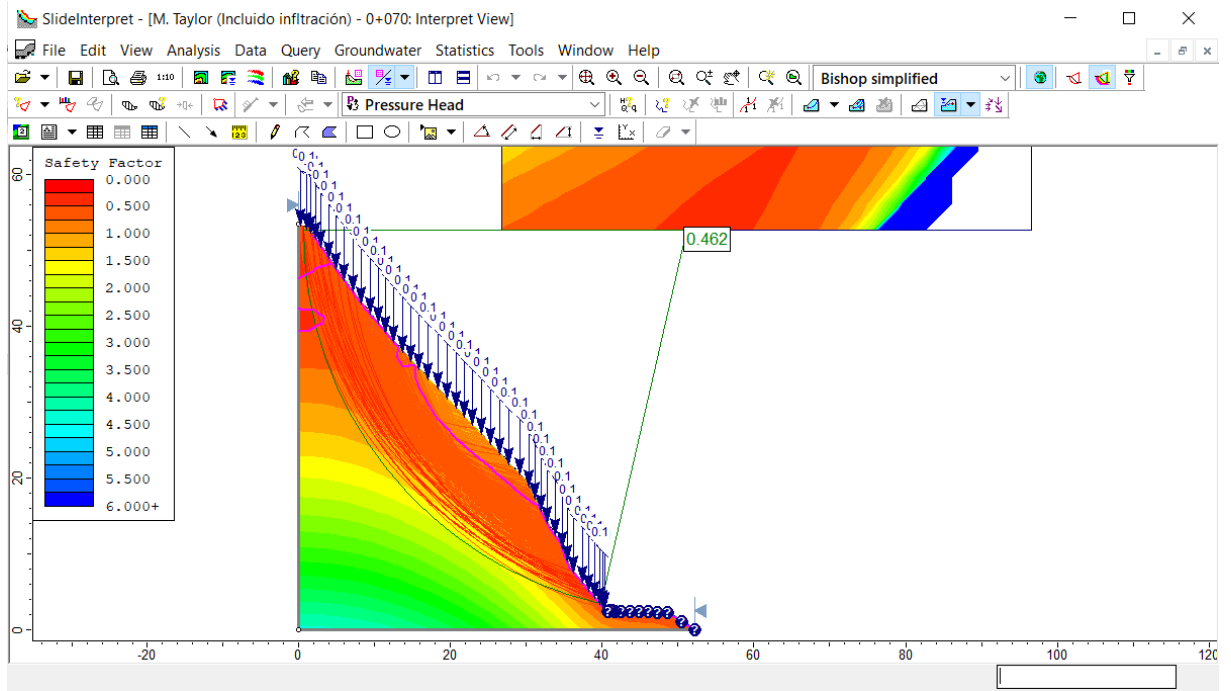
**Figura 65.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



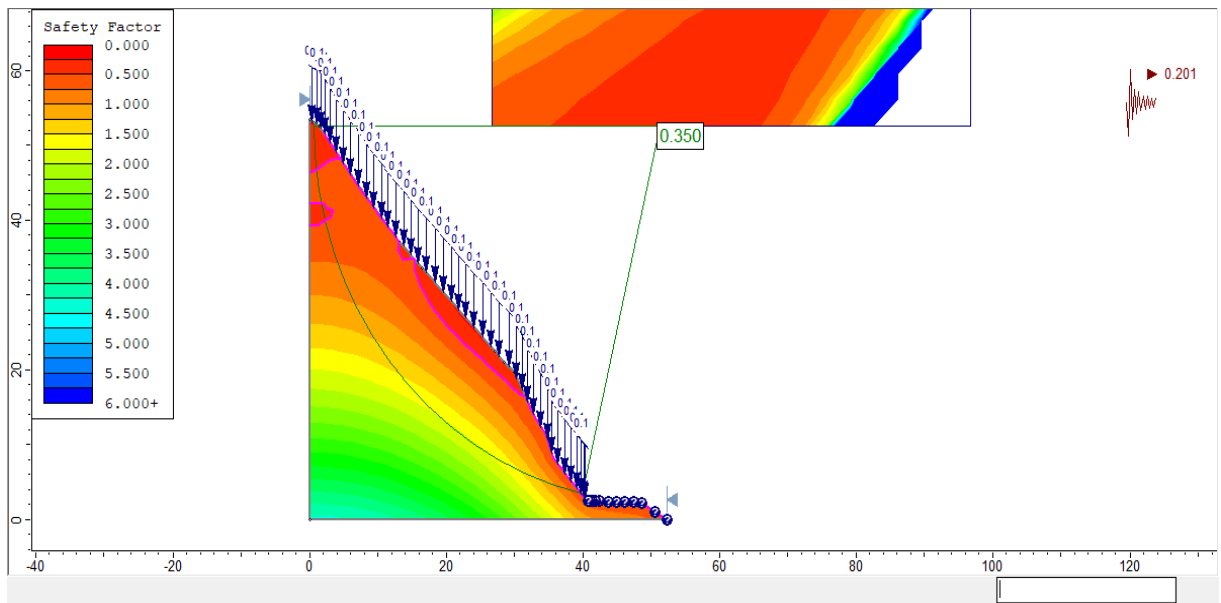
**Figura 66.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



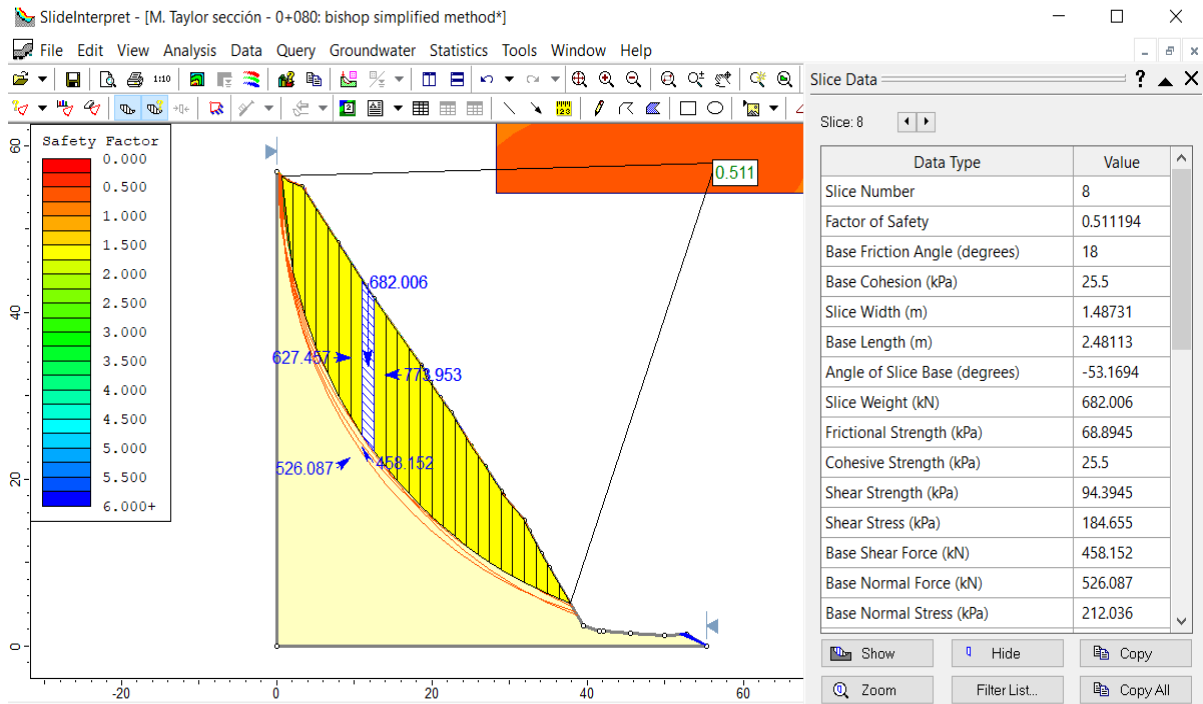
**Figura 67.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



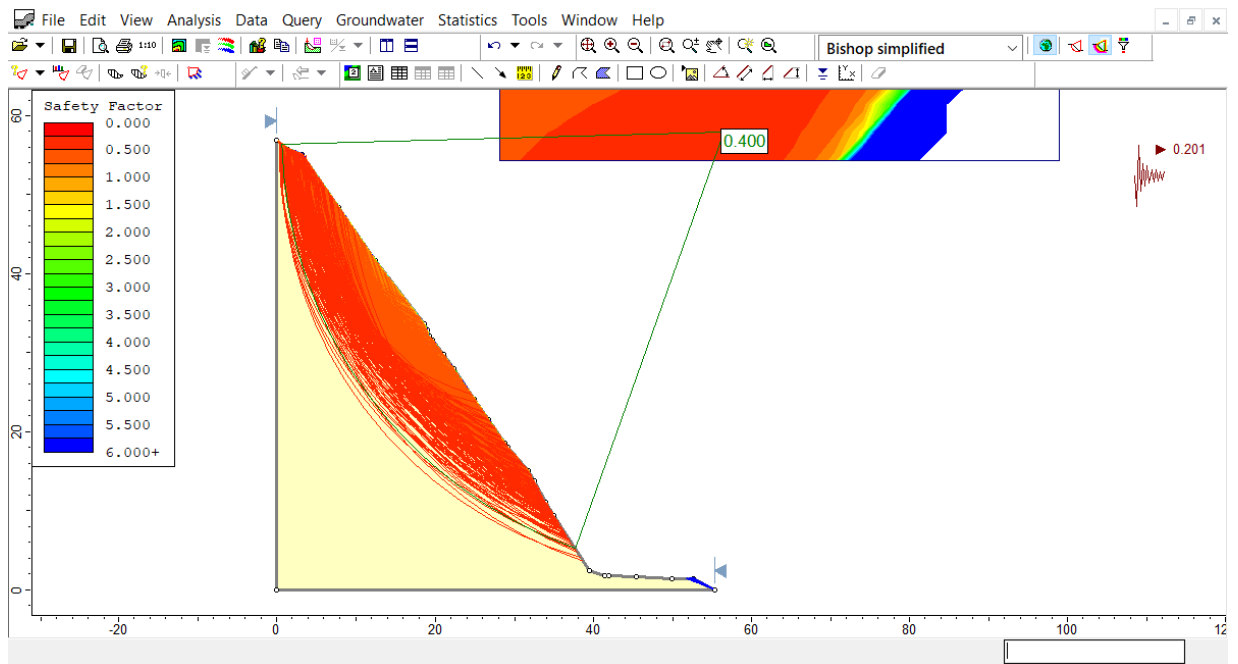
**Figura 68.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



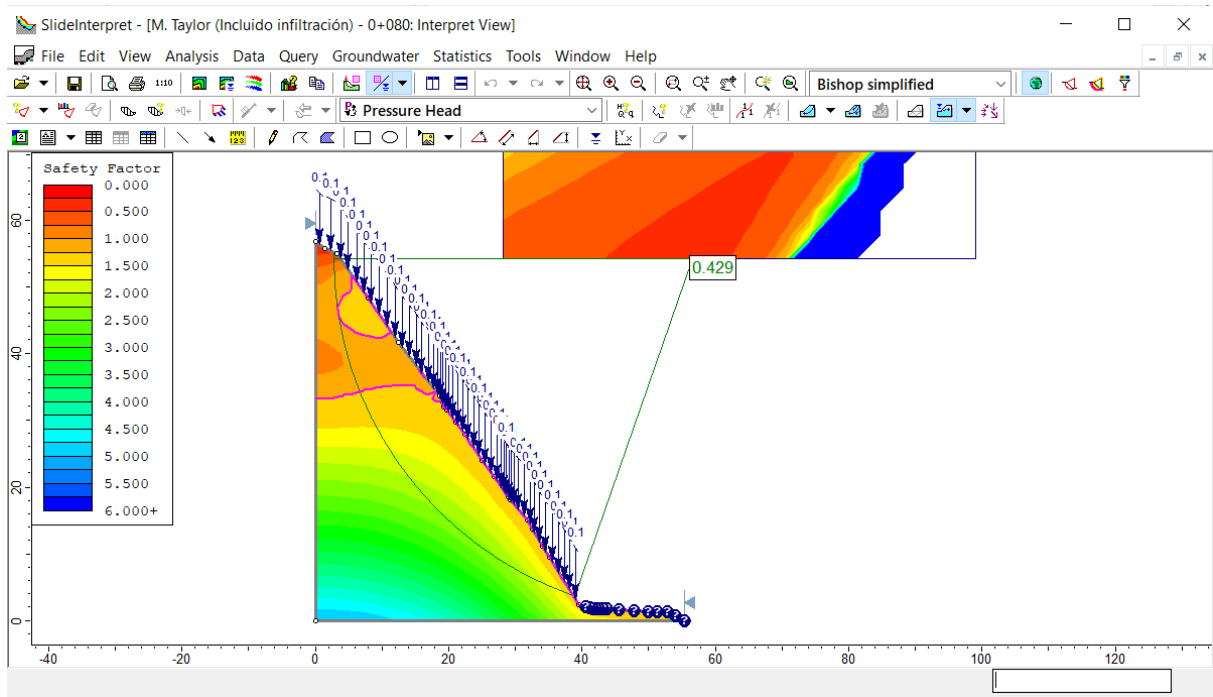
**Figura 69.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



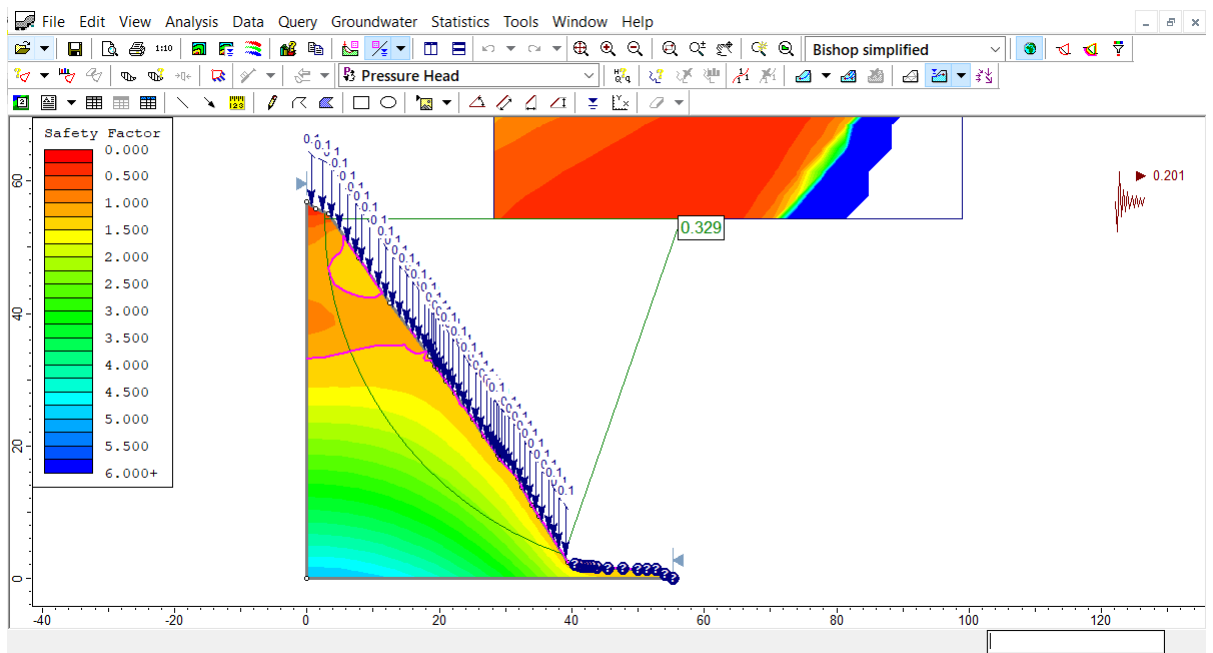
**Figura 70.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



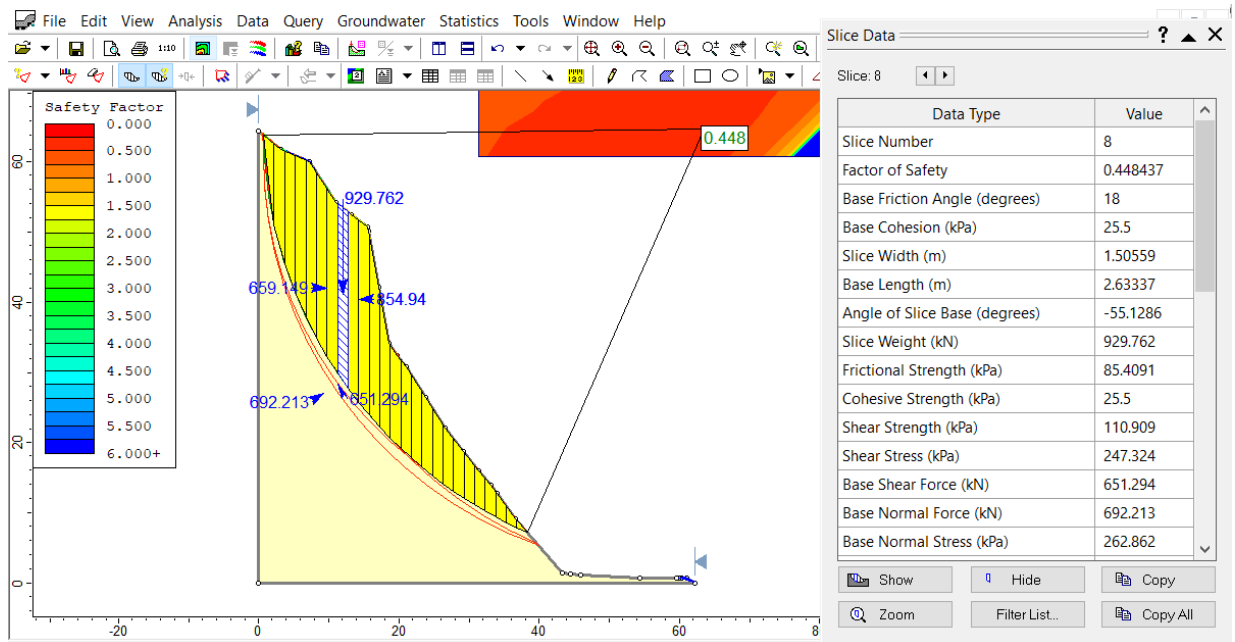
**Figura 71.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



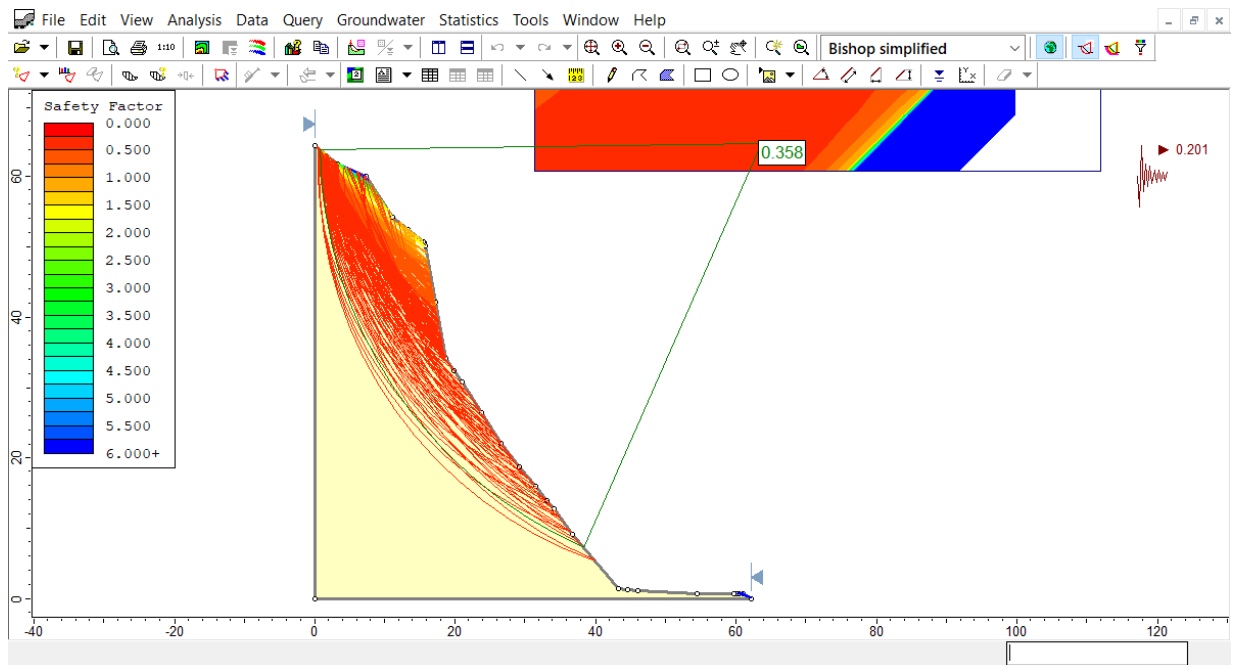
**Figura 72.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



**Figura 73.**

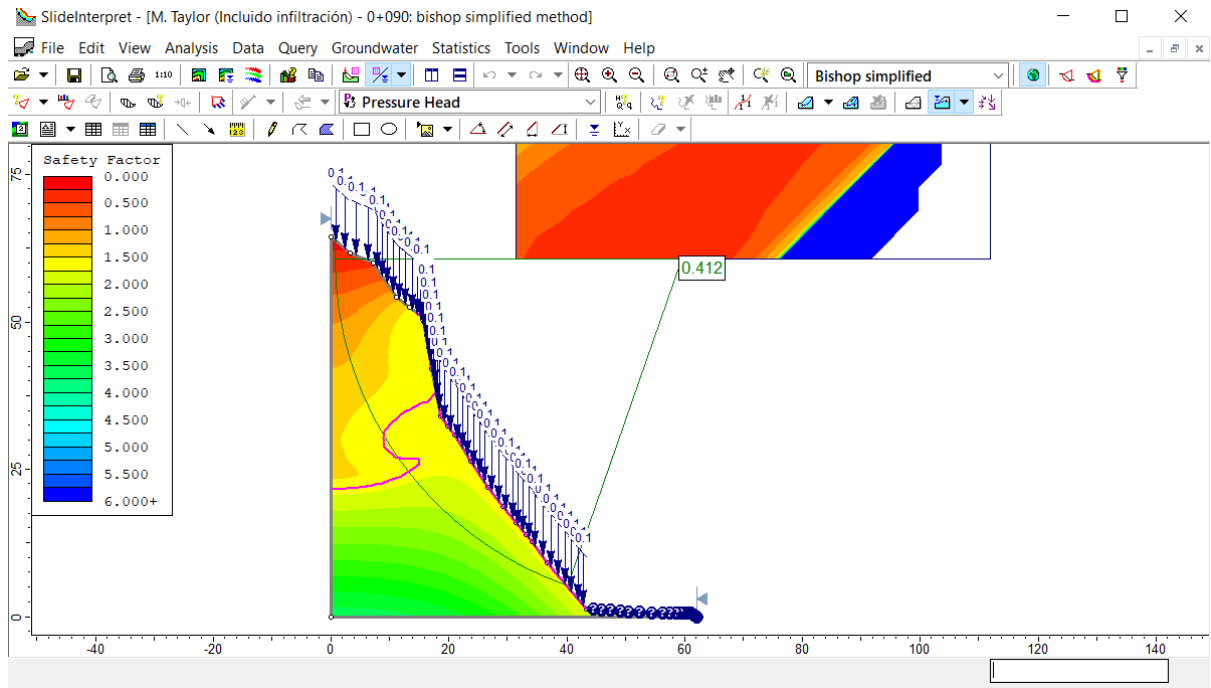
*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*





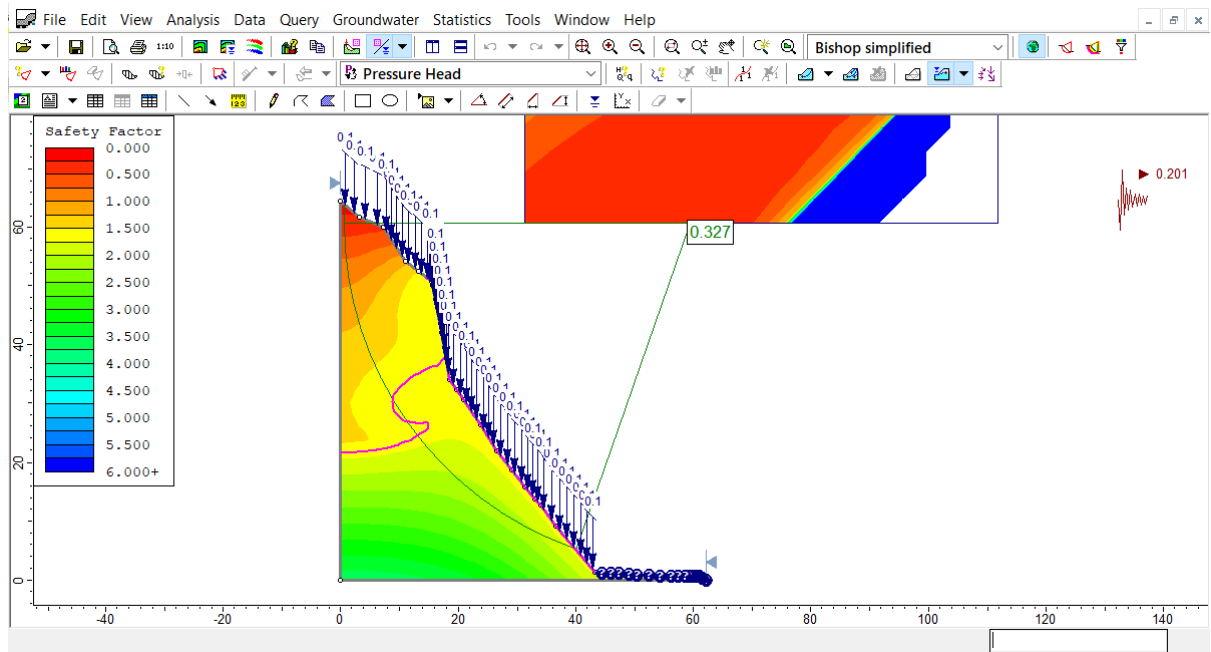
**Figura 74.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



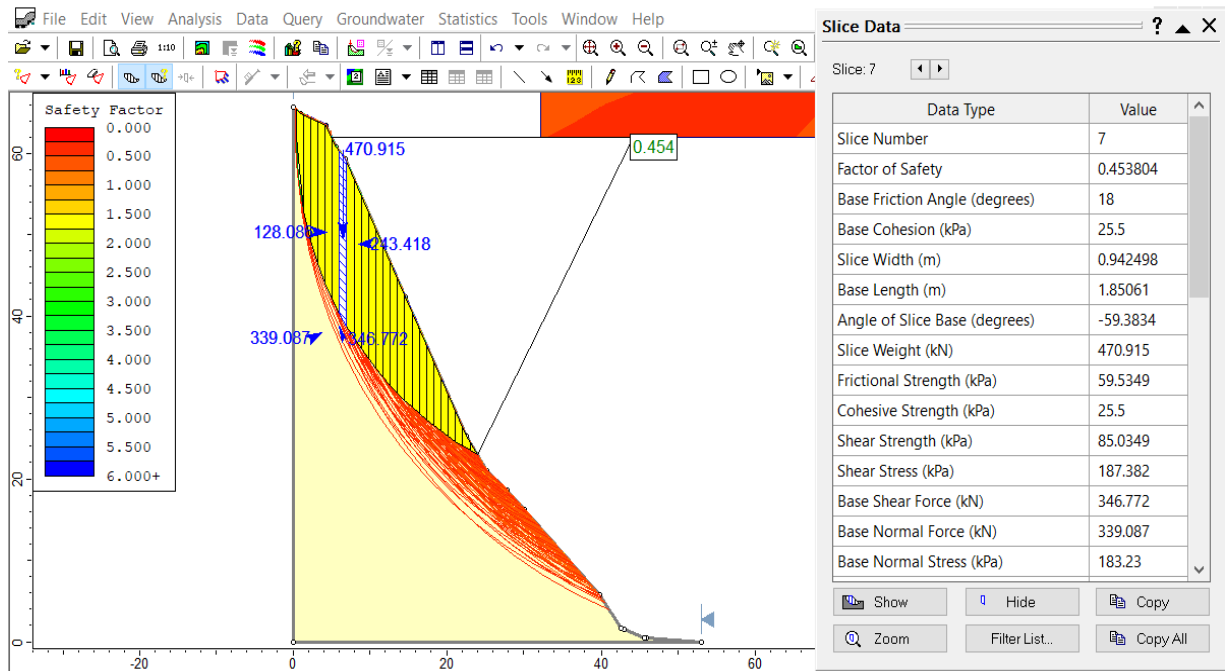
**Figura 75.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



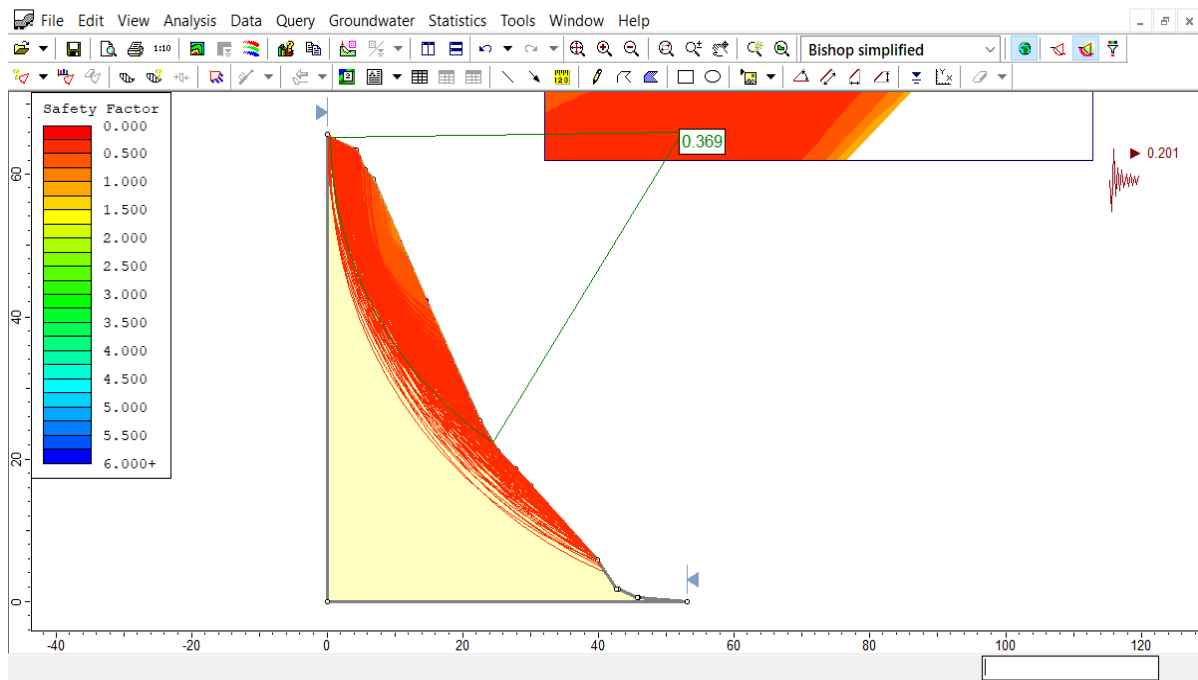
**Figura 76.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



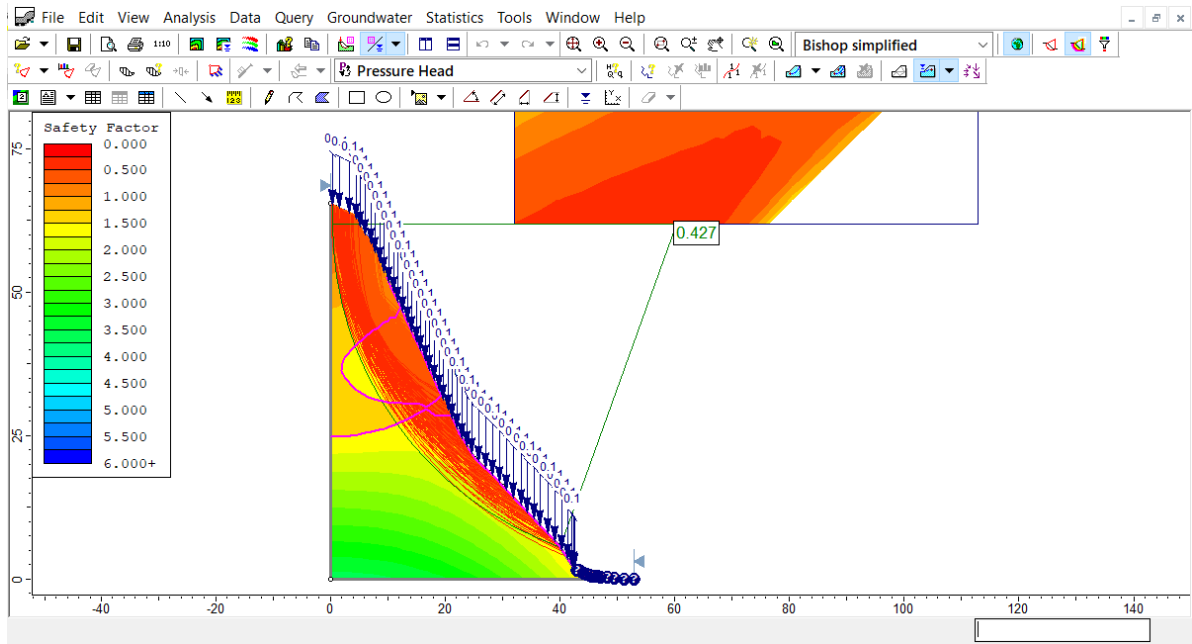
**Figura 77.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



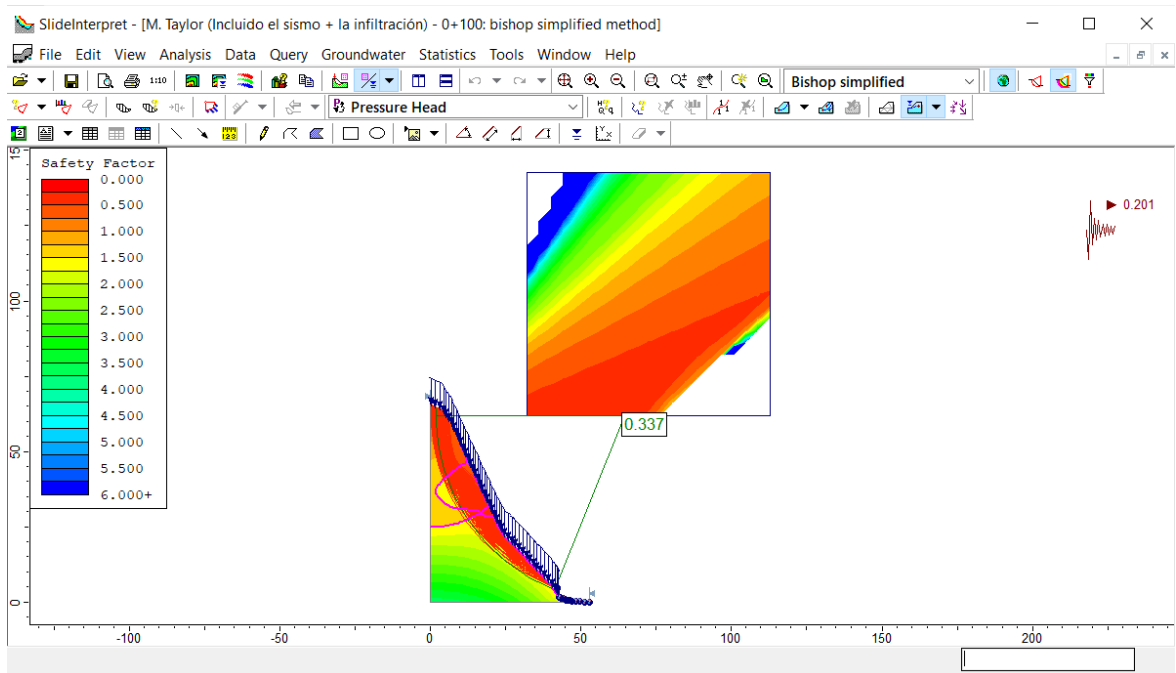
**Figura 78.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



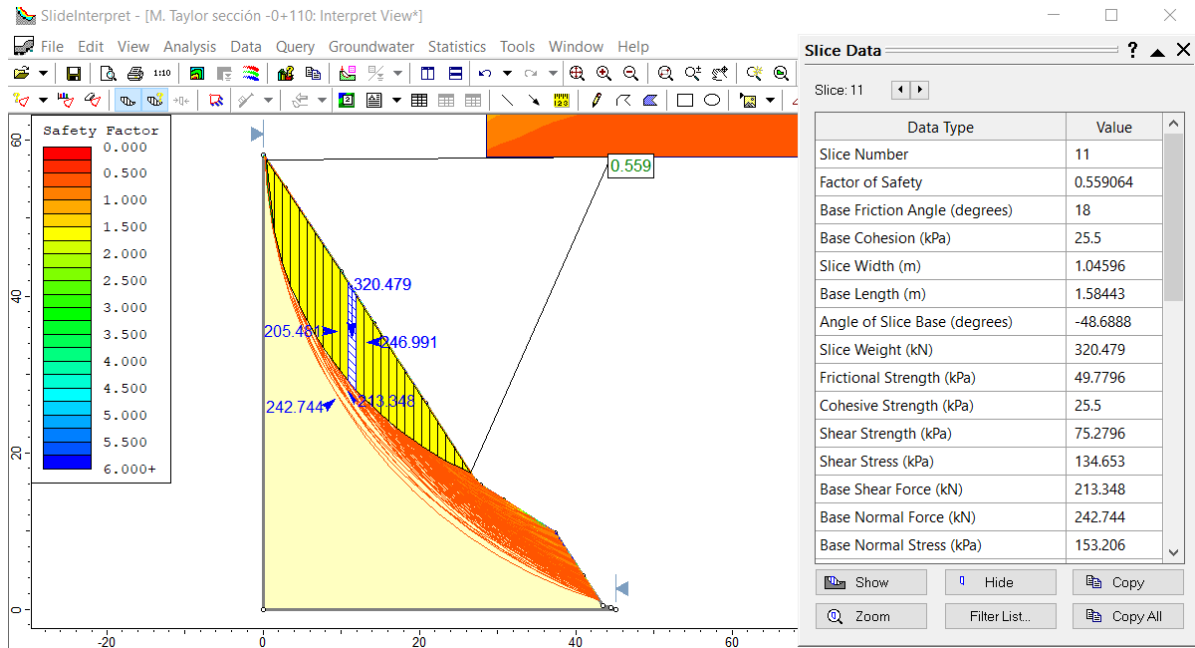
**Figura 79.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



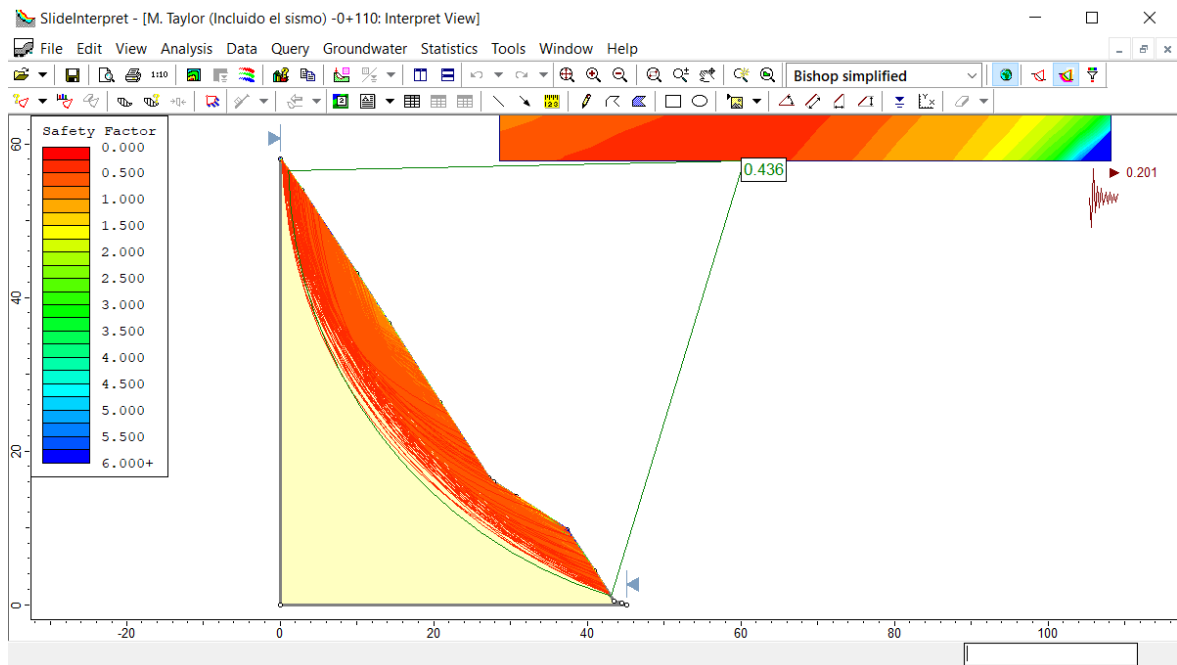
**Figura 80.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



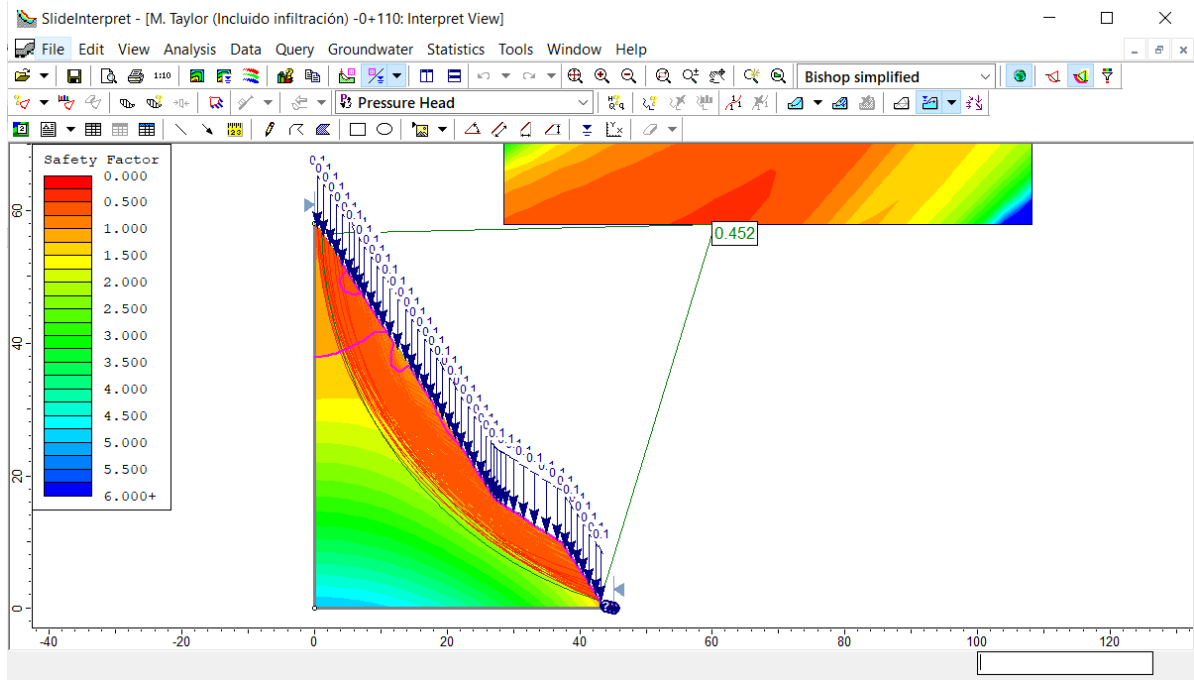
**Figura 81.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



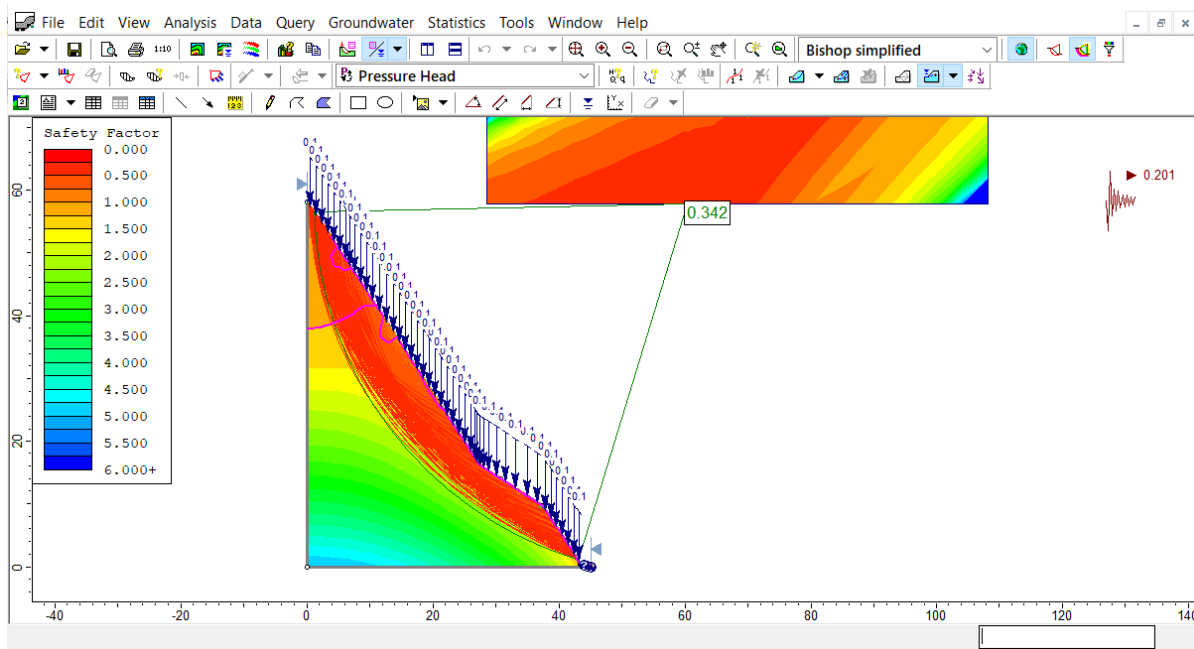
**Figura 82.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



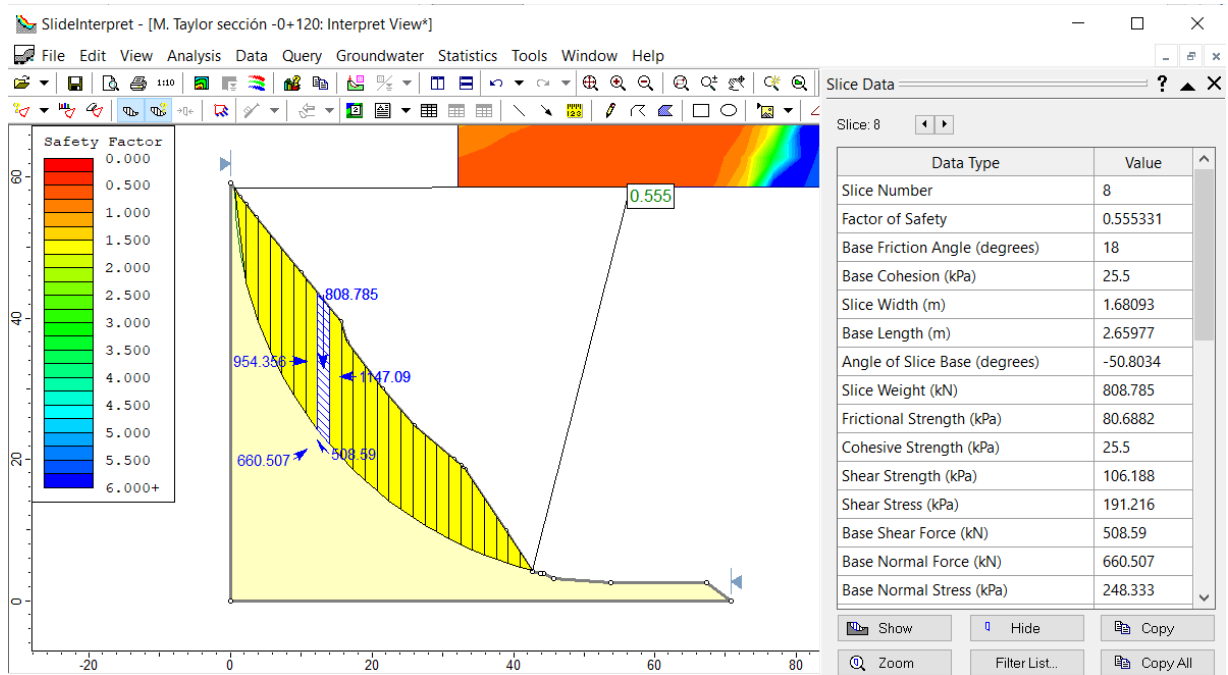
**Figura 83.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



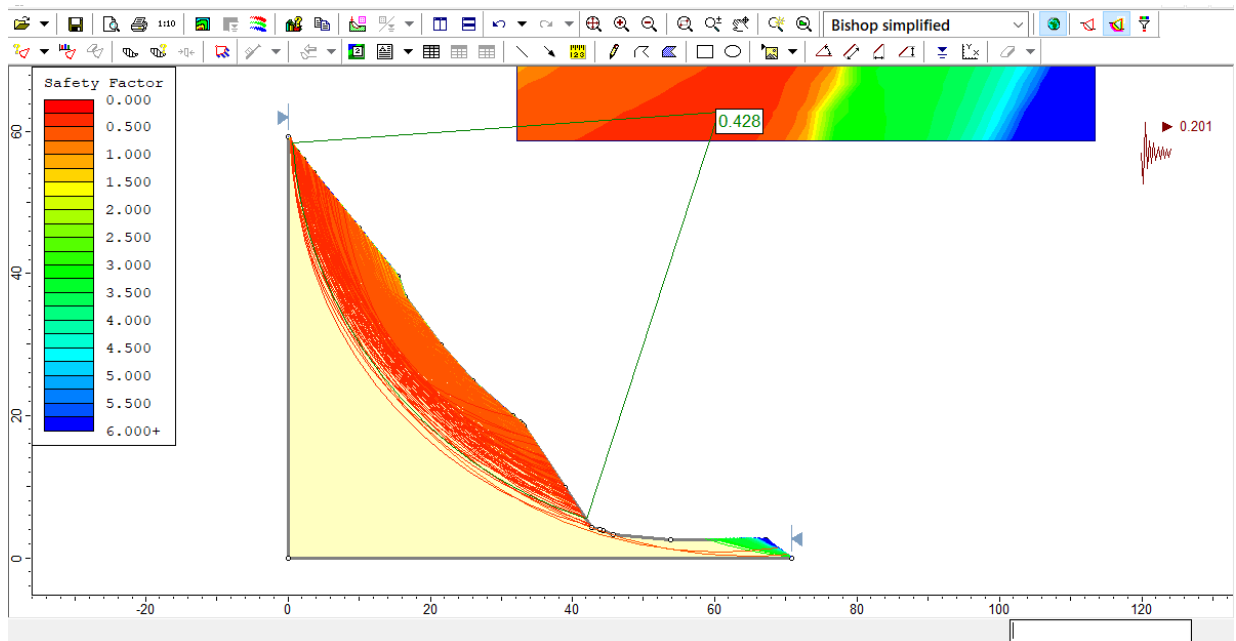
**Figura 84.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



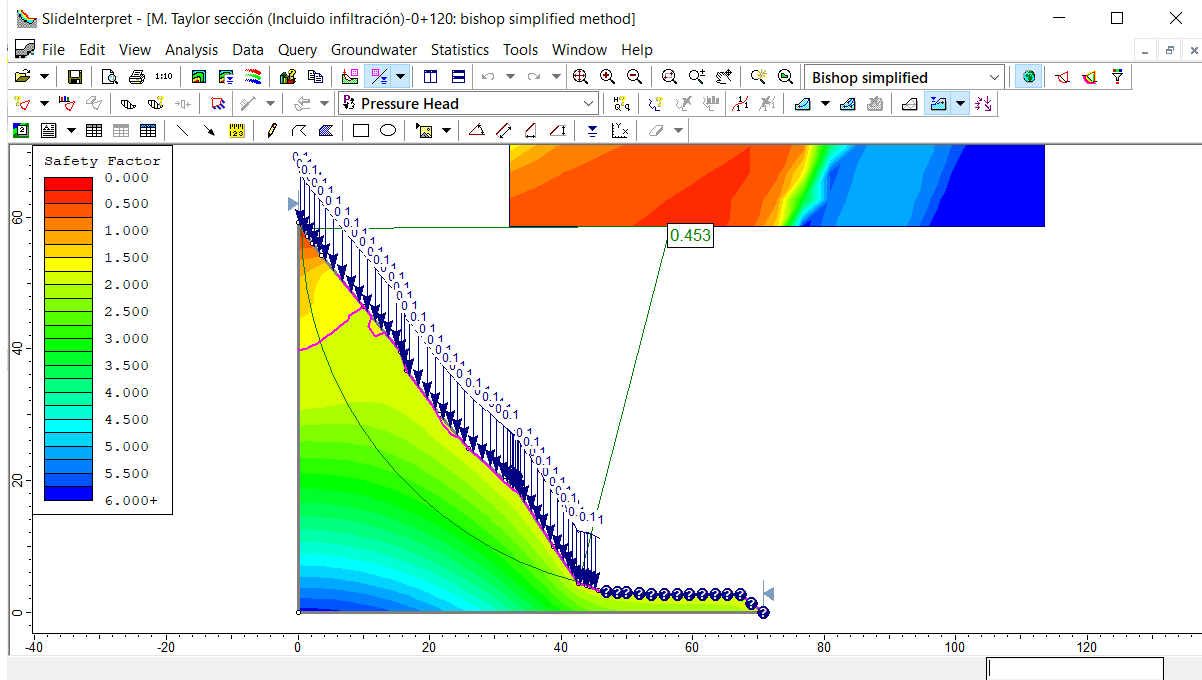
**Figura 85.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



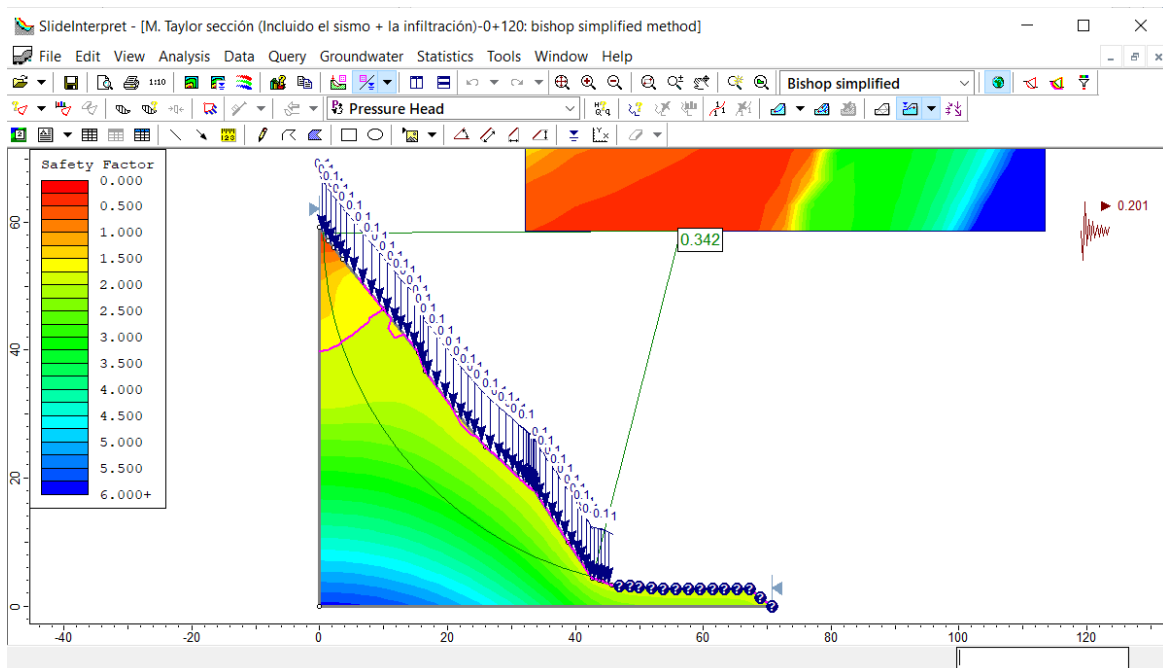
**Figura 86.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



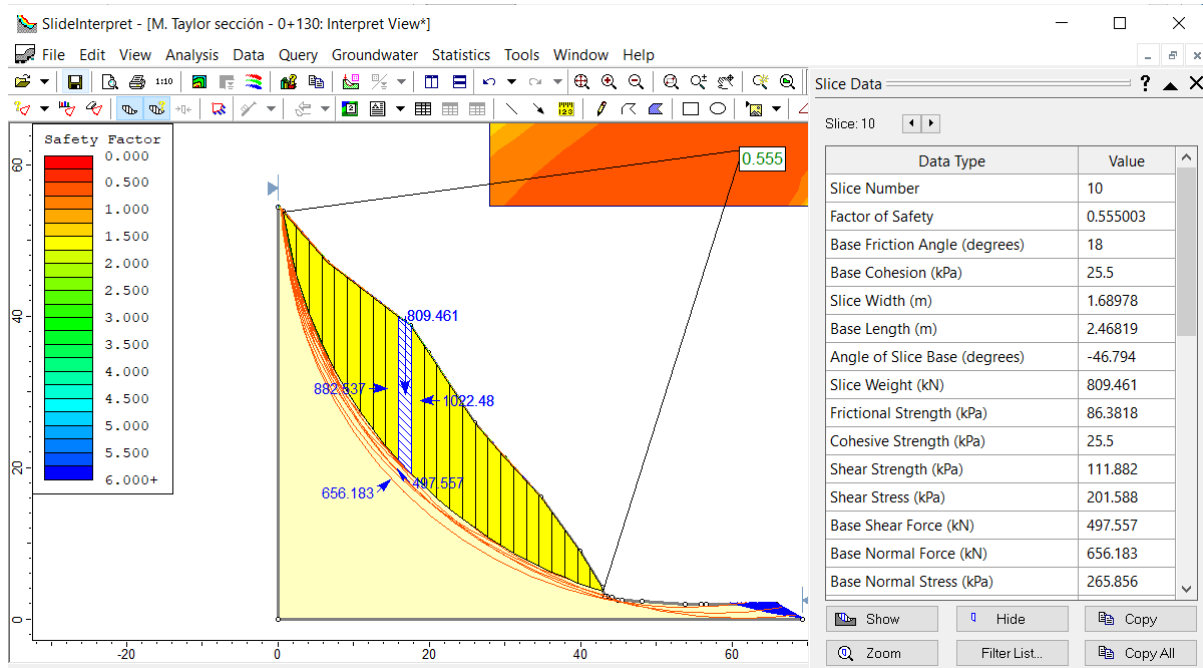
**Figura 87.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



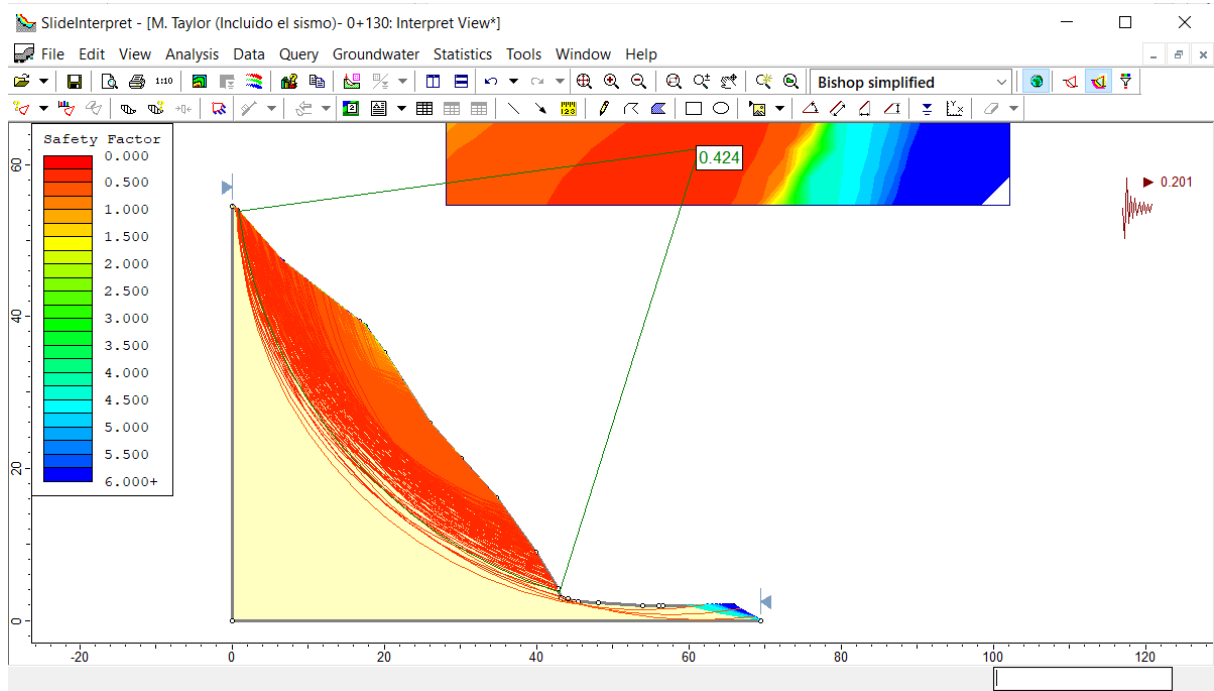
**Figura 88.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



**Figura 89.**

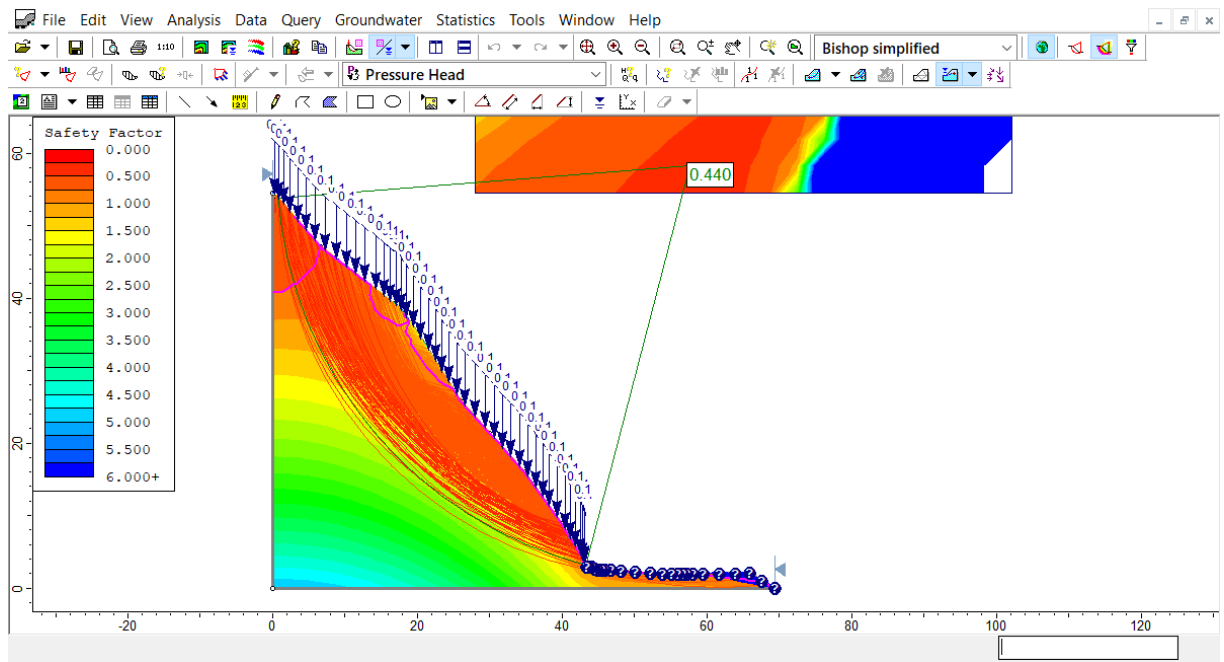
*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*





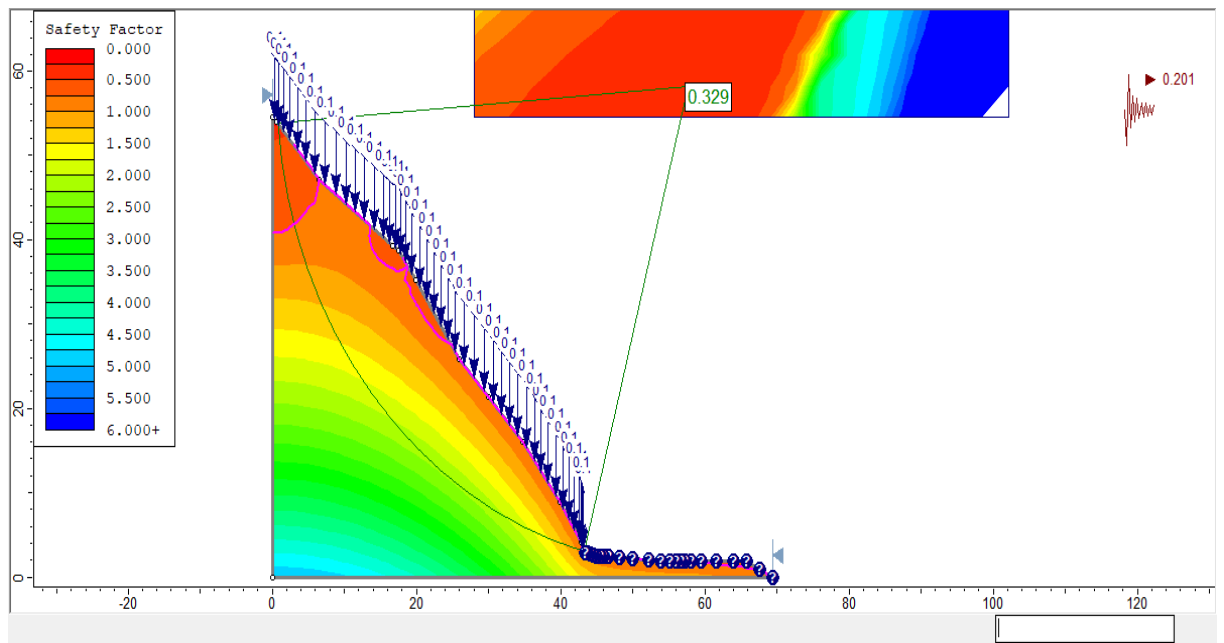
**Figura 90.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



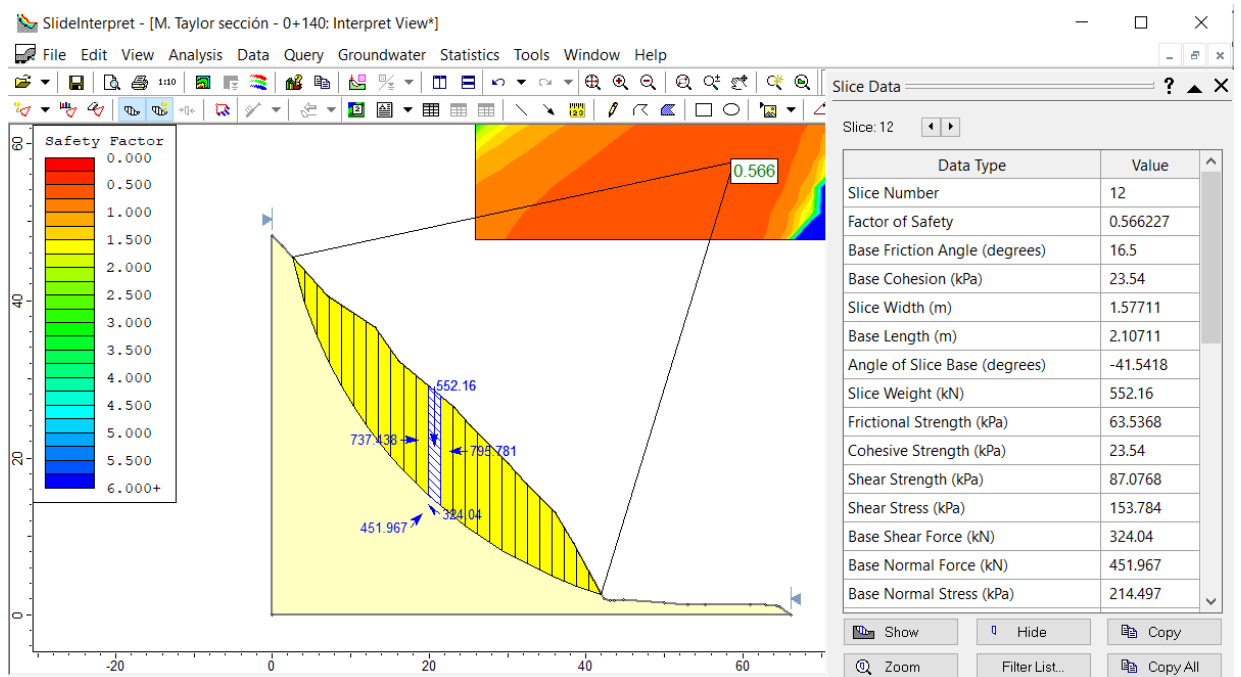
**Figura 91.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



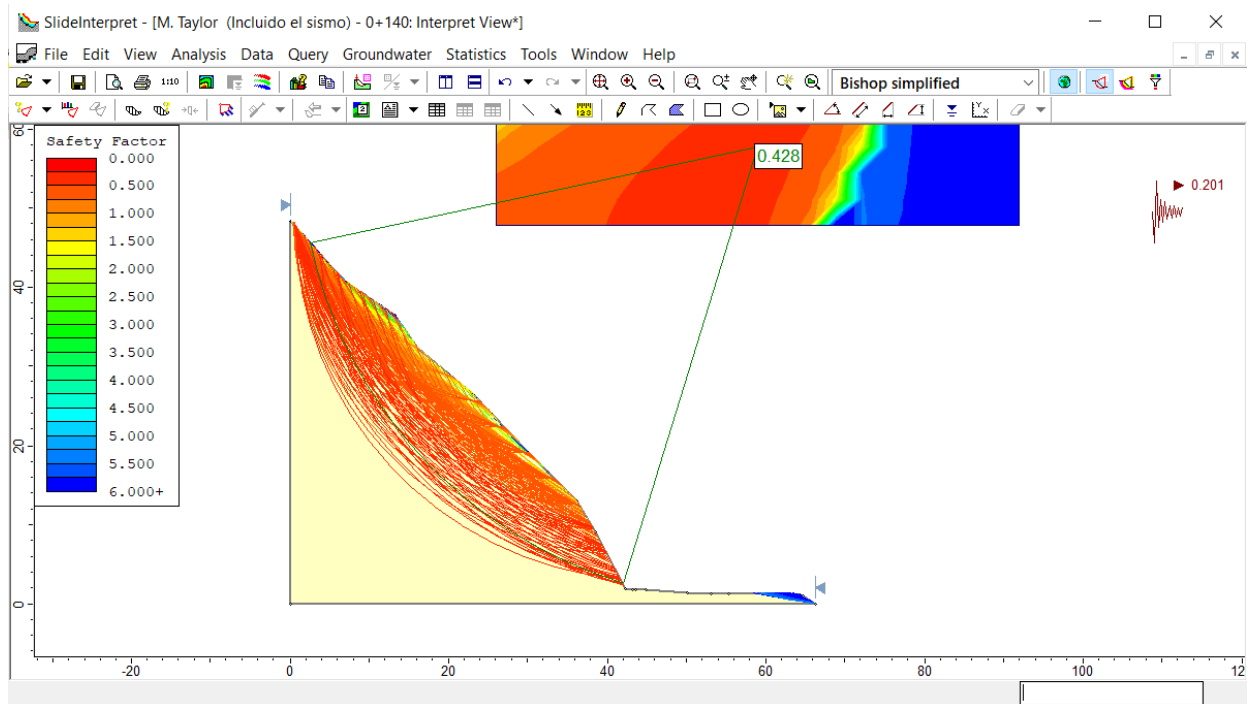
**Figura 92.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



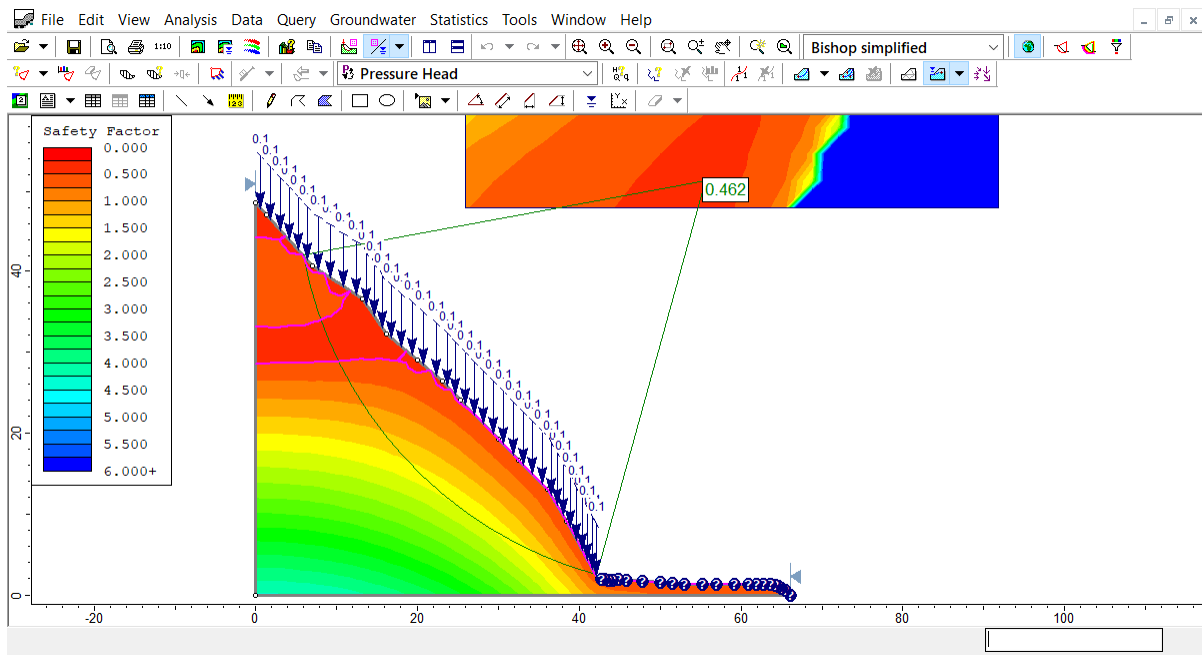
**Figura 93.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



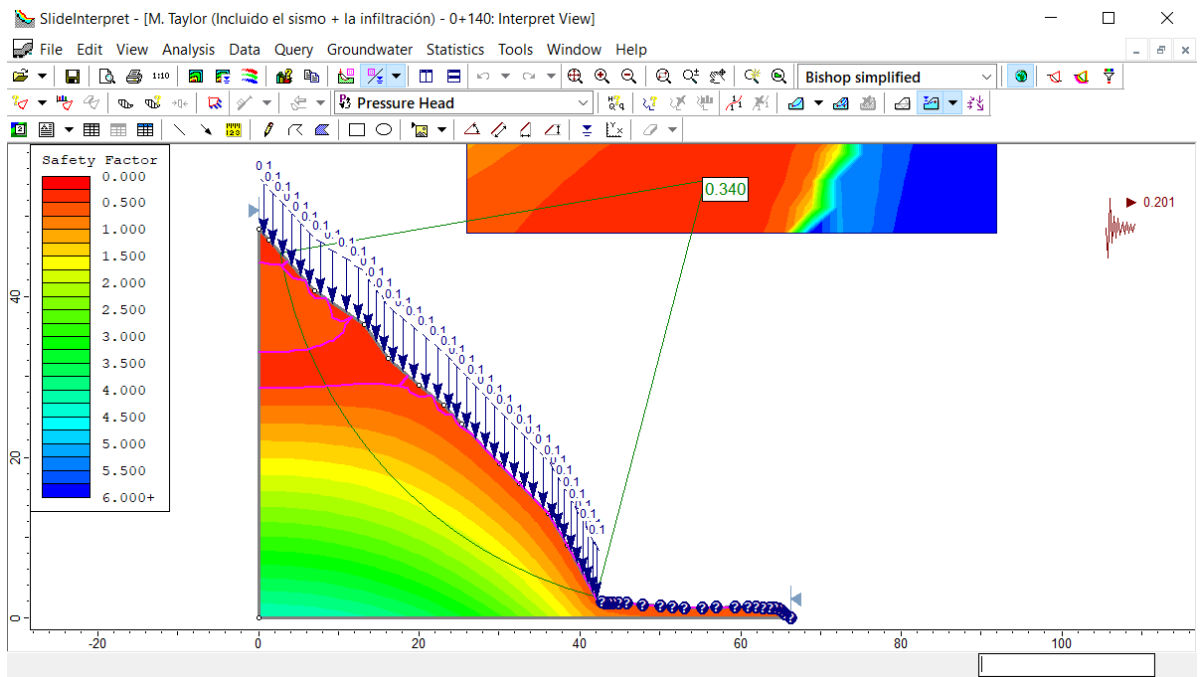
**Figura 94.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



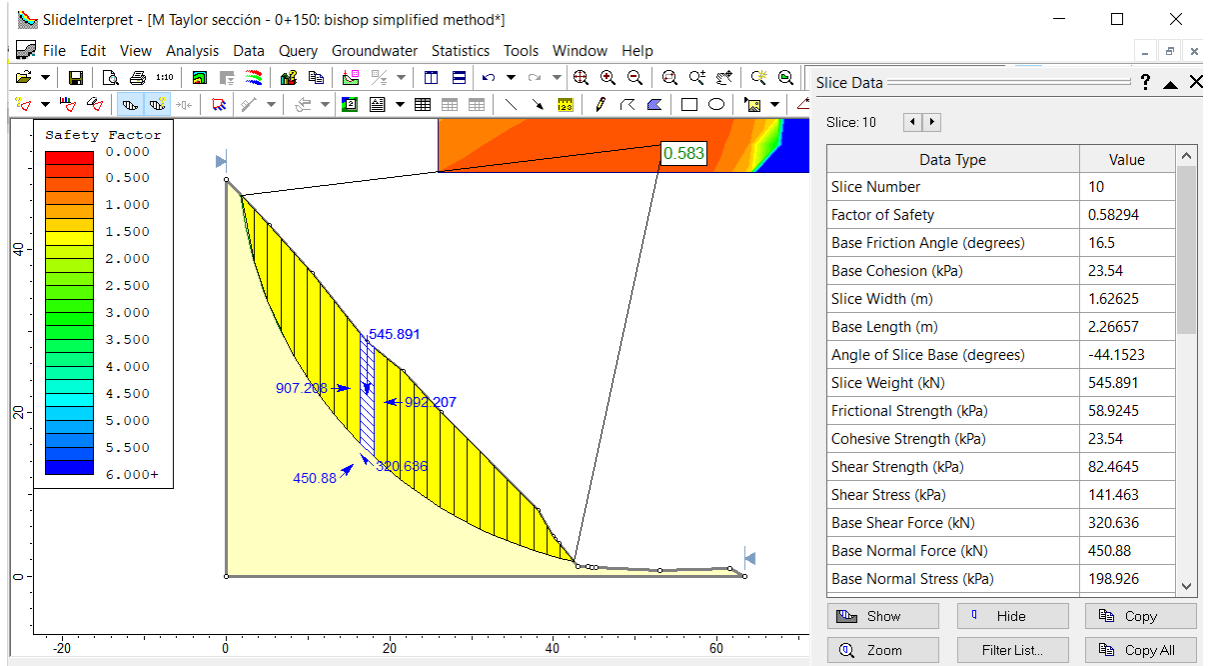
**Figura 95.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



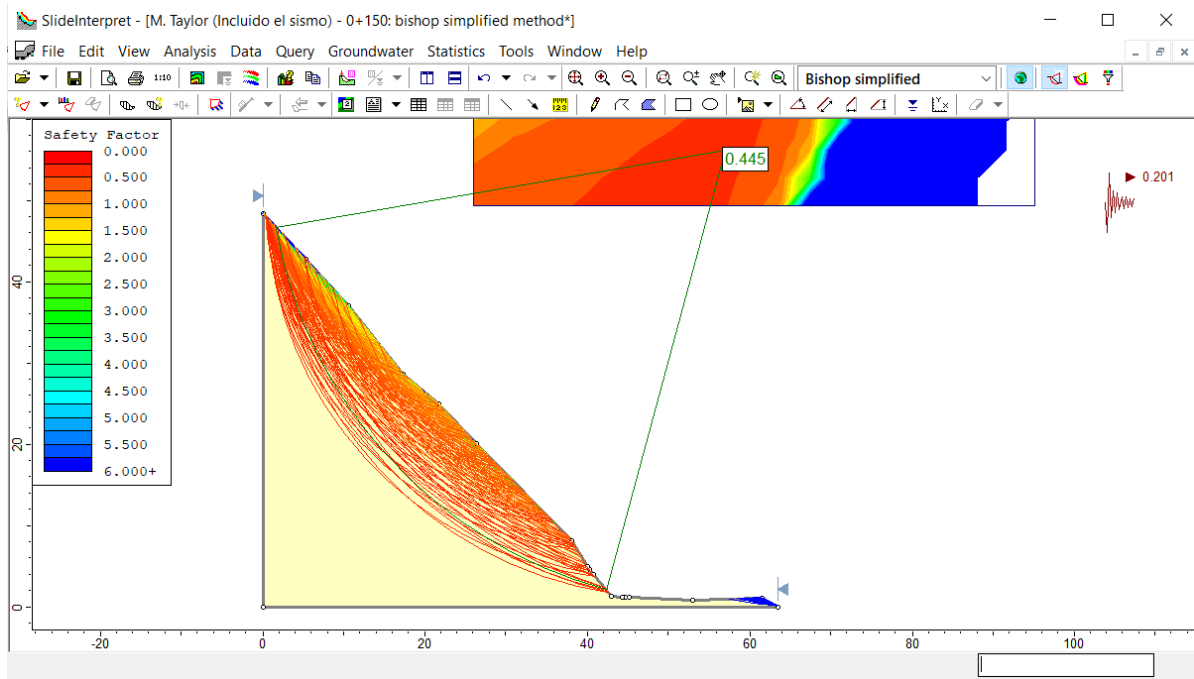
**Figura 96.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



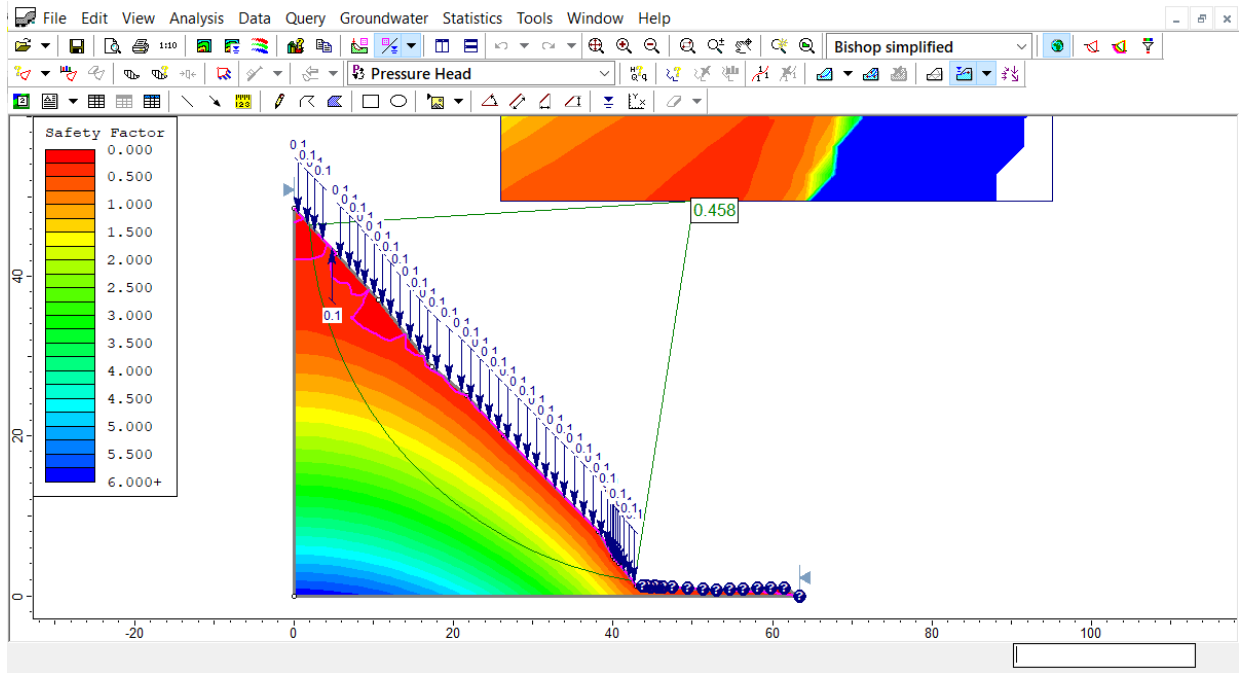
**Figura 97.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



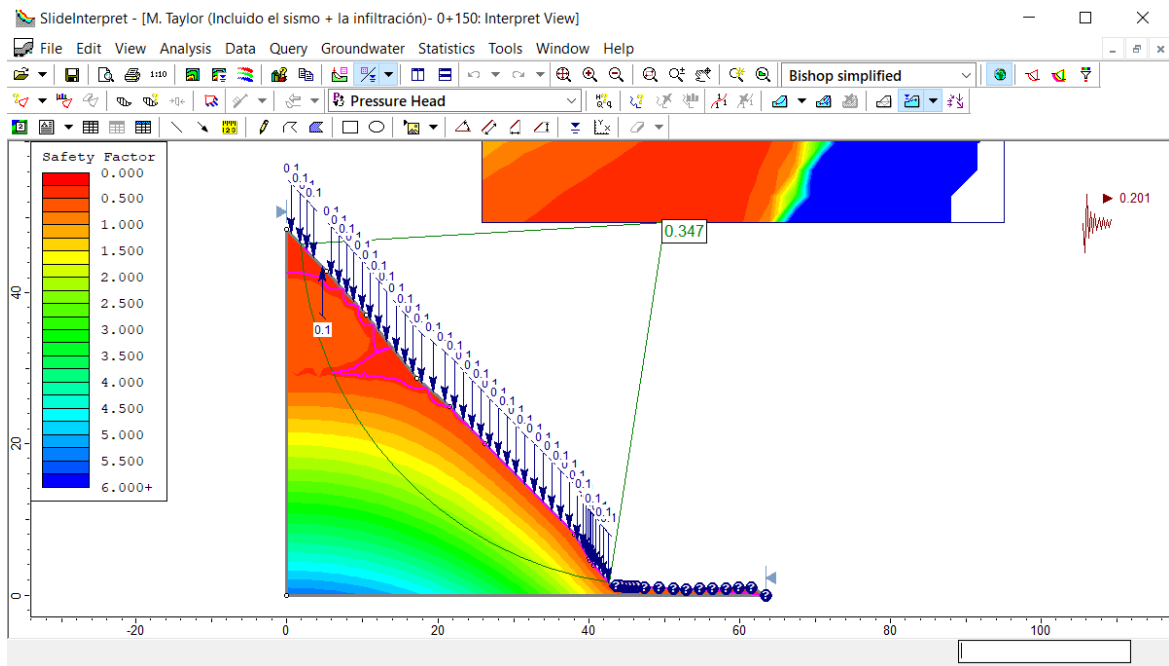
**Figura 98.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



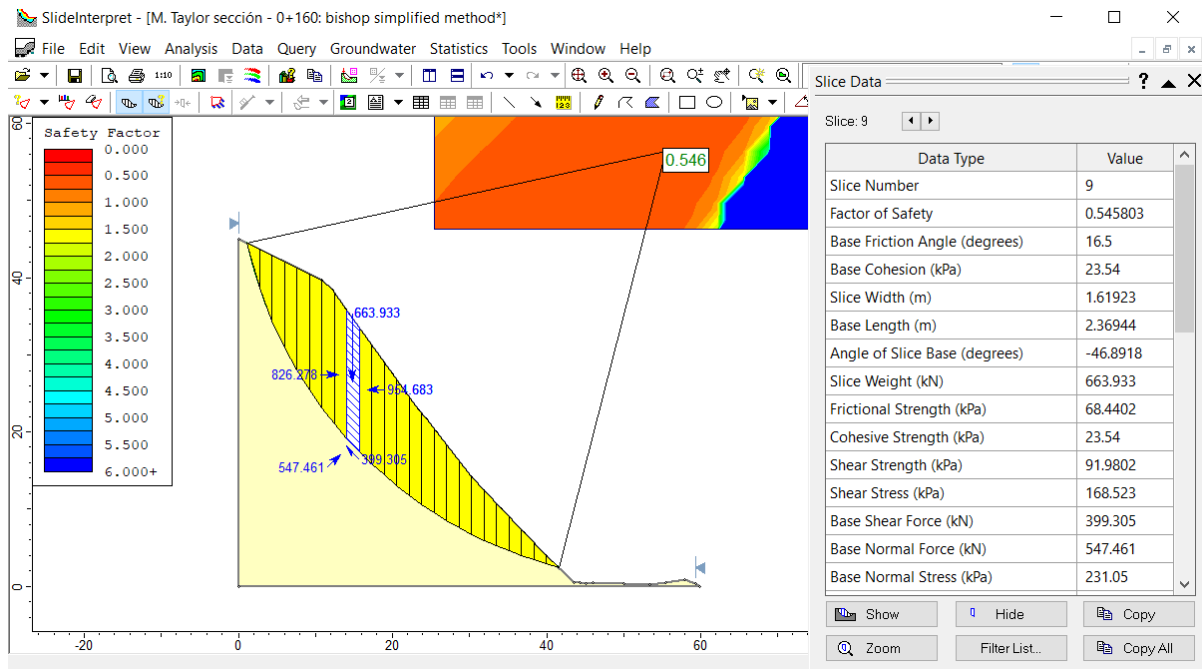
**Figura 99.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



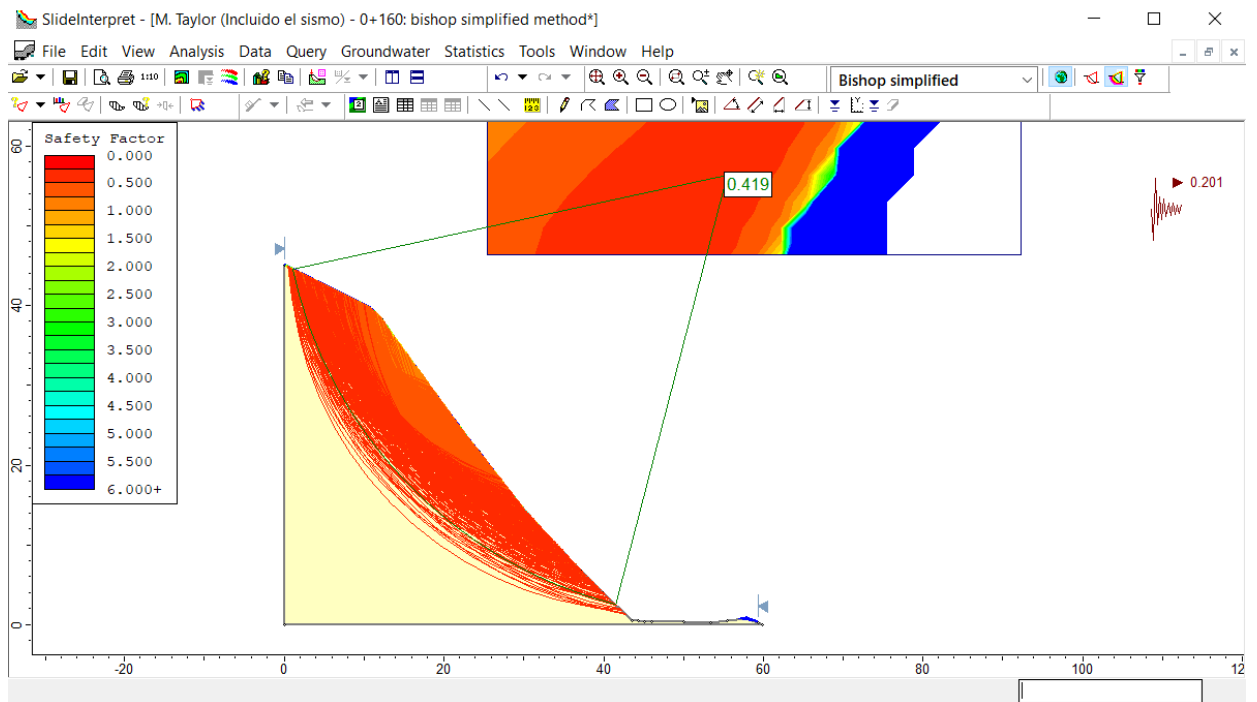
**Figura 100.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



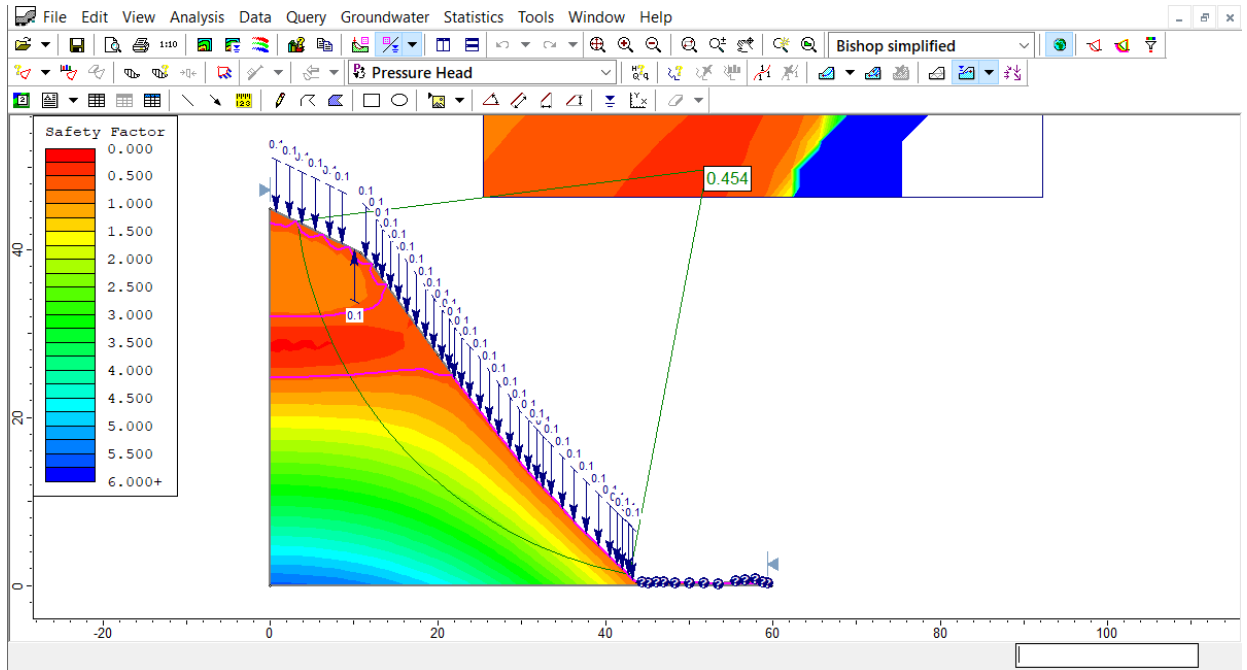
**Figura 101.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



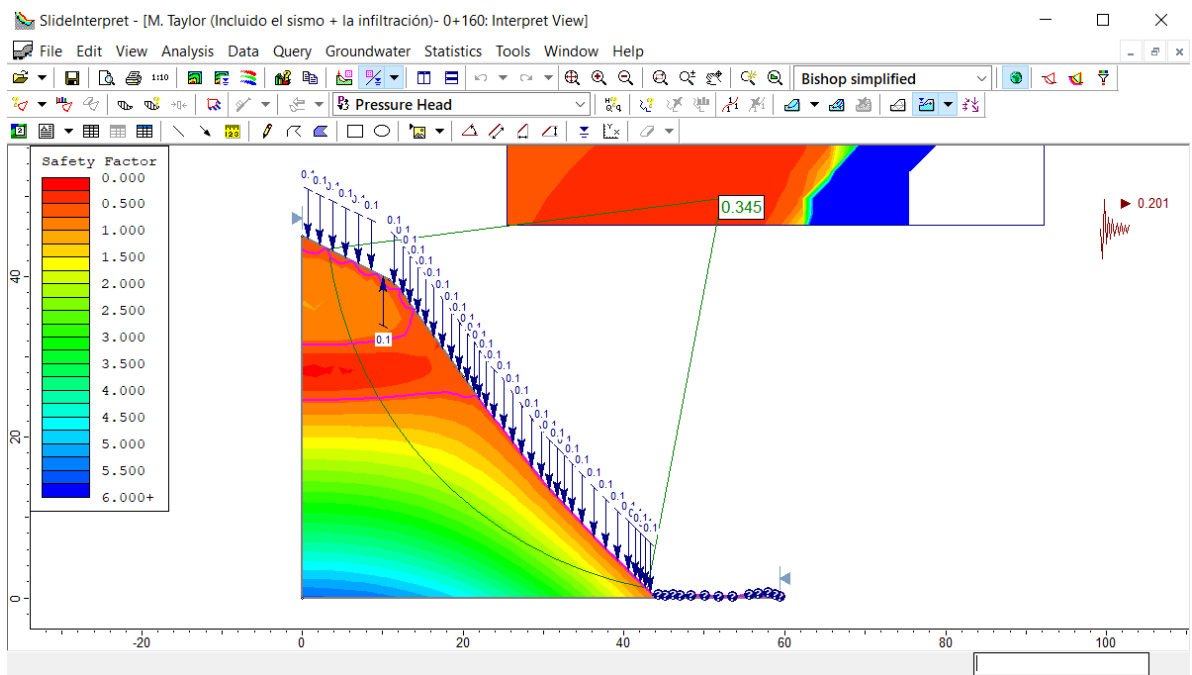
**Figura 102.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



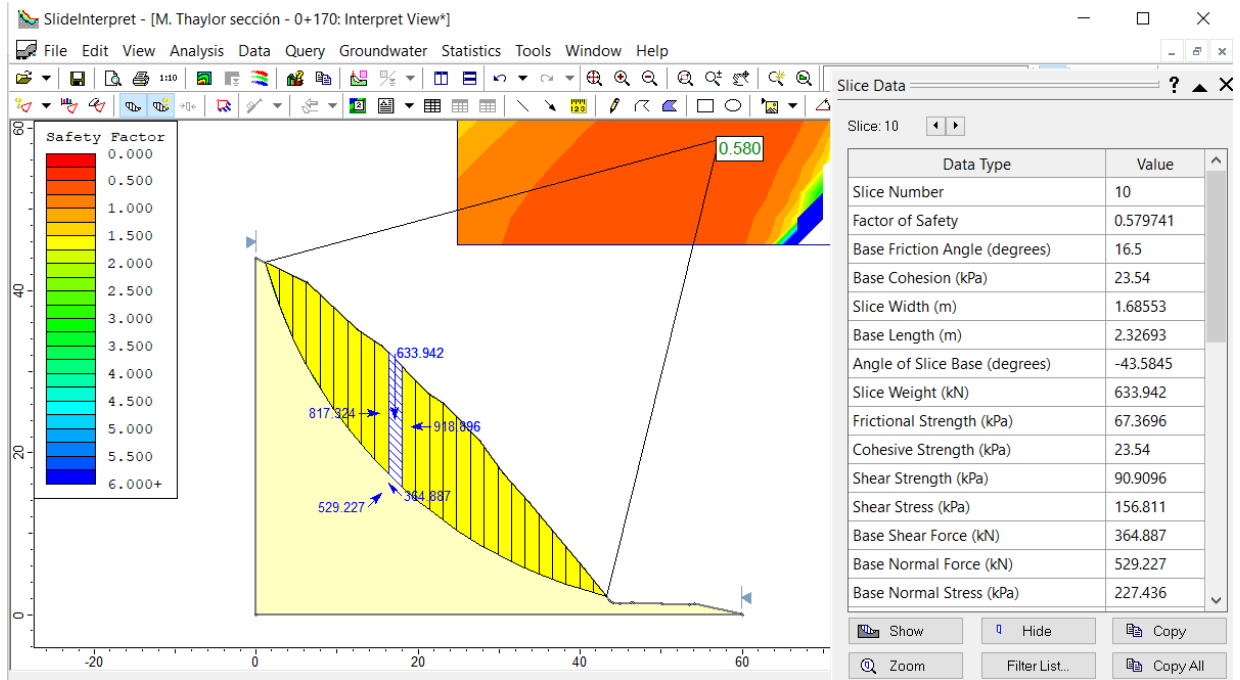
**Figura 103.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



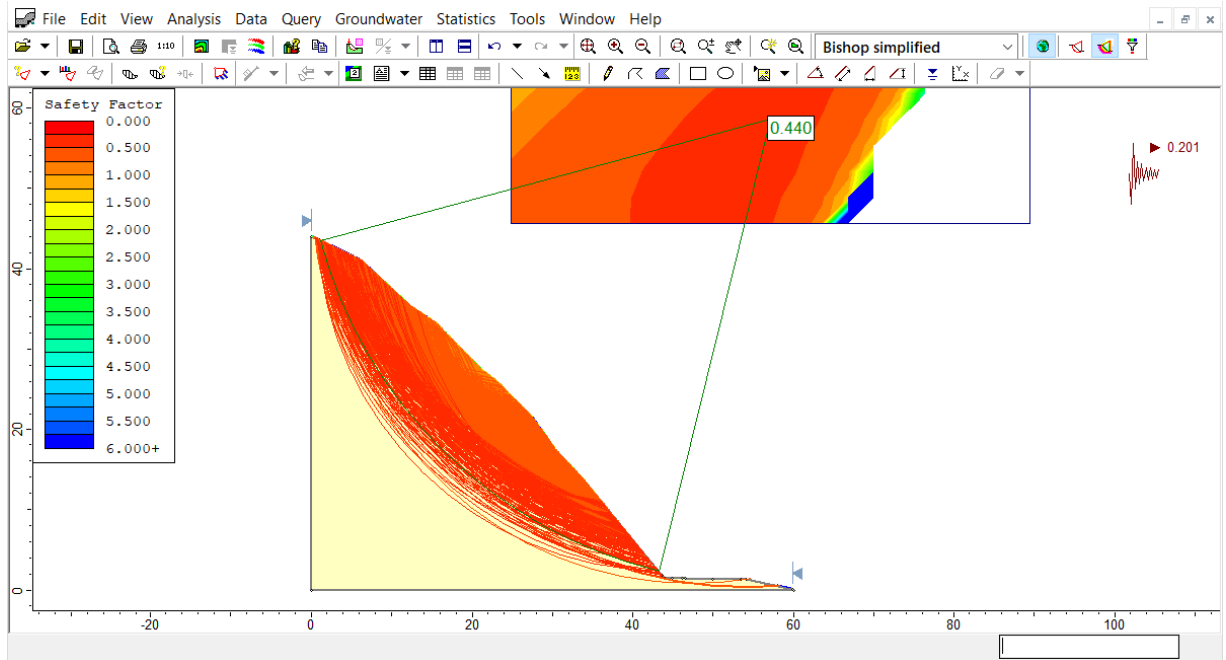
**Figura 104.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



**Figura 105.**

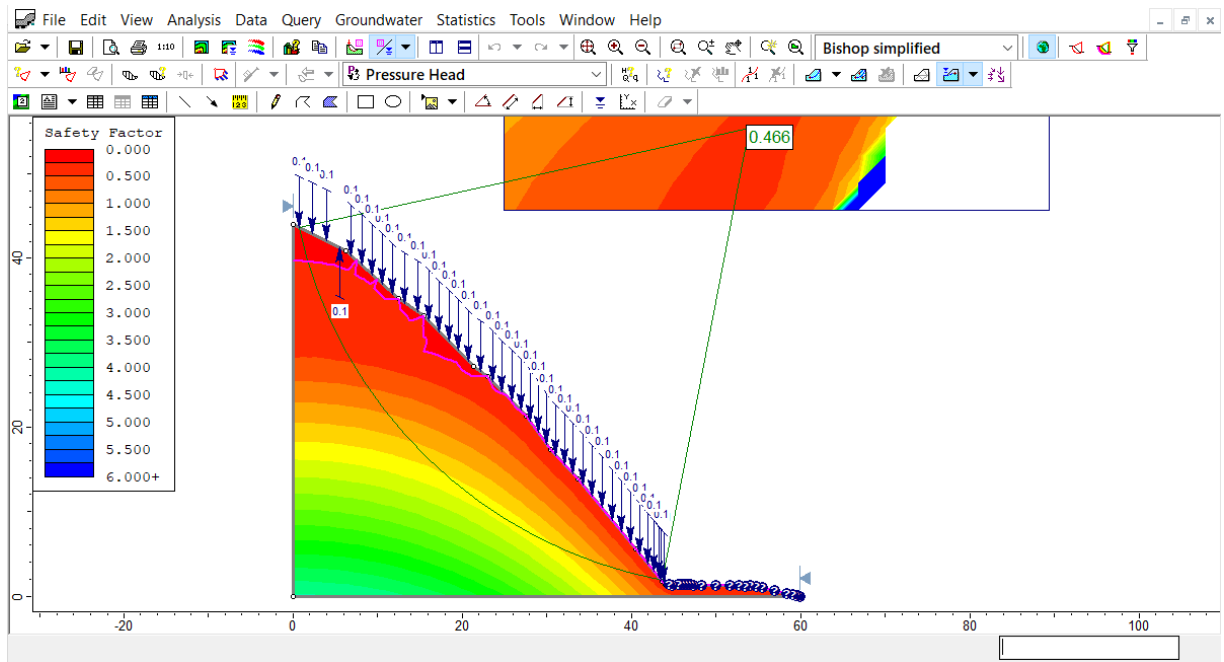
*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*





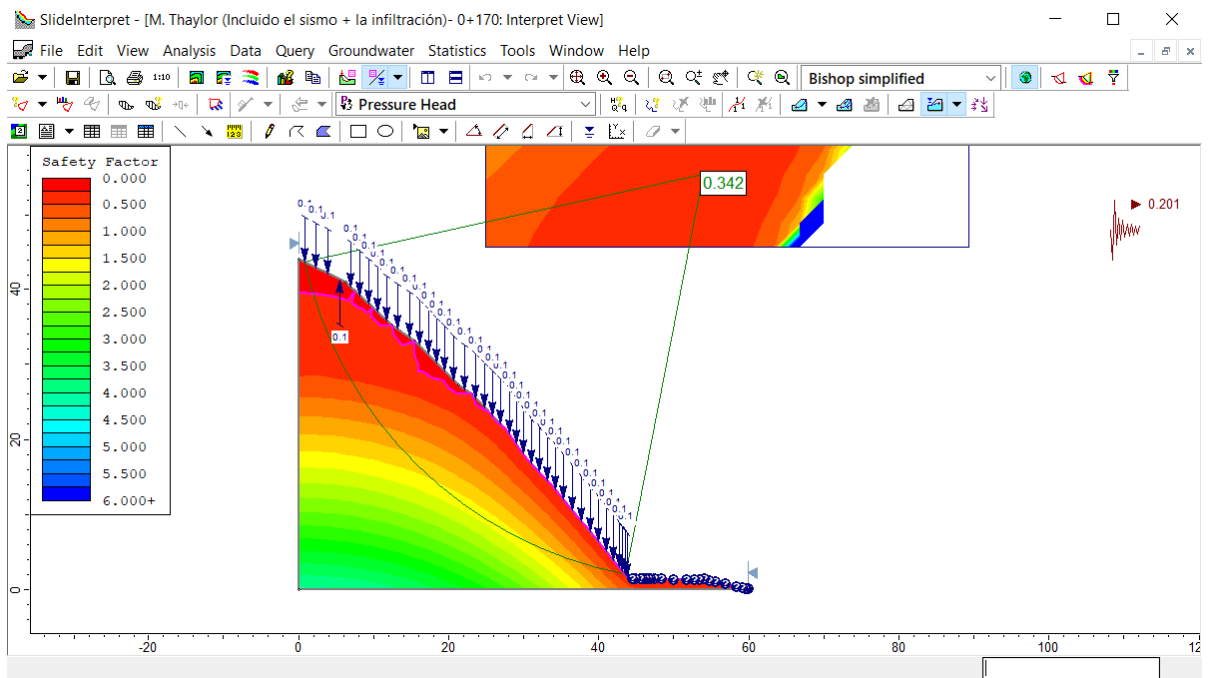
**Figura 106.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



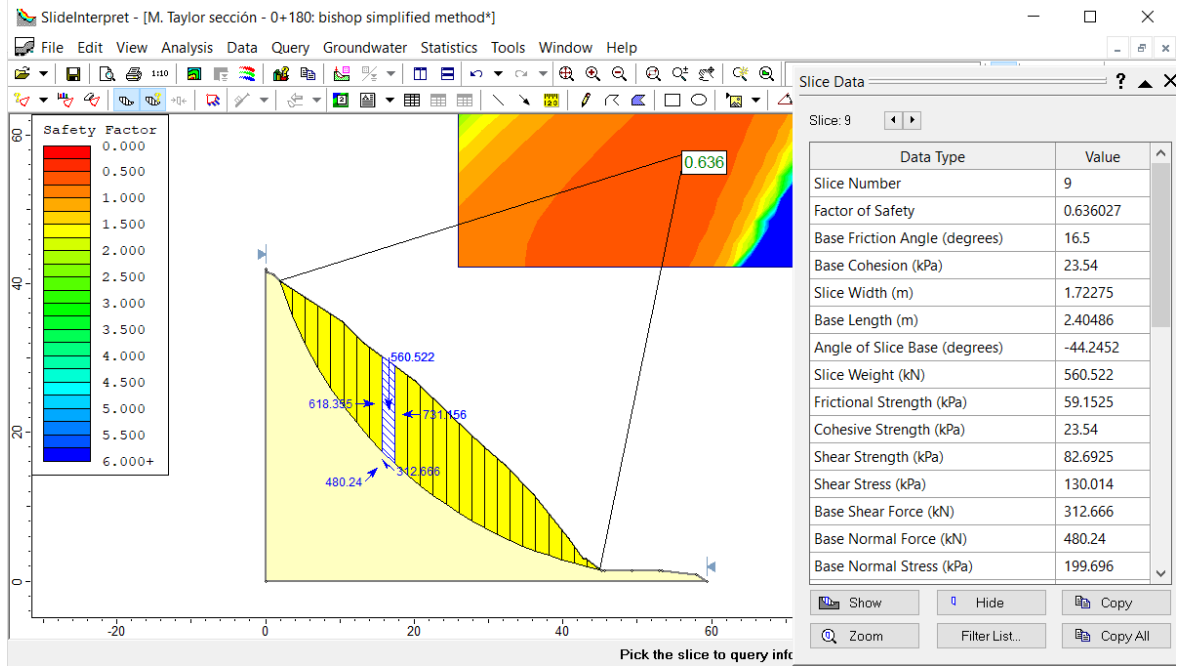
**Figura 107.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



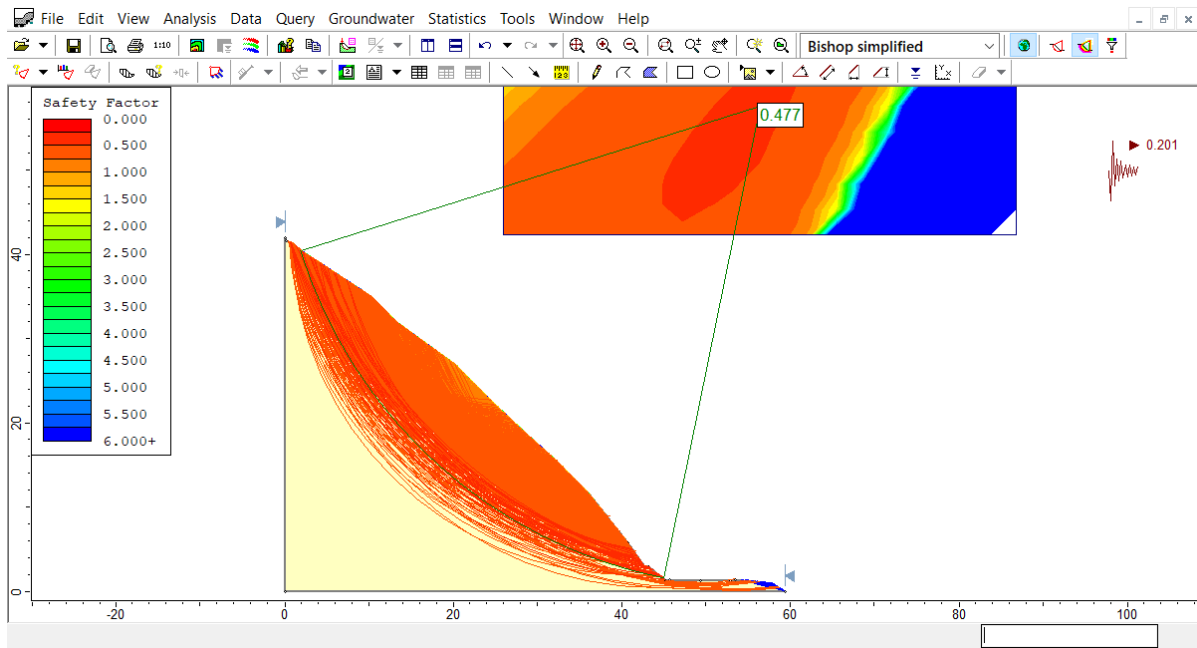
**Figura 108.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



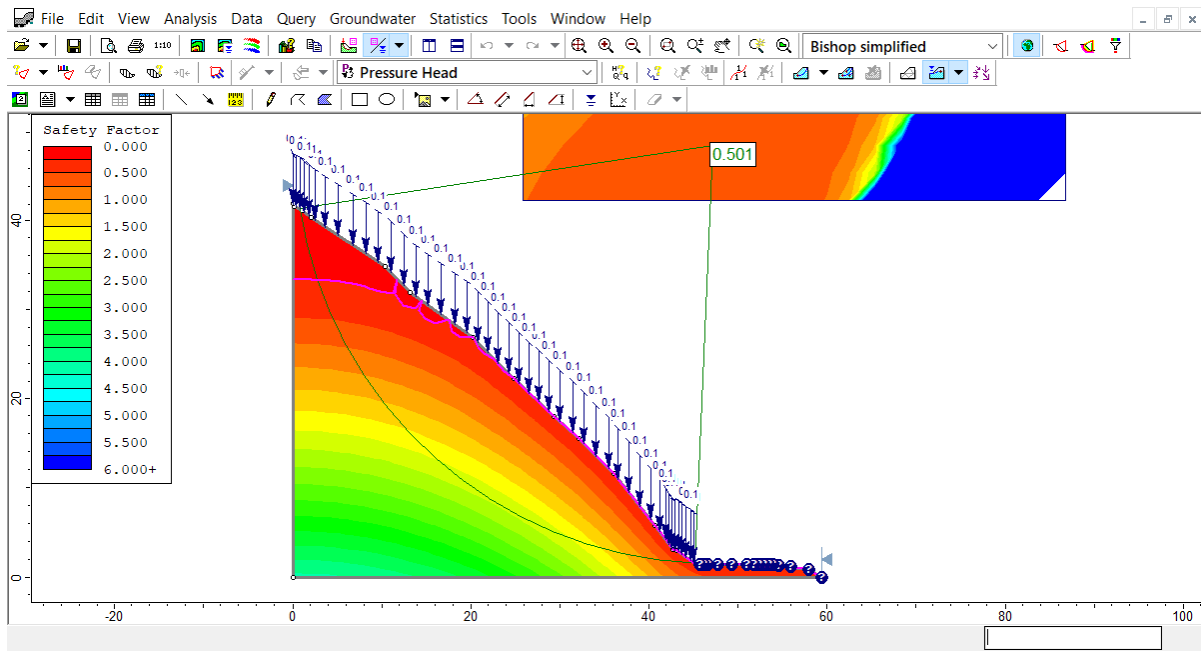
**Figura 109.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



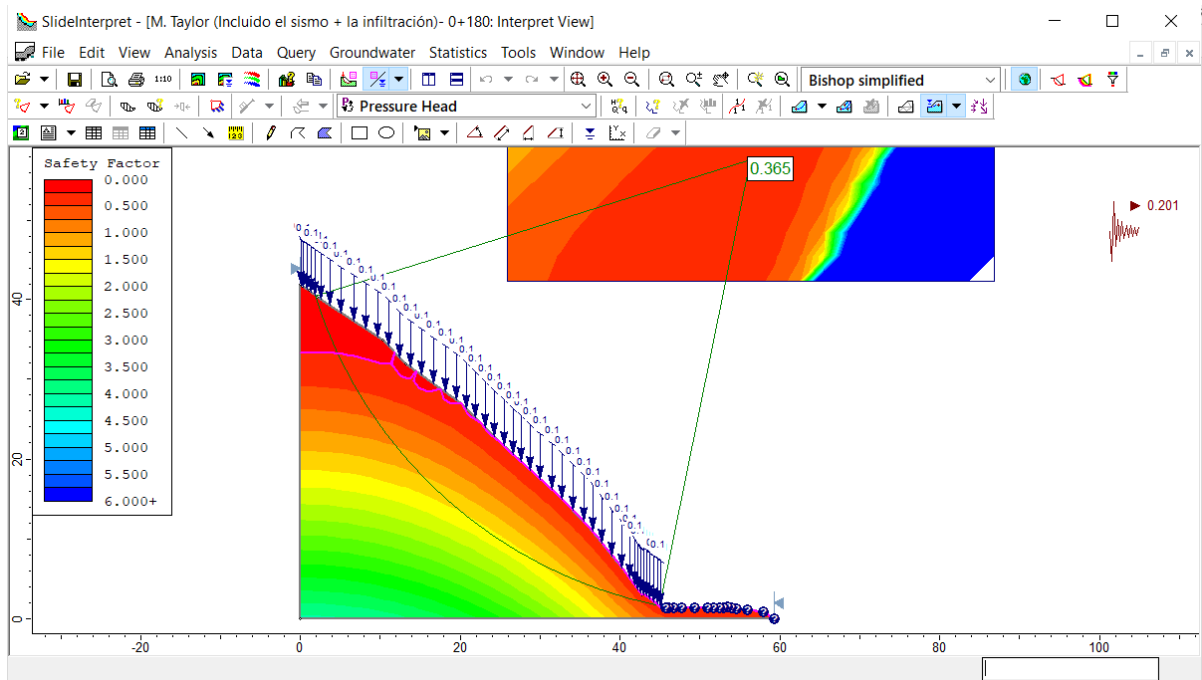
**Figura 110.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



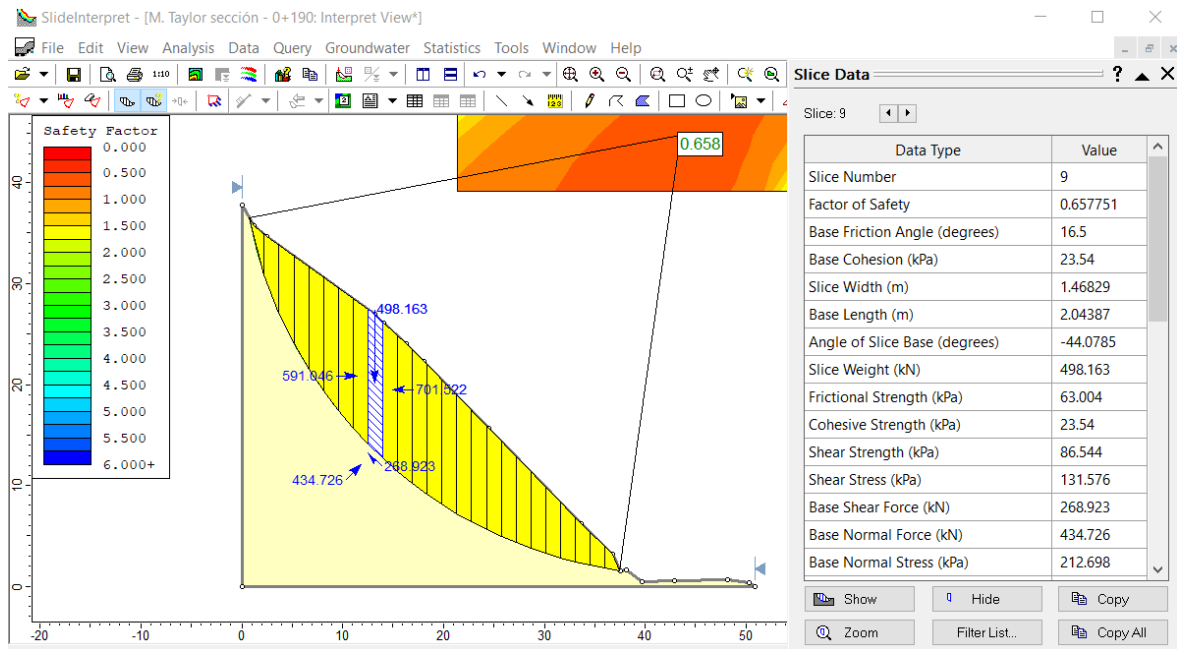
**Figura 111.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



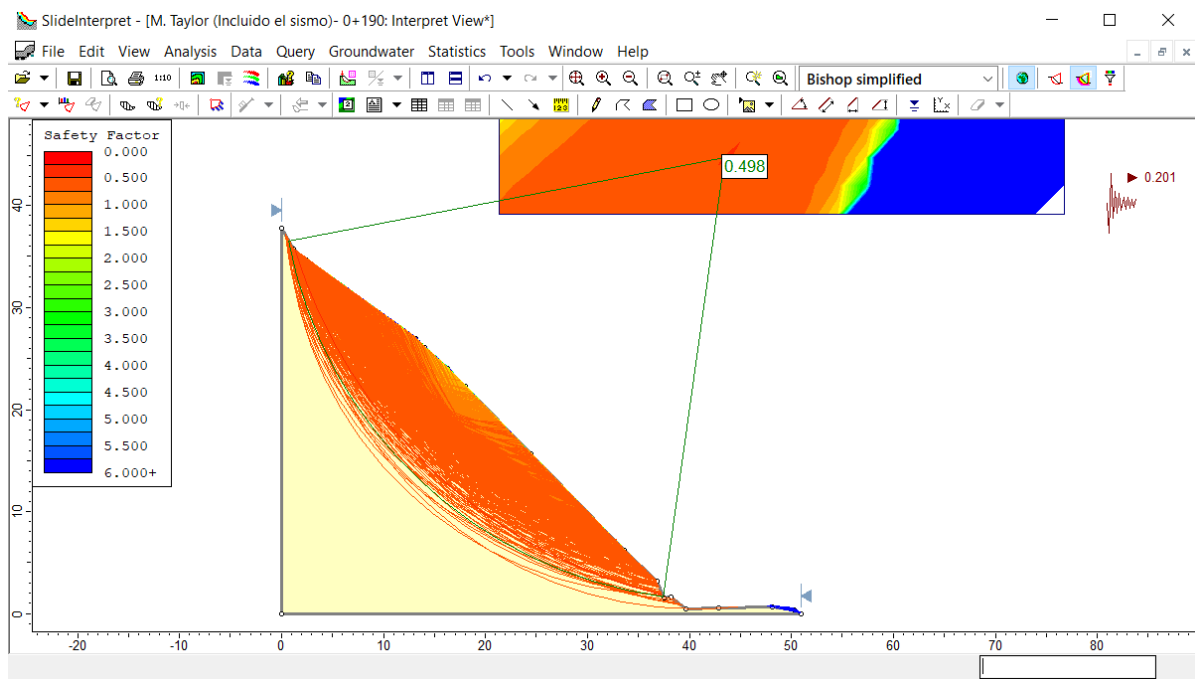
**Figura 112.**

*Factor de seguridad estático para la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



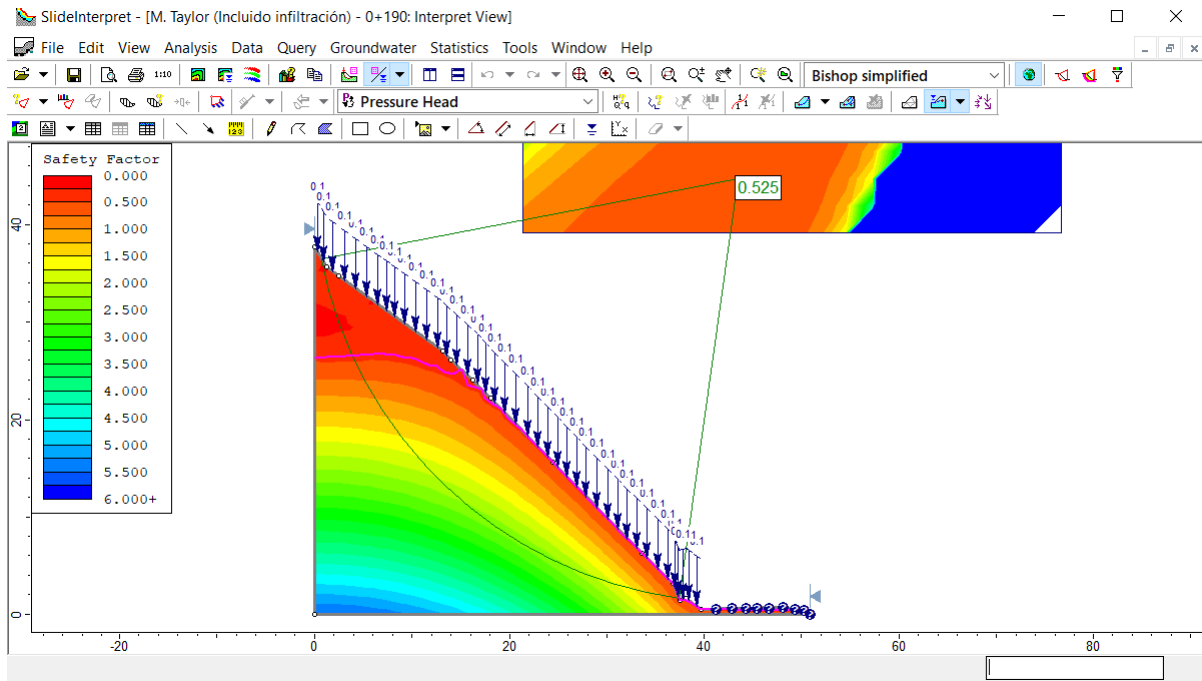
**Figura 113.**

*Factor de seguridad dinámico para la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método determinístico*



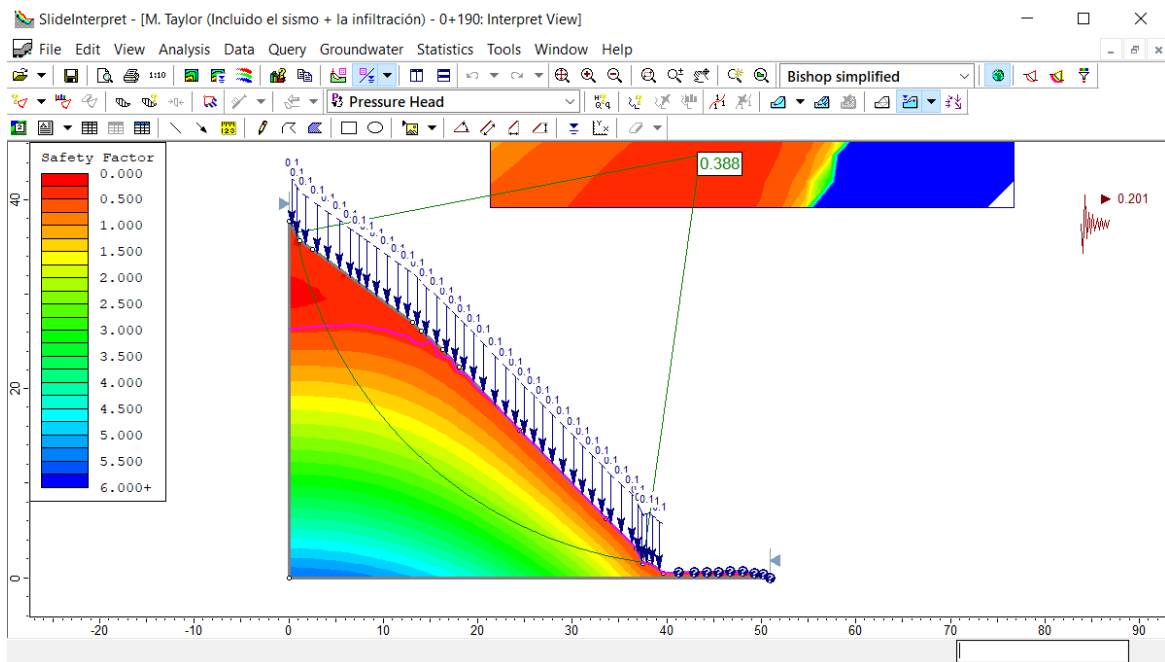
**Figura 114.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



**Figura 115.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros por el método determinístico*



### **5.1.3. Análisis de estabilidad de taludes por la metodología Monte Carlo**

Para determinar el F.S. estático, dinámico y por infiltración frente a precipitaciones pluviales por la metodología probabilística de Monte Carlo, del talud Peña de los Loros en el tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, se han utilizado los datos de mecánica de suelos de la calicata 1, 2 y 3, mismas que según el polígono de Thiessen le corresponde las secciones de 0+020 a 0+060 (calicata 3), 0+070 a 0+130 (calicata 1) y 0+140 a 0+190 (calicata 2), donde la calicata 1, 2 y 3, tienen cohesión de 25.50 kN/m<sup>2</sup>, 23.54 kN/m<sup>2</sup> y 23.54 kN/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción de 18°, 16.5° y 16.5°, peso específico de 24.9 kN/m<sup>3</sup>, 25 kN/m<sup>3</sup> y 25.20 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente, pero para el modelo probabilístico se consideran a estos parámetros como variables aleatorias con una desviación estándar de 1.00, a fin de generar 1000 iteraciones del análisis de estabilidad del talud. Así mismo, el talud según la norma E.030 (MVCS, 2018) se ubica en la zona sísmica 3, con un factor de zona de 0.35 y un factor de amplificación del sismo para el tipo de suelo S2 equivalente a 1.15; la aceleración de diseño es igual a la multiplicación del factor de zona por el factor de amplificación sísmica, y el factor pseudo estático según las recomendaciones del AASHTO y la FHWA es igual a la mitad de la aceleración de diseño, por tanto, el coeficiente pseudo estático para el análisis dinámico del talud Peña de los Loros es 0.201. Por último, como precipitación máxima diaria para el análisis estático y dinámico con infiltración por precipitación pluvial se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Cochabamba, estimando que la precipitación máxima diaria para un Tr de 50 años ascendía a 0.10 m/día, y la permeabilidad hidráulica ha sido definida según el tipo de suelo, así para la calicata 1 suelo areno limoso es 10<sup>-3</sup> y para la calicata 2 y 3 suelo limoso de alta plasticidad es 10<sup>-5</sup>.

Al realizar el análisis probabilístico de la estabilidad del talud por la metodología Monte Carlo, se ha determinado que la sección 0+020, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.578 y 0.446, con una probabilidad de falla de 100%, esto se puede observar en el histograma de F.S., donde las barras de color rojo representan los FS menores a 1.00, mientras que el F.S. del talud frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.497 y 0.378, respectivamente; la sección 0+030, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.599 y 0.459, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.499 y 0.374, respectivamente; la sección 0+040, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.556 y 0.425, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.471 y 0.355, respectivamente; la sección 0+050, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.556 y 0.413, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.449 y 0.335, respectivamente; la sección 0+060, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.517 y 0.395, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.418 y 0.313, respectivamente; la sección 0+070, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.565 y 0.434, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.462 y 0.350 respectivamente; la sección 0+080, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.512 y 0.400, con una

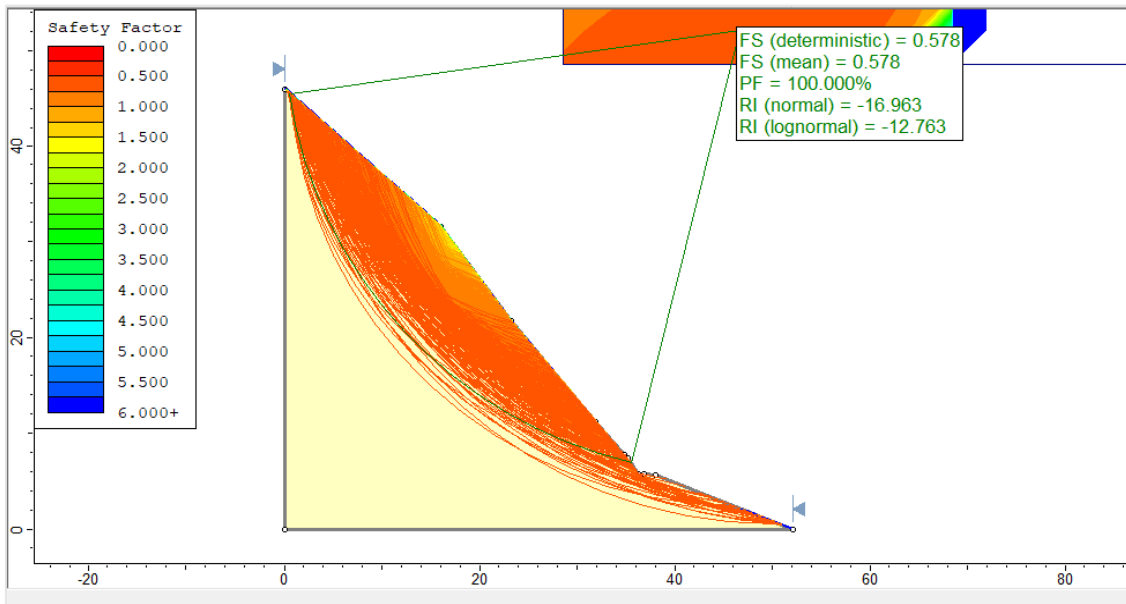
probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.430 y 0.329, respectivamente; la sección 0+090, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.449 y 0.358, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.412 y 0.327, respectivamente; la sección 0+100, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.454 y 0.369, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.427 y 0.337, respectivamente; la sección 0+110, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.561 y 0.437, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.452 y 0.342, respectivamente; la sección 0+120, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.556 y 0.428, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.453 y 0.342, respectivamente; la sección 0+130, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.555 y 0.424, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.440 y 0.329, respectivamente; la sección 0+140, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.567 y 0.429, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.462 y 0.341, respectivamente; la sección 0+150, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.583 y 0.446, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que



el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.468 y 0.347, respectivamente; la sección 0+160, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.546 y 0.419, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.455 y 0.345, respectivamente; la sección 0+170, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.580 y 0.441, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.465 y 0.342, respectivamente; la sección 0+180, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.636 y 0.477, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.501 y 0.366, respectivamente; la sección 0+190, presenta F.S. estático y dinámico promedio de 0.658 y 0.498, con una probabilidad de falla de 100%, mientras que el F.S. frente a infiltraciones por precipitaciones pluviales para la condición estática y dinámica asciende a 0.525 y 0.388, respectivamente.

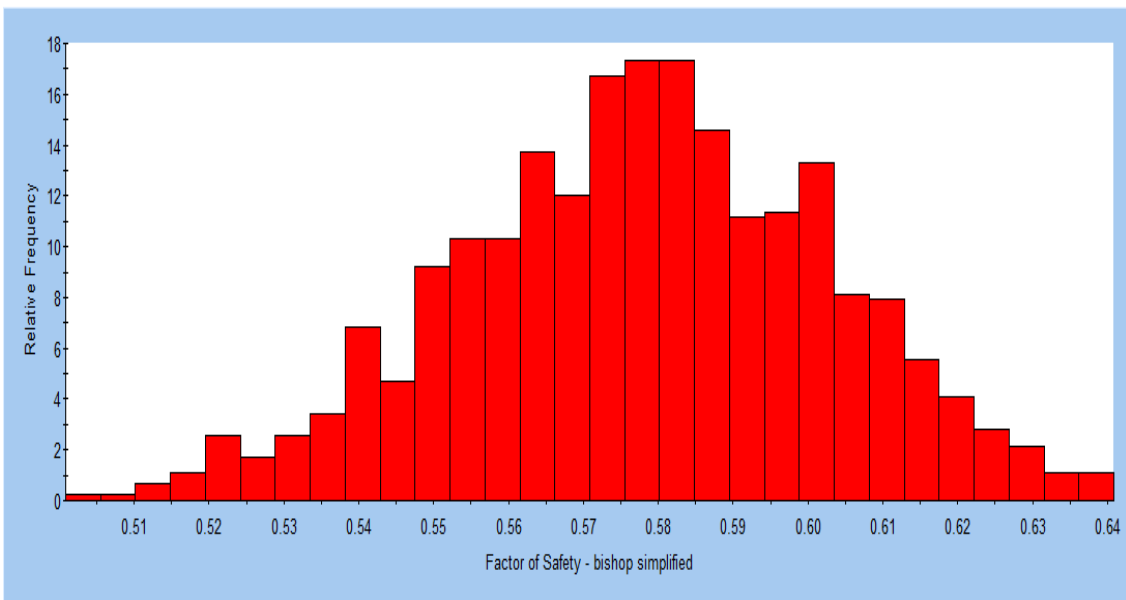
**Figura 116.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



**Figura 117.**

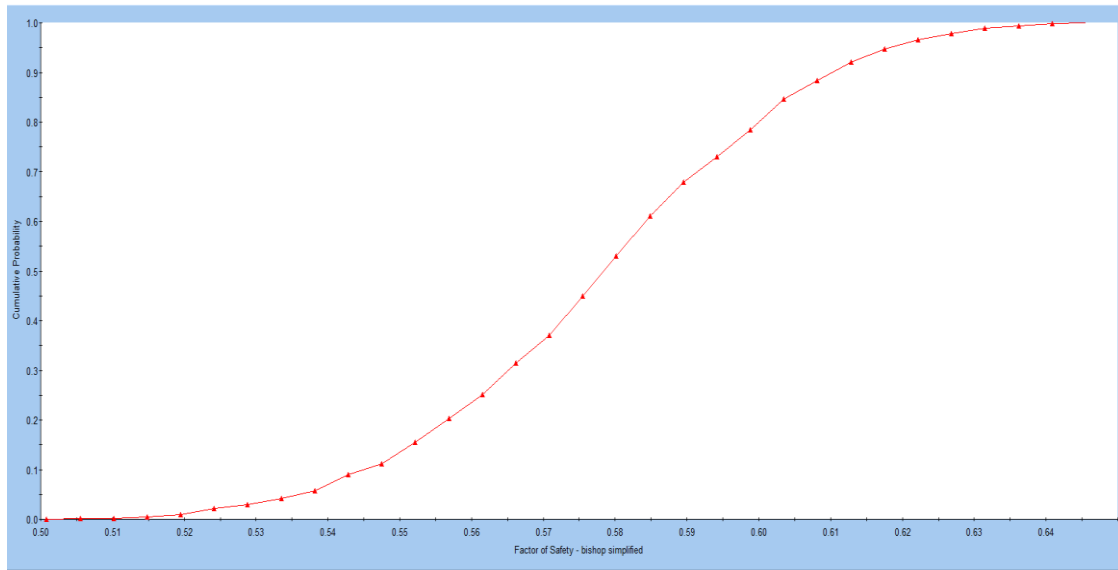
*Histograma del factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



SAMPLED: mean=0.578 s.d.=0.02488 min=0.5008 max=0.6409 (PF=100.000% RI=-16.96325, best fit=Normal distribution)

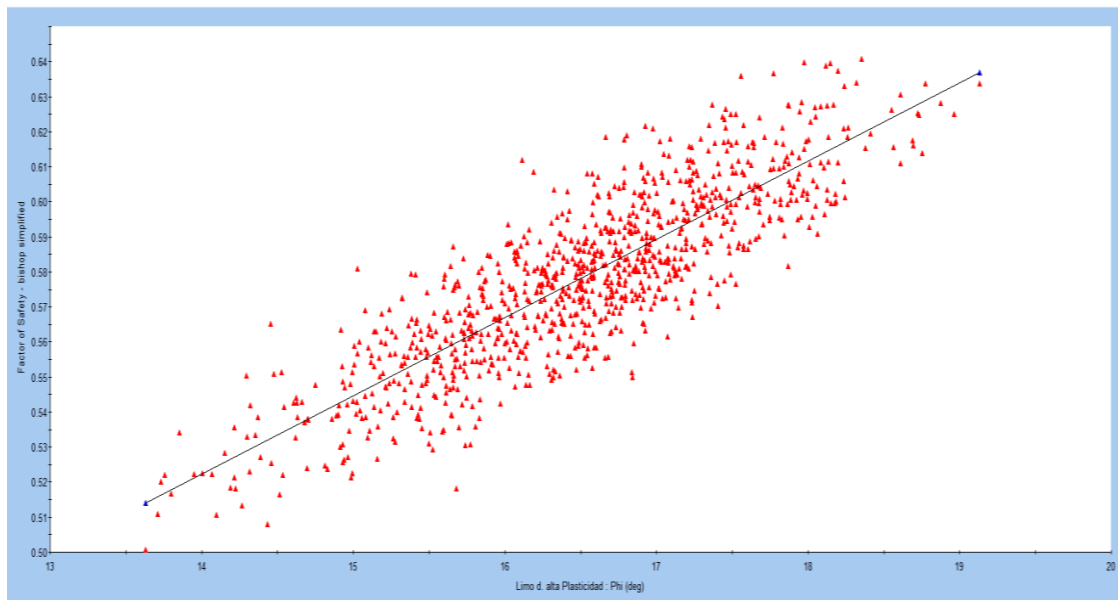
**Figura 118.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+020 del talud Peña de los Loros*



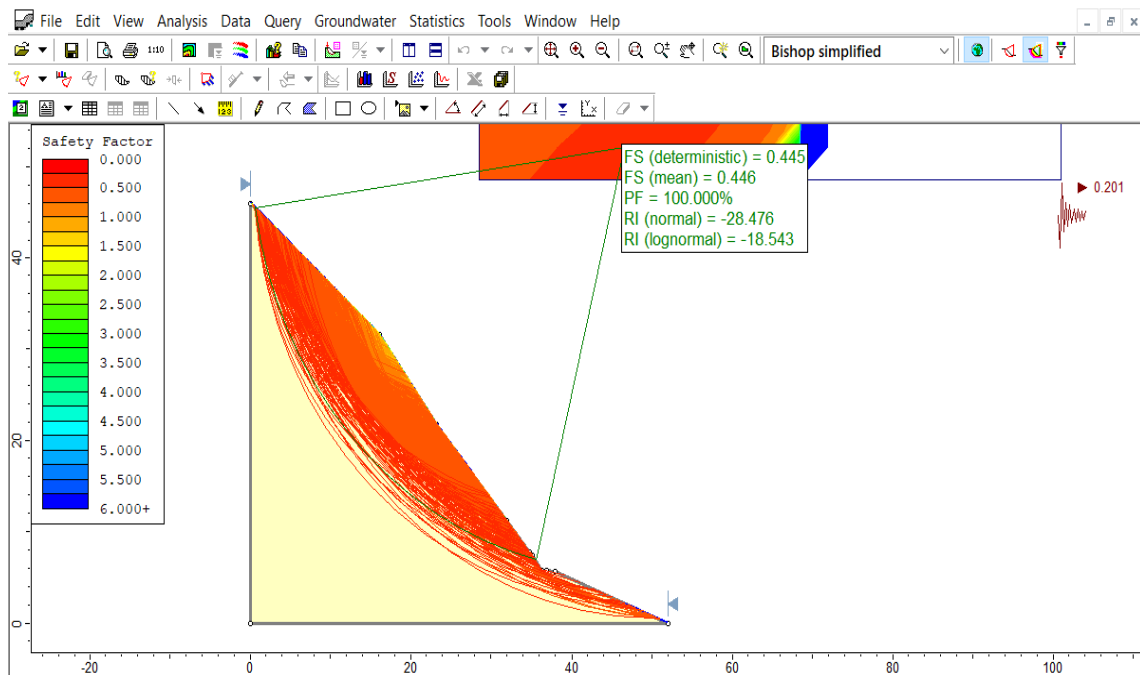
**Figura 119.**

*Relación entre el ángulo de fricción y factor de seguridad del suelo de la calicata 3, sección 0+020 del talud Peña de los Loros*



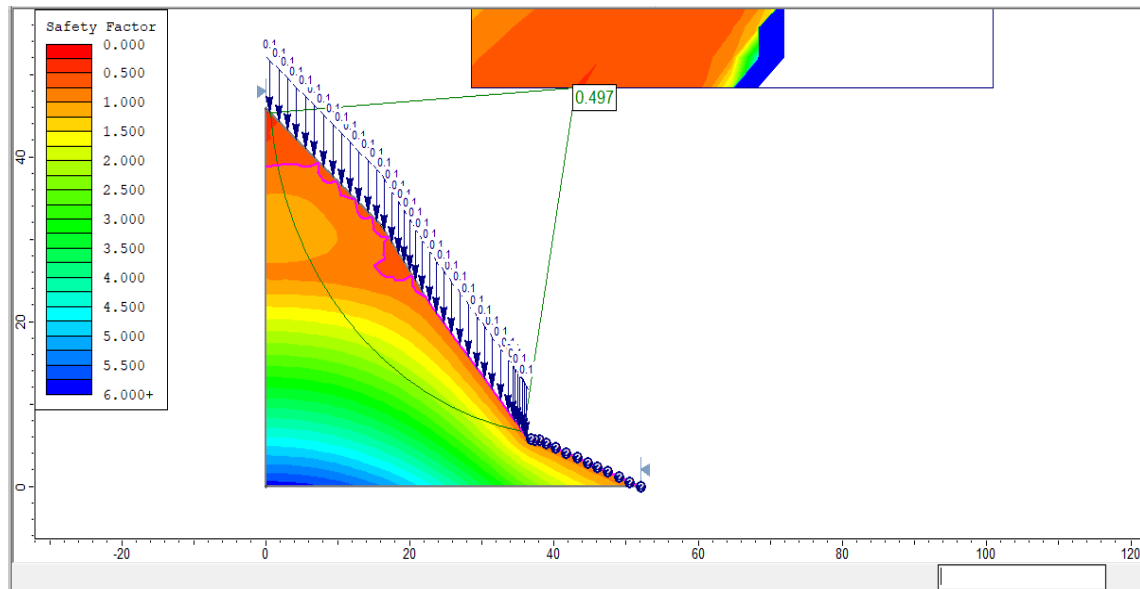
**Figura 120.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



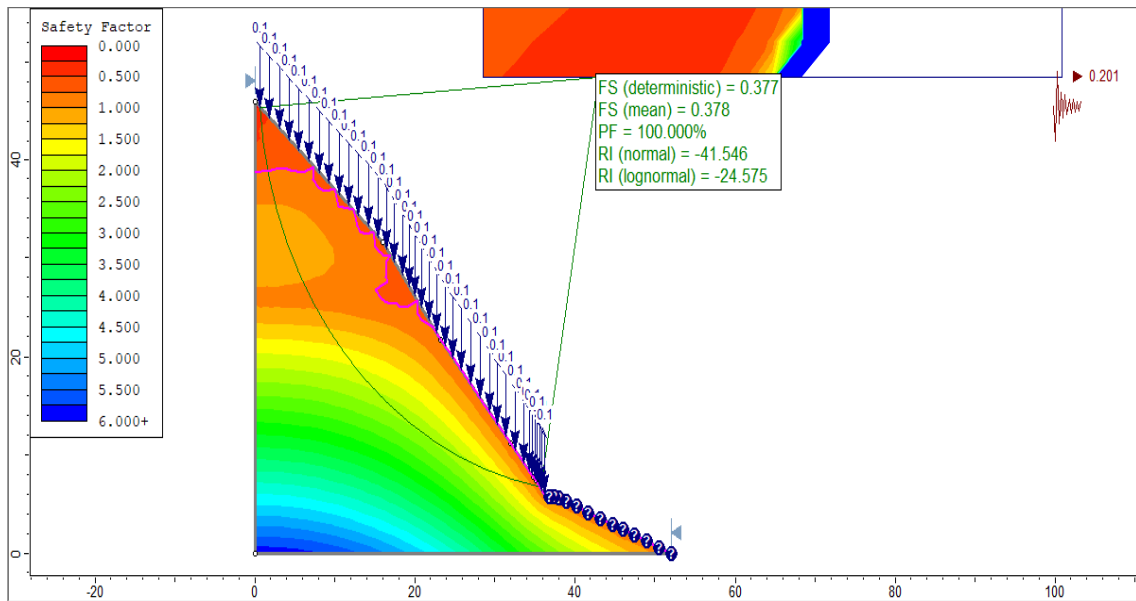
**Figura 121.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



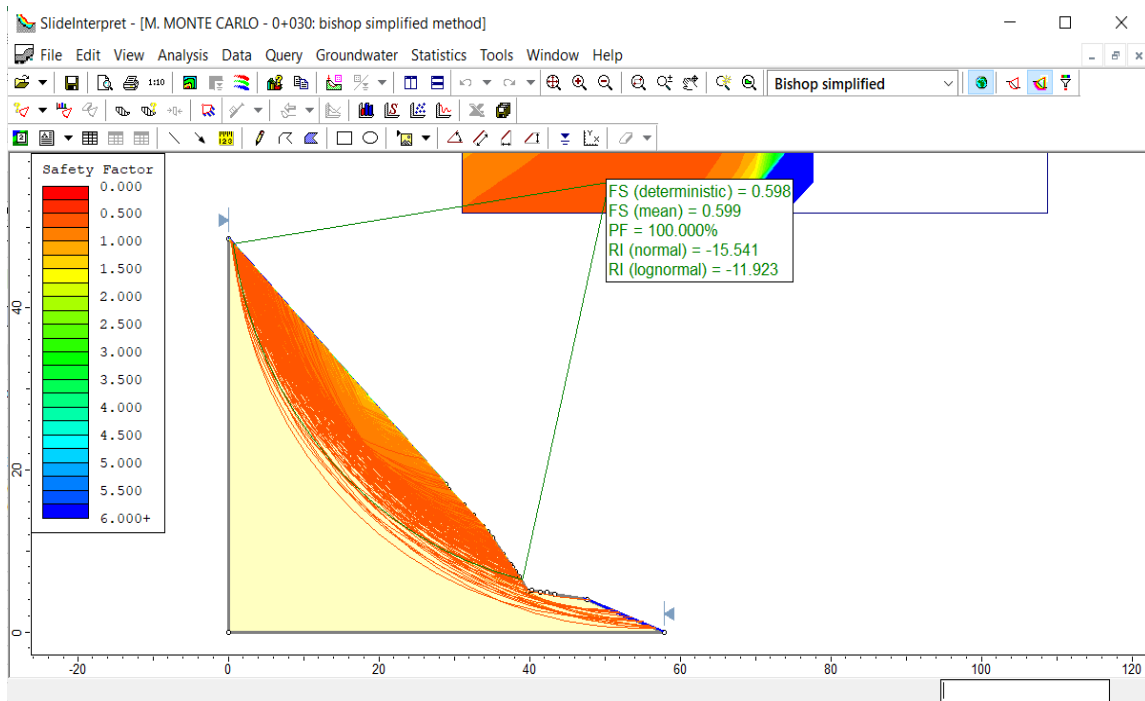
**Figura 122.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+020 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



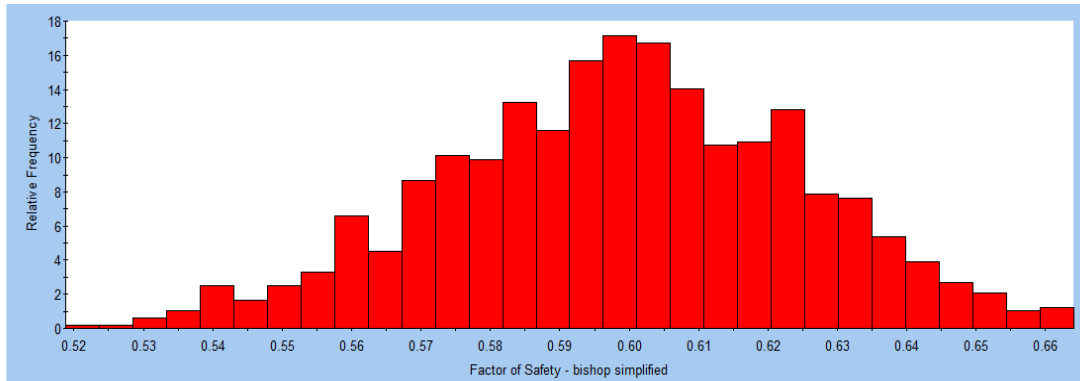
**Figura 123.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



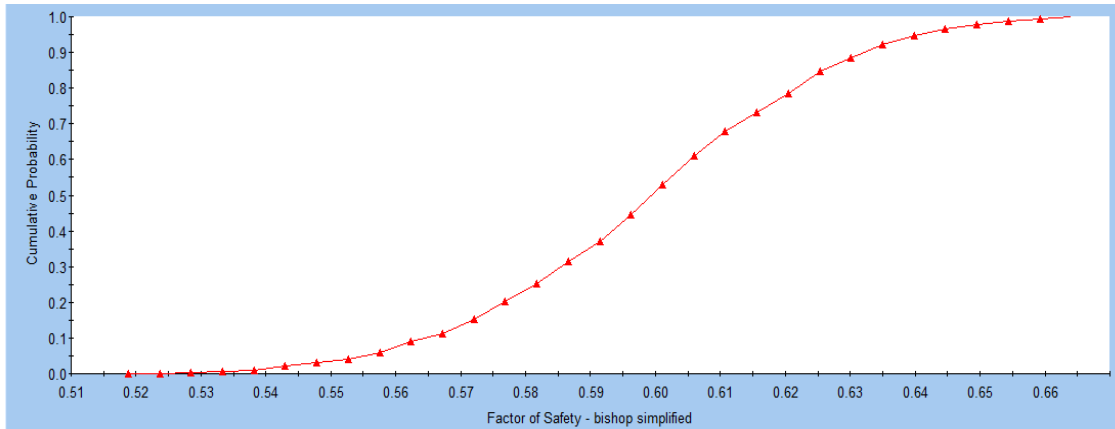
**Figura 124.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 125.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+030 del talud Peña de los Loros*



**Figura 126.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+030 del talud Peña de los Loros*

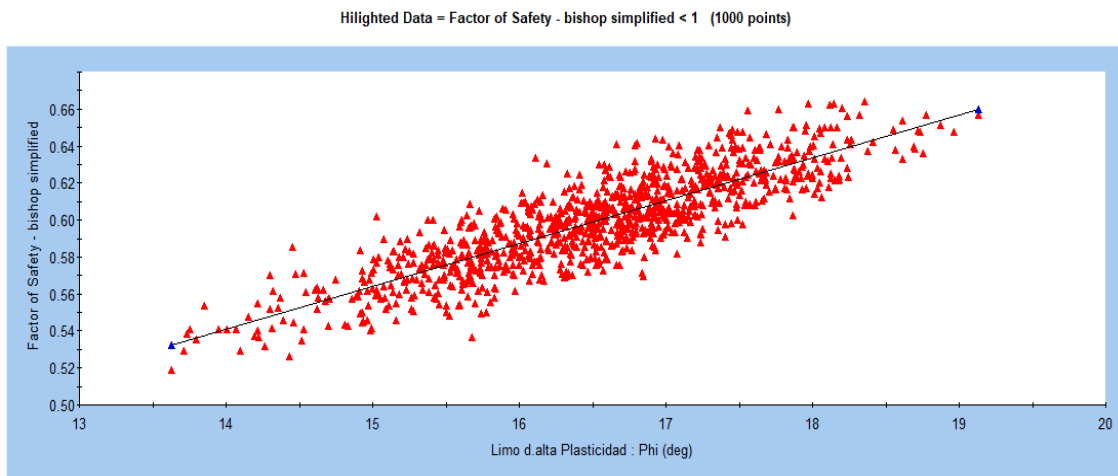


Figura 127.

Factor de seguridad dinámico, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico

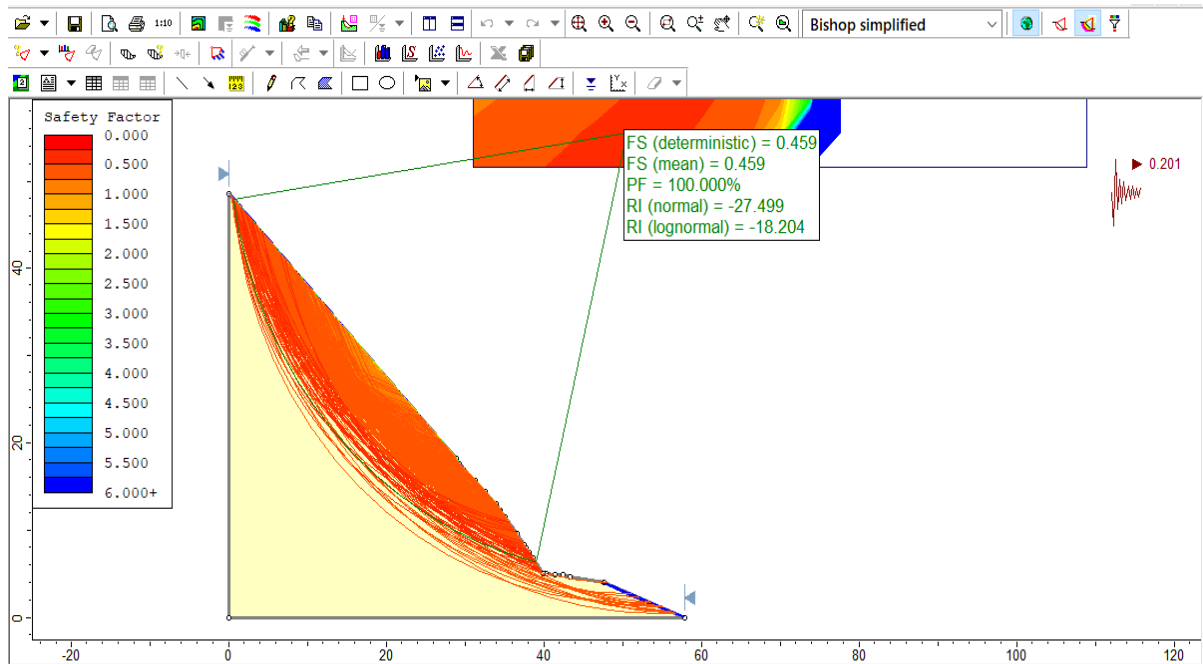
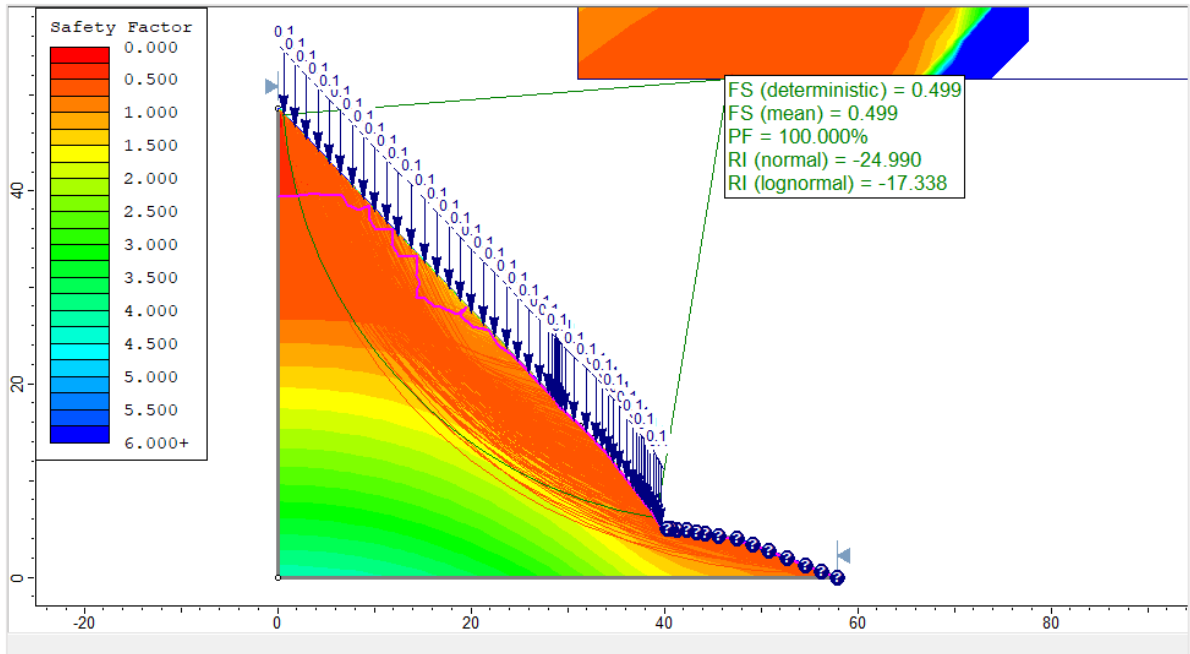


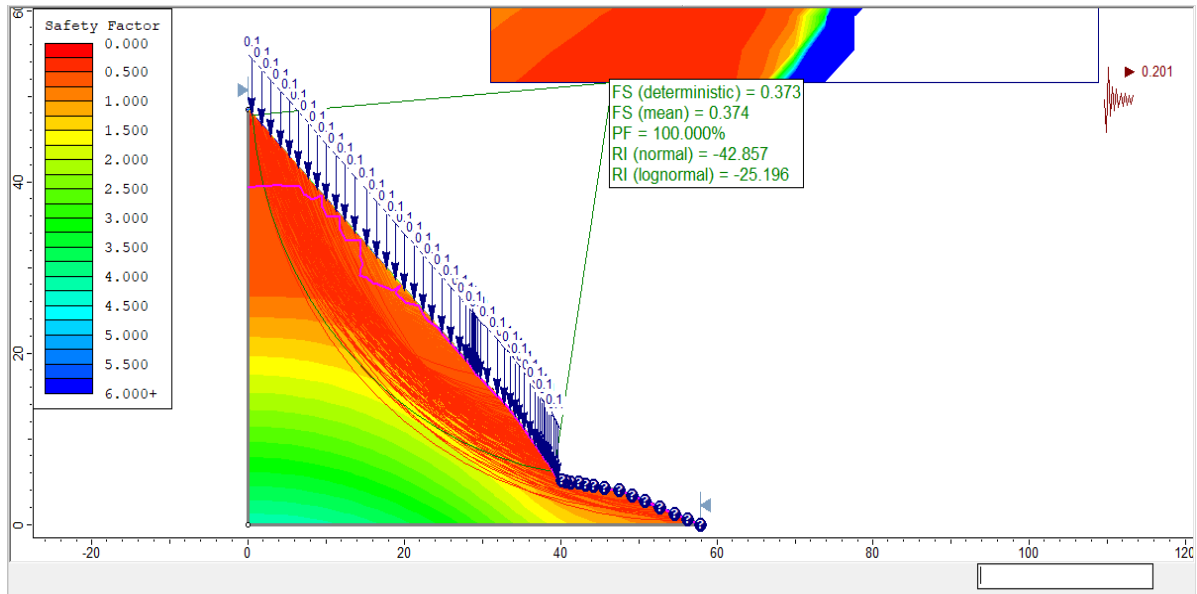
Figura 128.

Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico



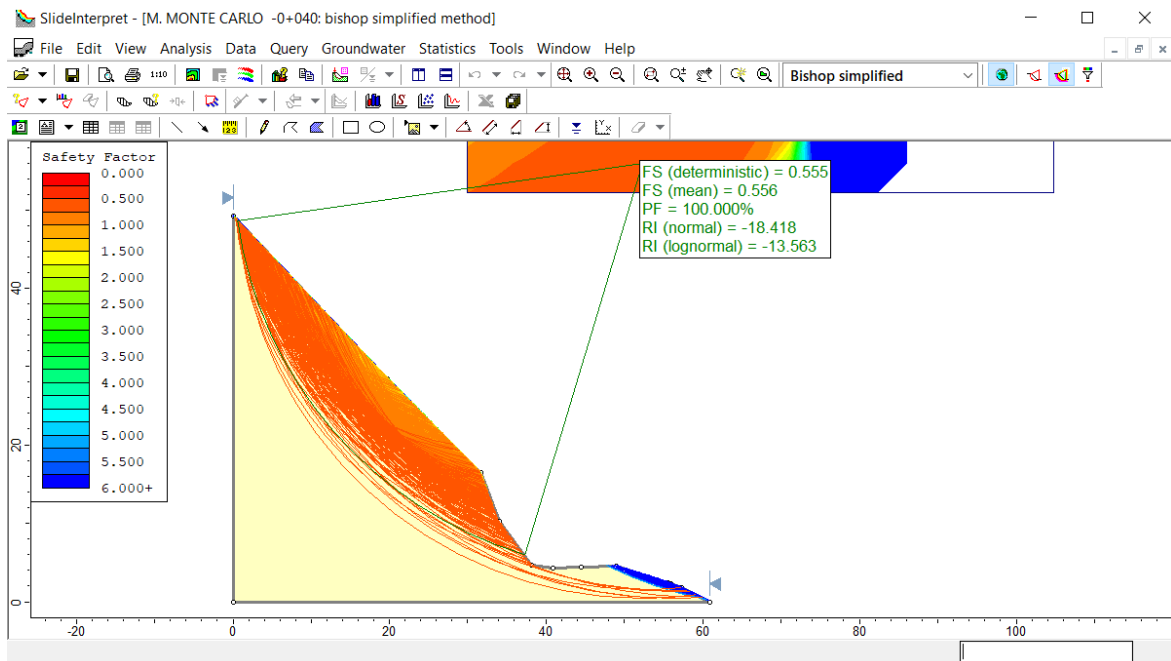
**Figura 129.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+030 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 130.**

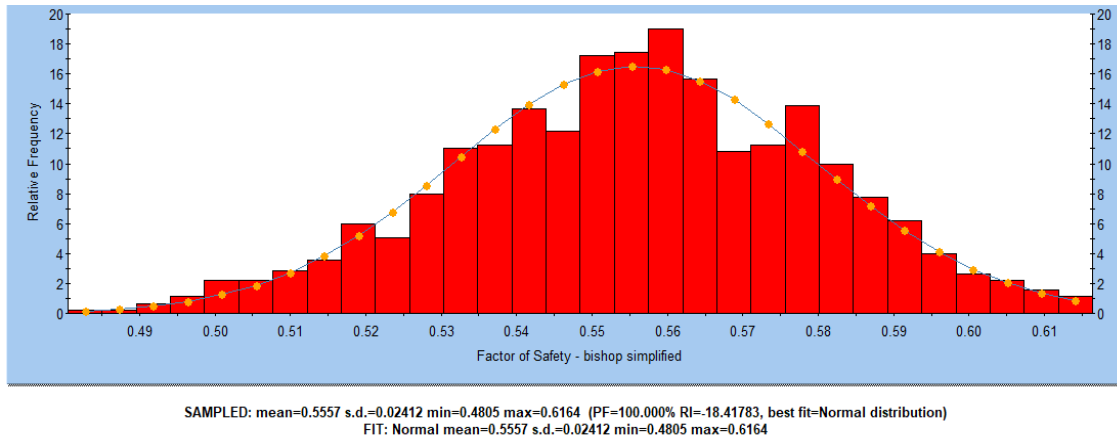
*Factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*





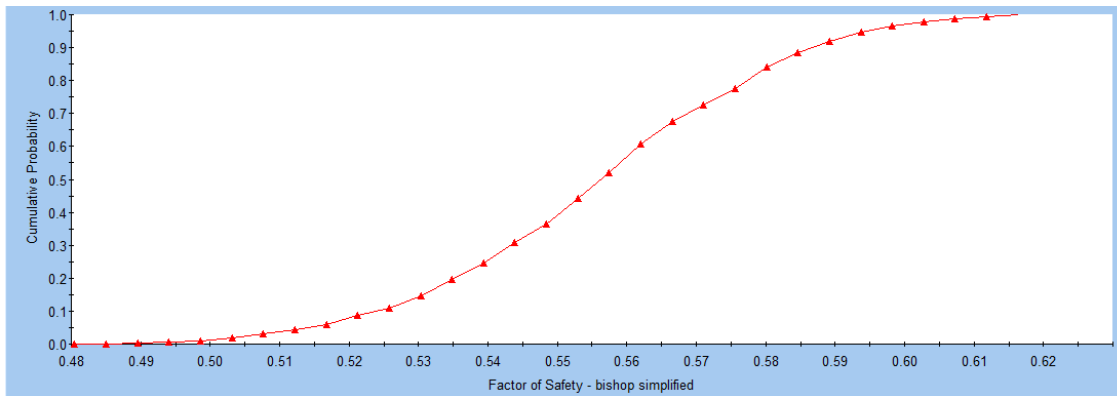
**Figura 131.**

*Histograma del factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



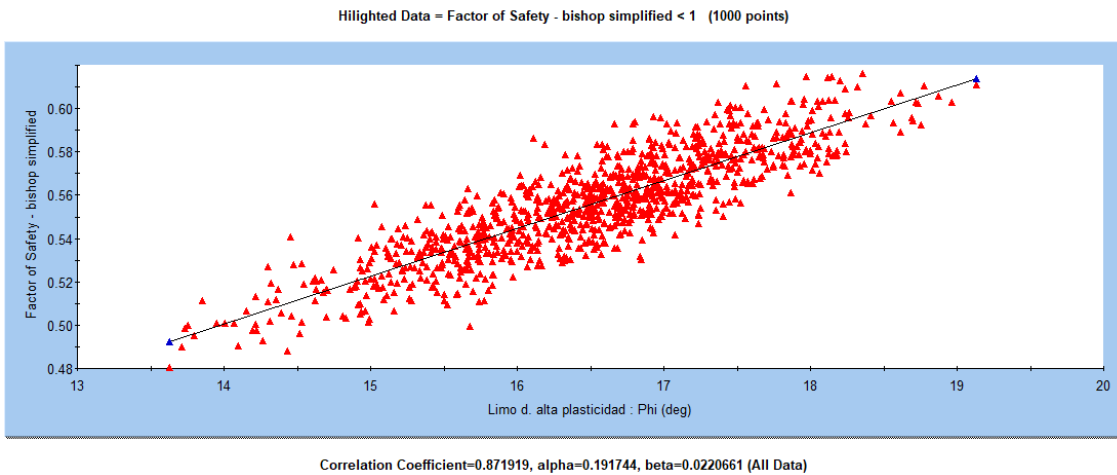
**Figura 132.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+040 del talud Peña de los Loros*



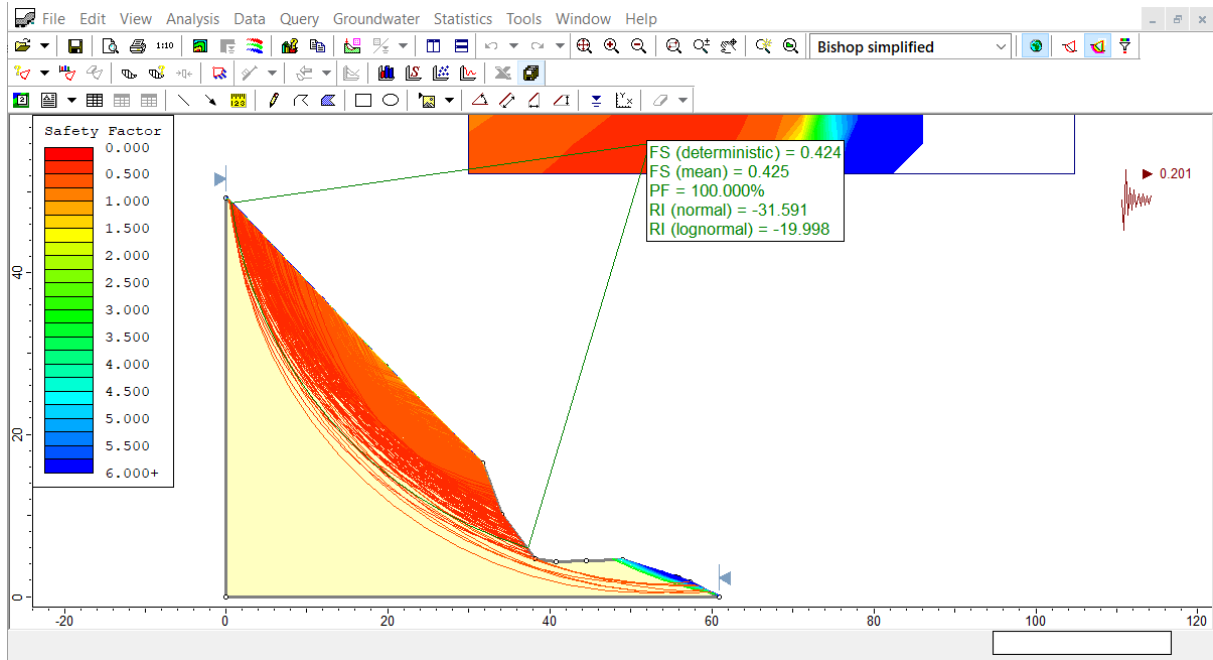
**Figura 133.**

*Relación entre el ángulo de fricción y factor de seguridad del suelo de la calicata 3, sección 0+040 del talud Peña de los Loros*



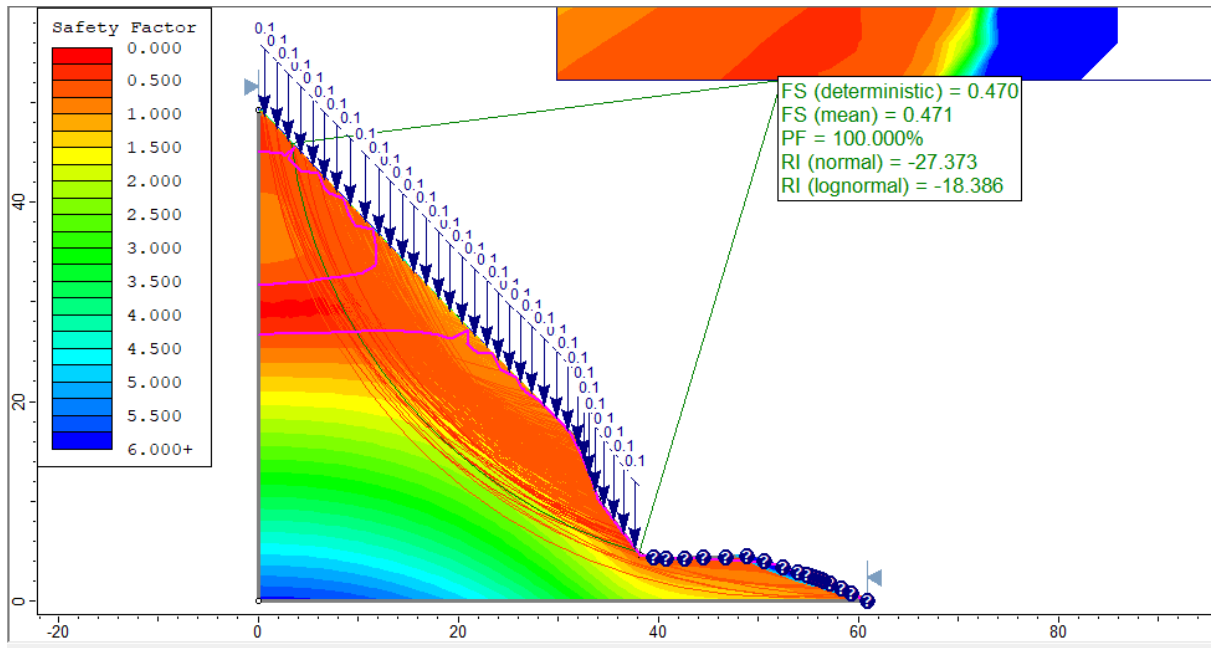
**Figura 134.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



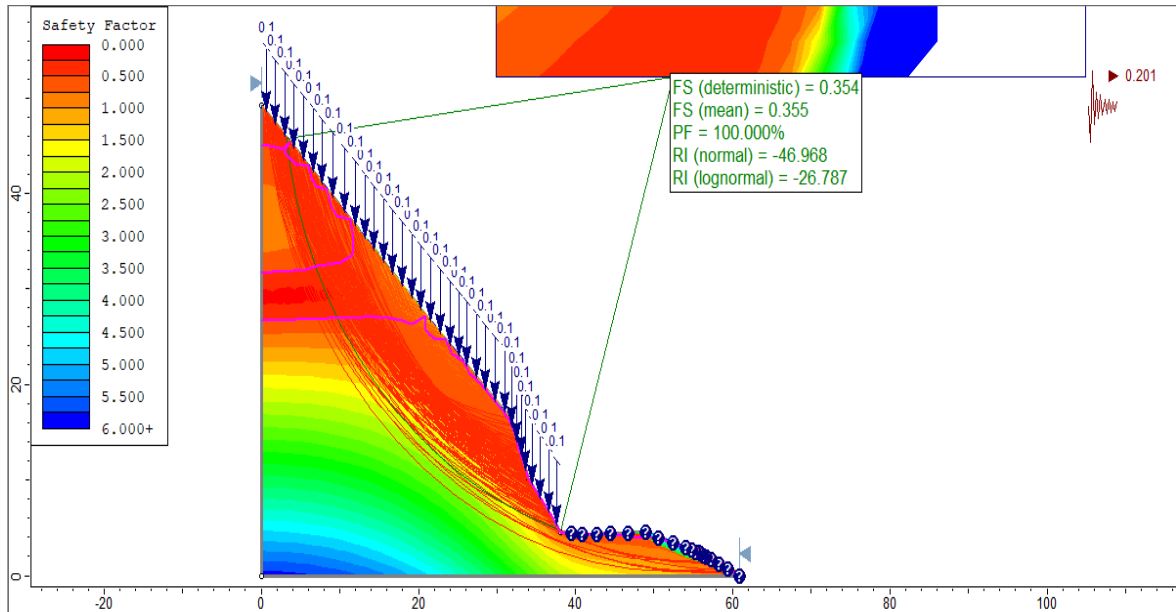
**Figura 135.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



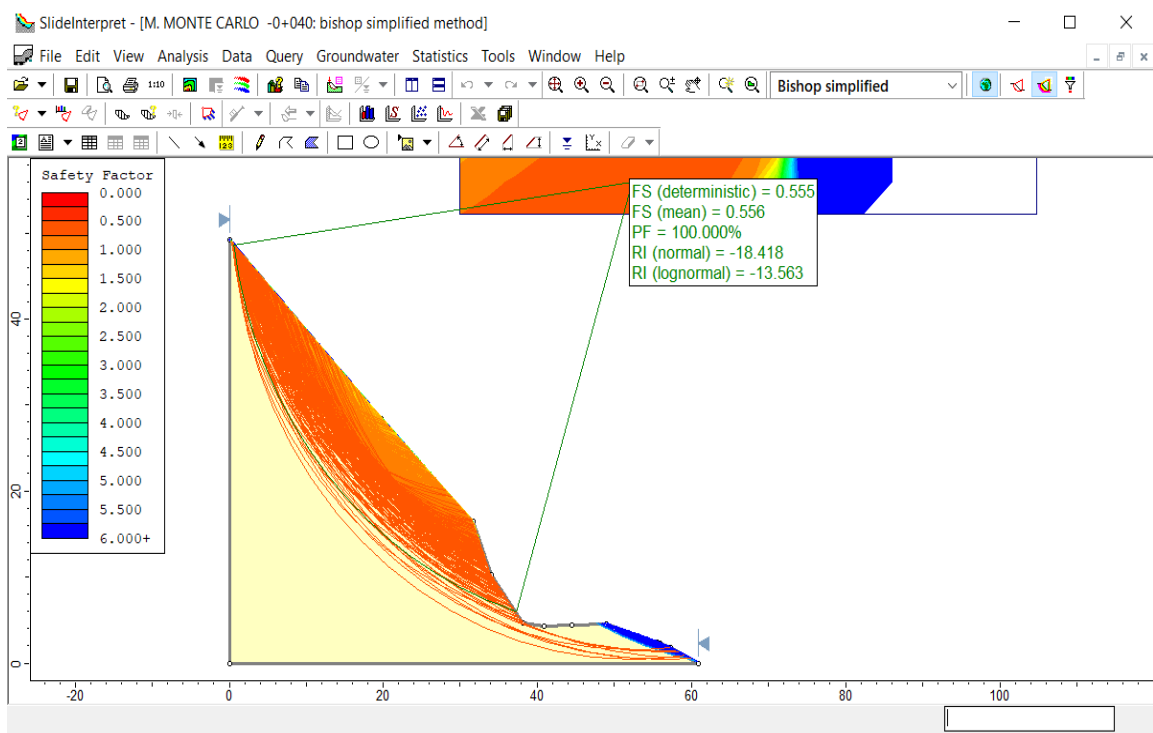
**Figura 136.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+040 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



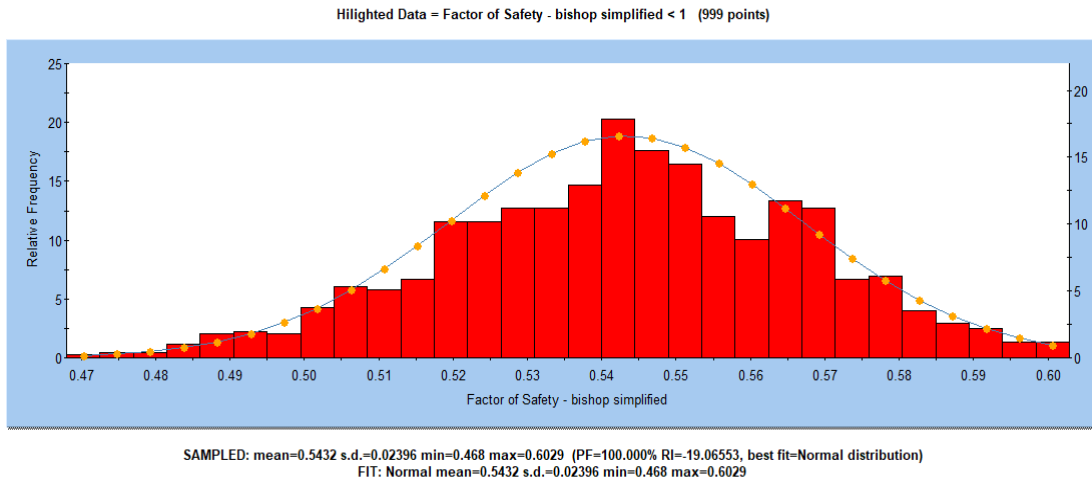
**Figura 137.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



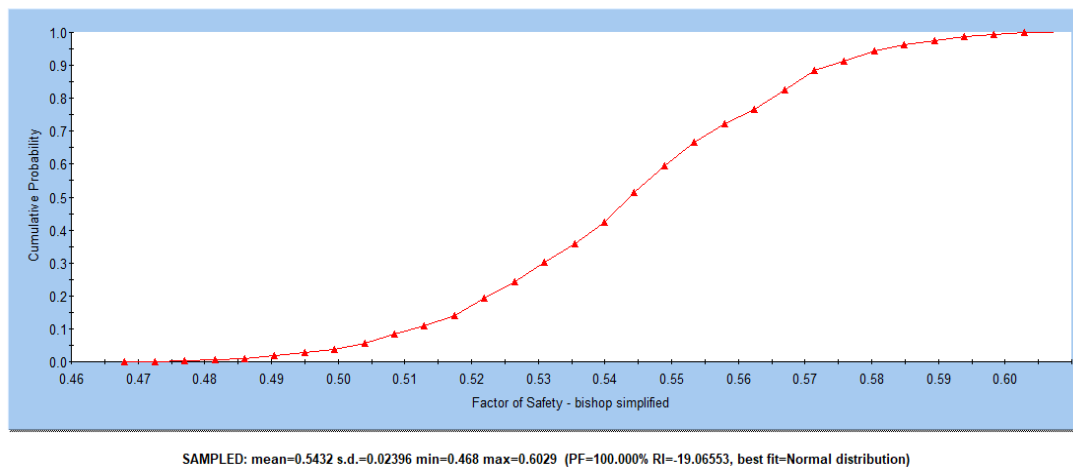
**Figura 138.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 139.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+050 del talud Peña de los Loros*



**Figura 140.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+050 del talud Peña de los Loros*

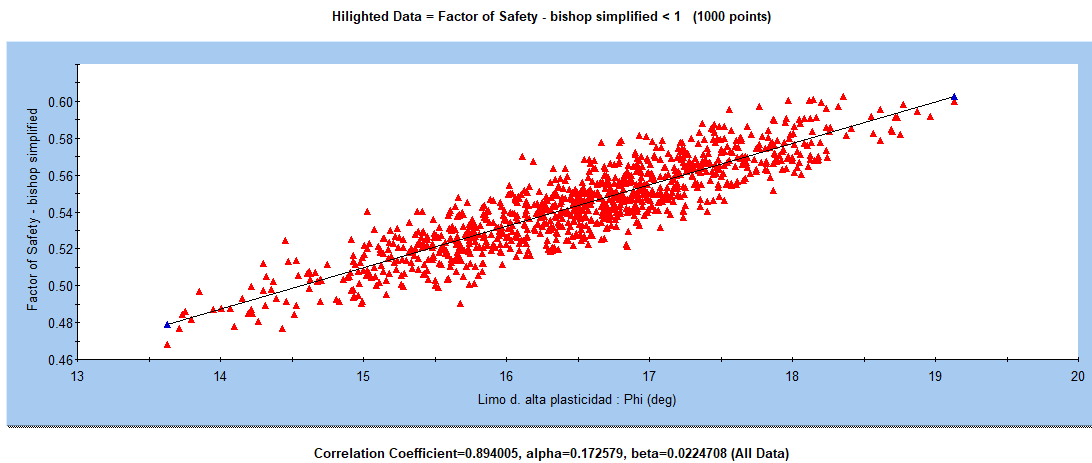


Figura 141.

Factor de seguridad dinámico, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico

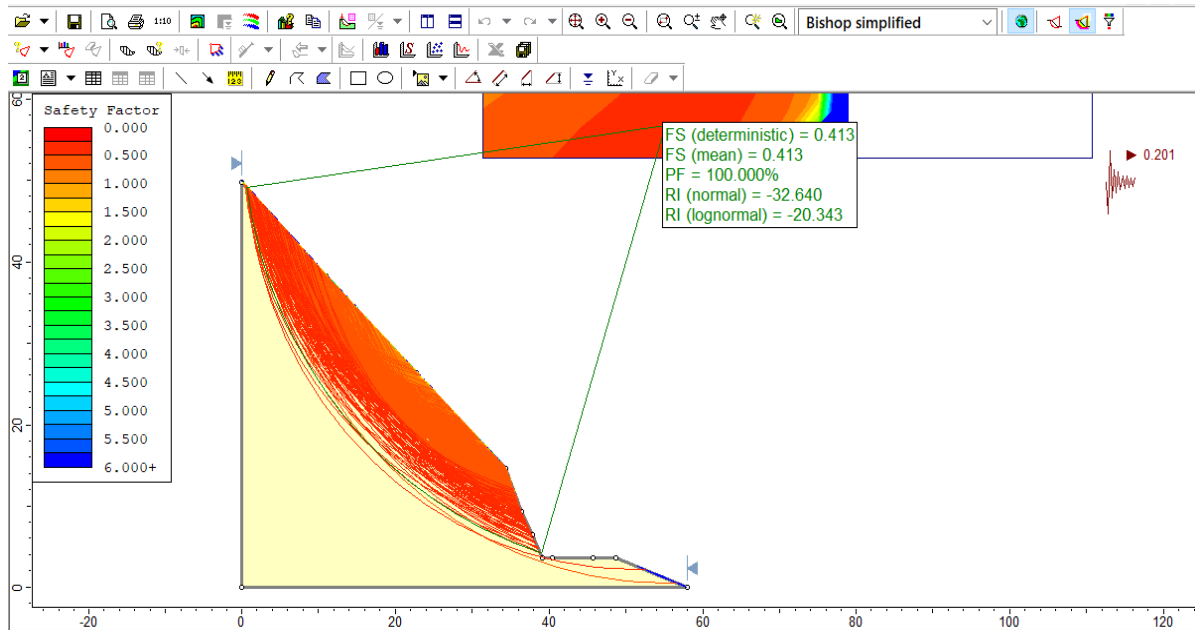
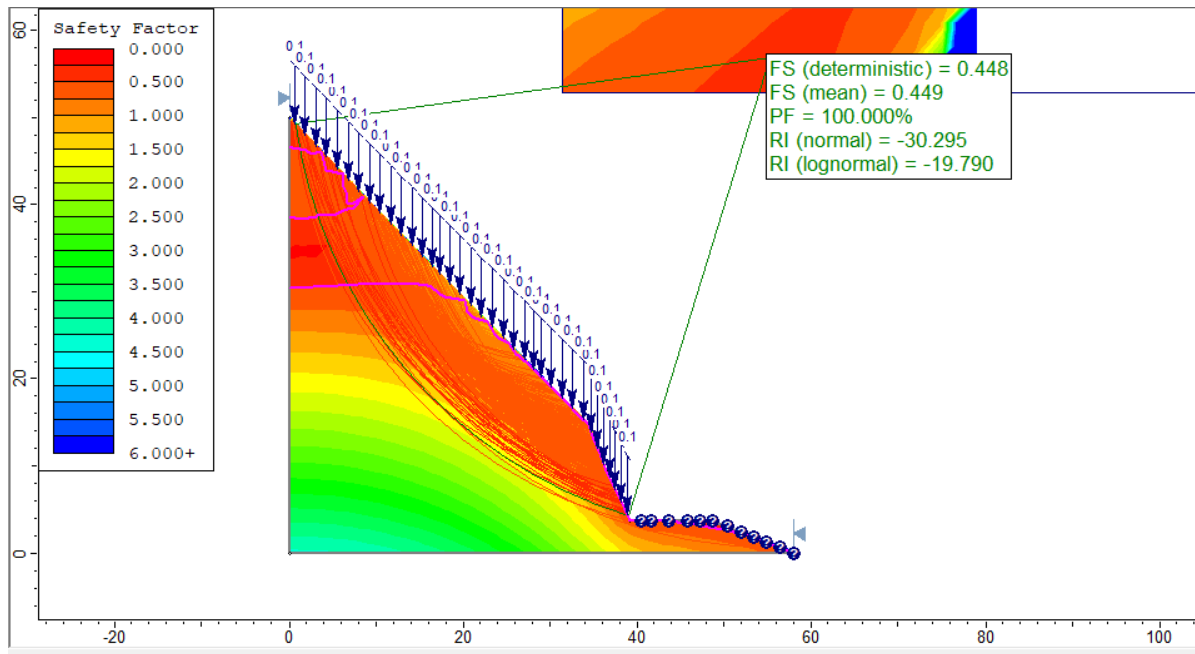


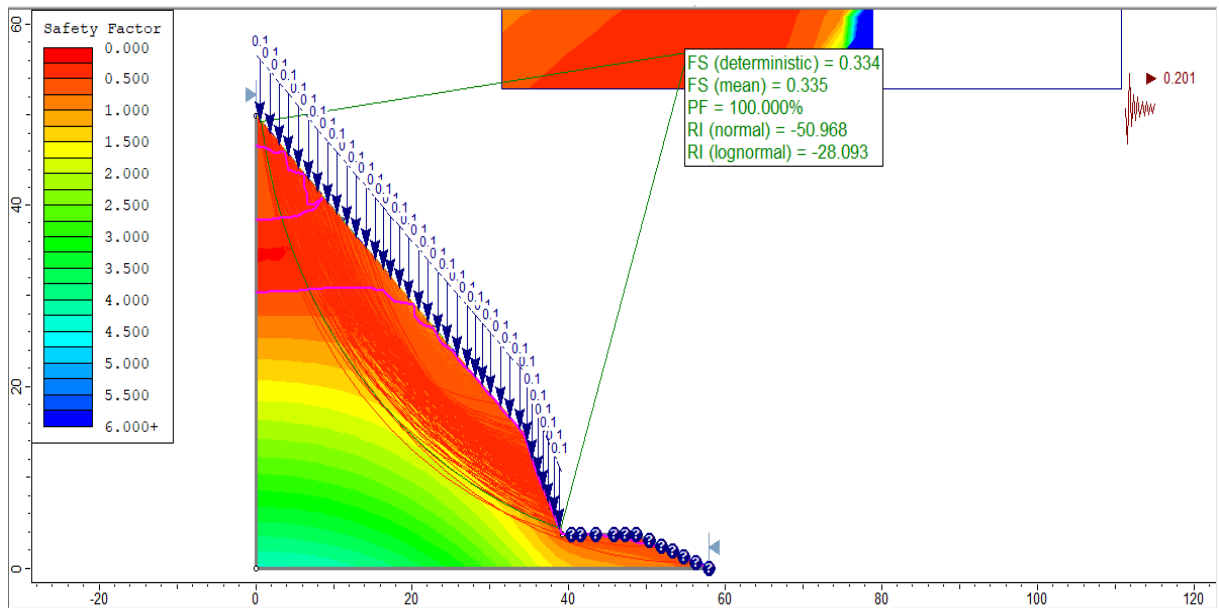
Figura 142.

Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico



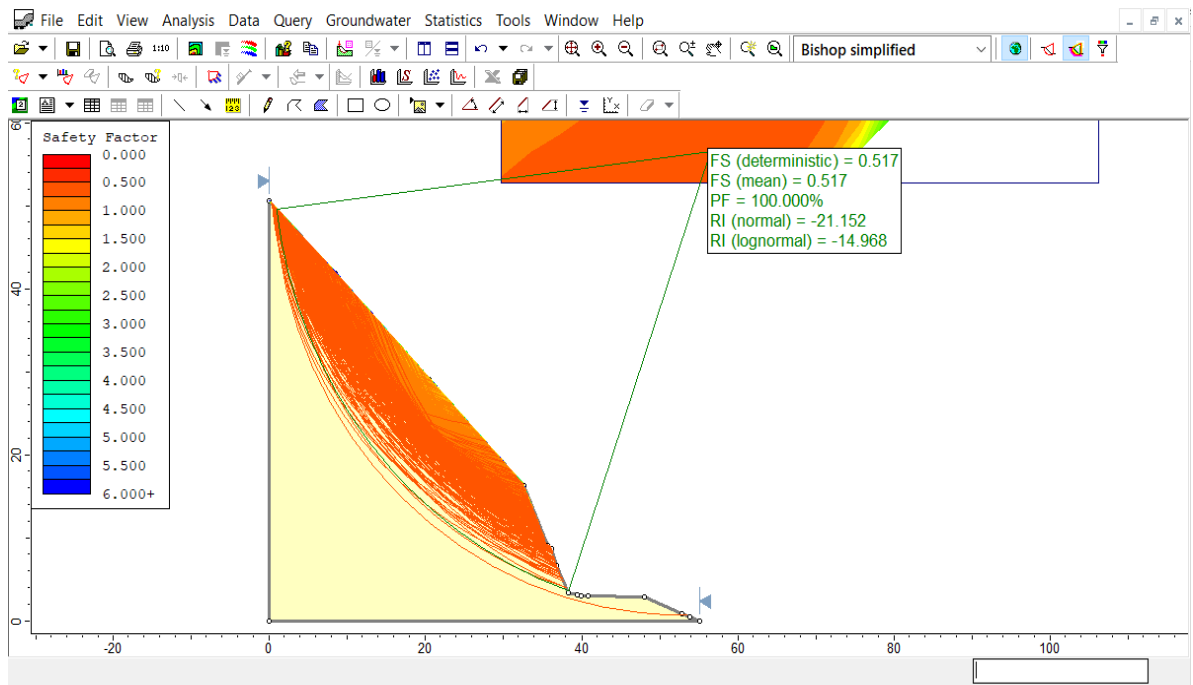
**Figura 143.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+050 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



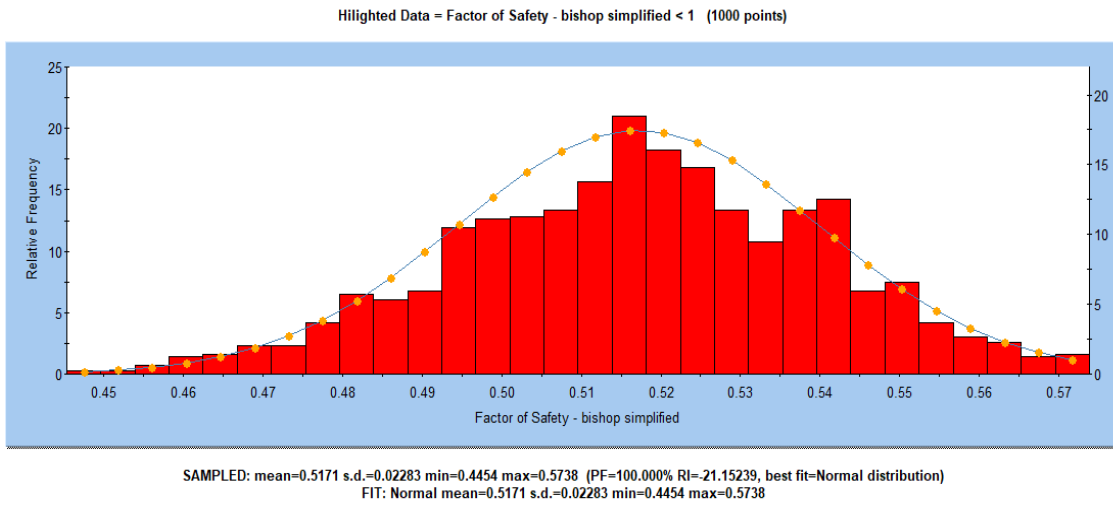
**Figura 144.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



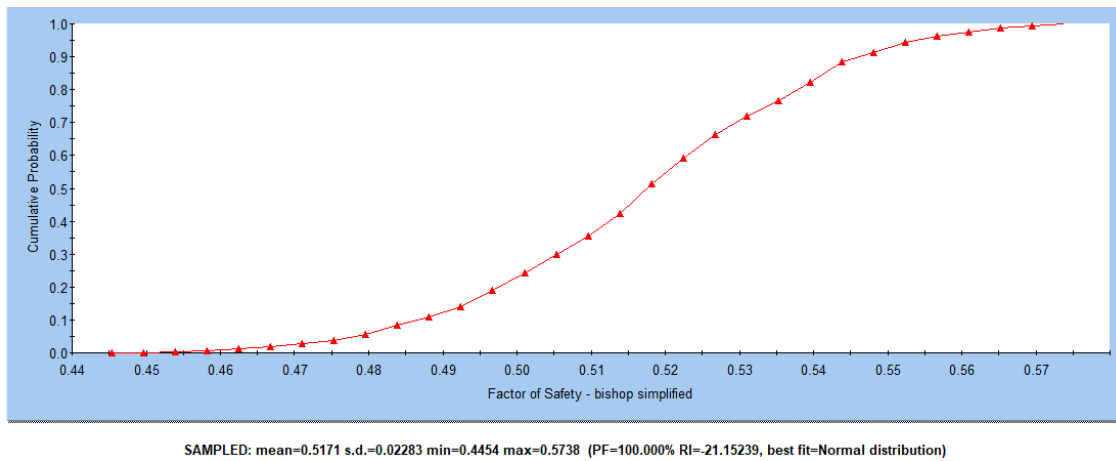
**Figura 145.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 146.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+060 del talud Peña de los Loros*



**Figura 147.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 3, sección 0+060 del talud Peña de los Loros*

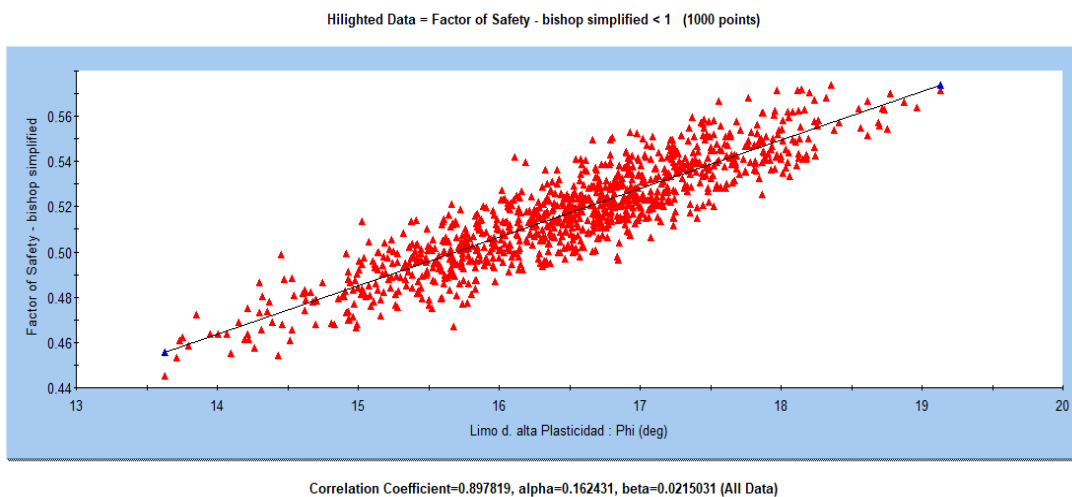


Figura 148.

Factor de seguridad dinámico, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico

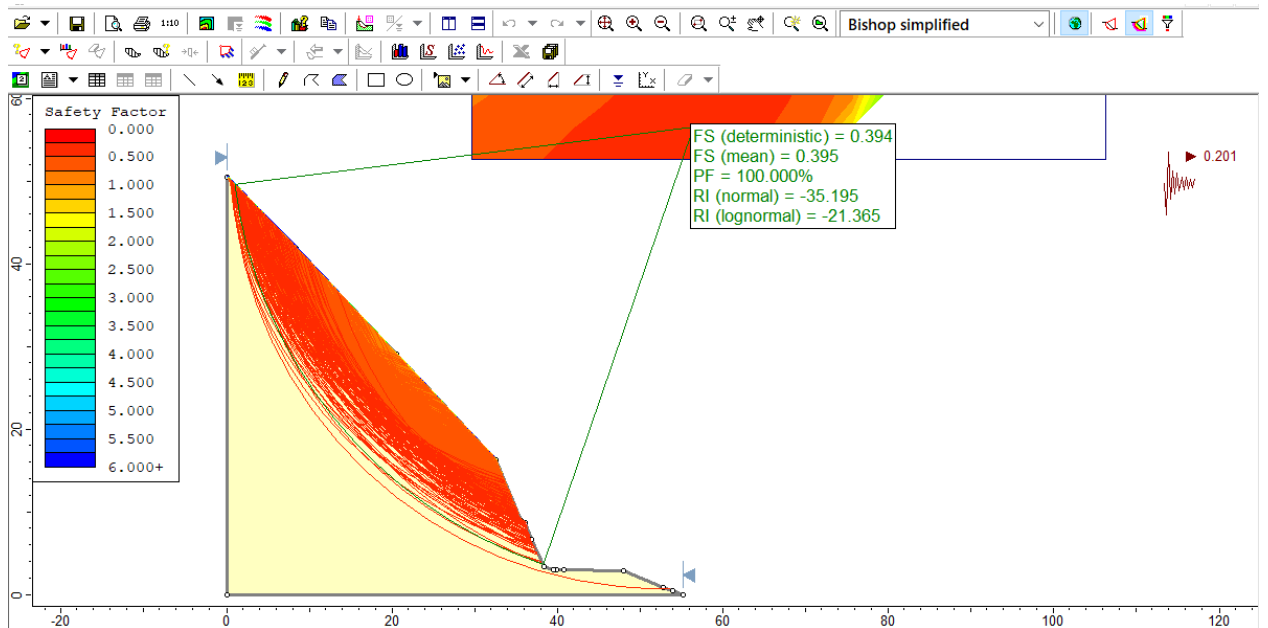
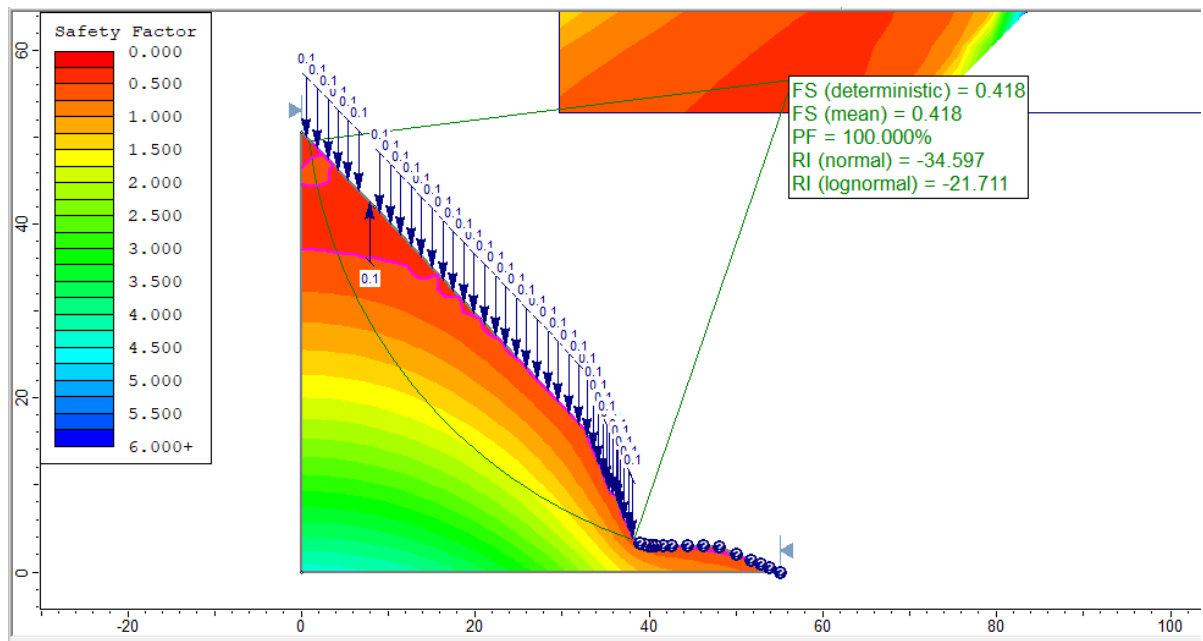


Figura 149.

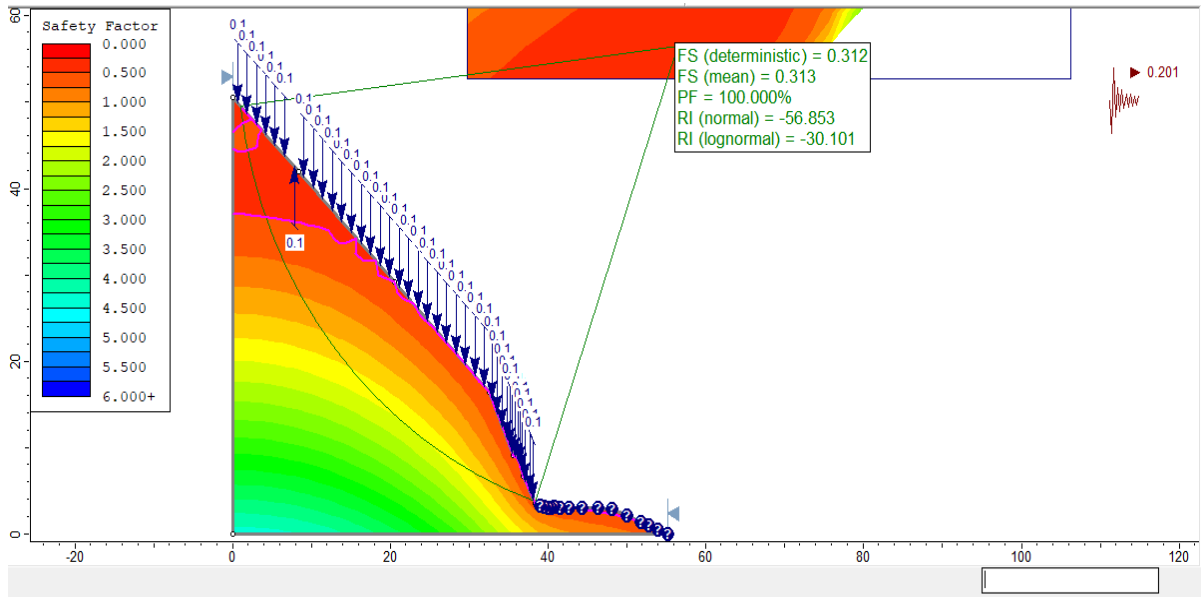
Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico





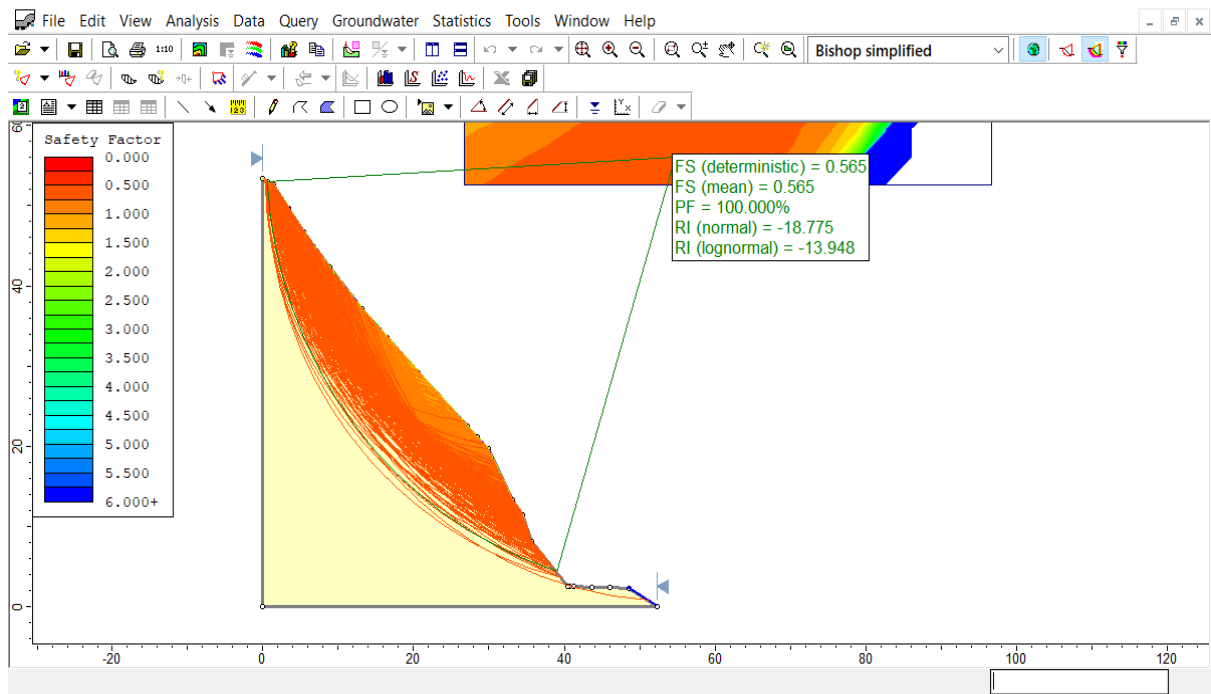
**Figura 150.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+060 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



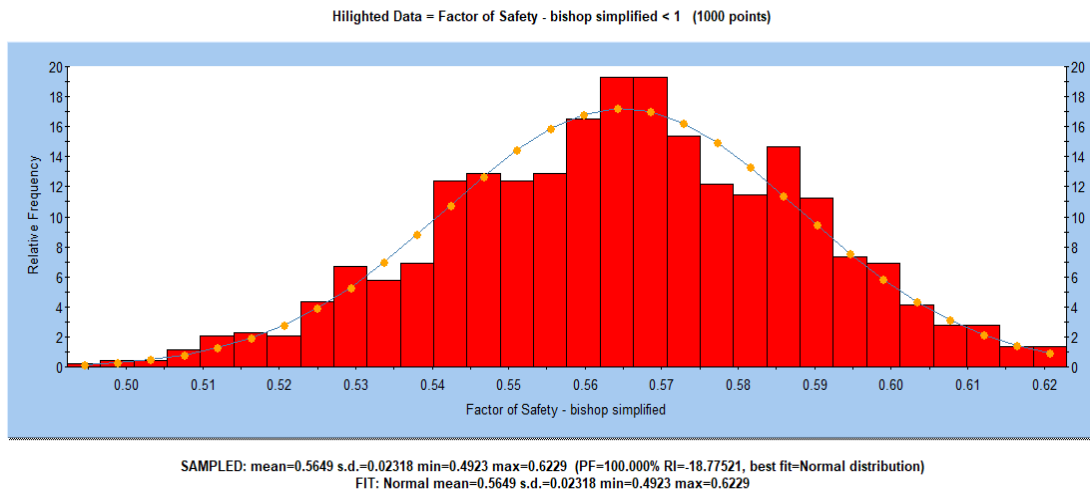
**Figura 151.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



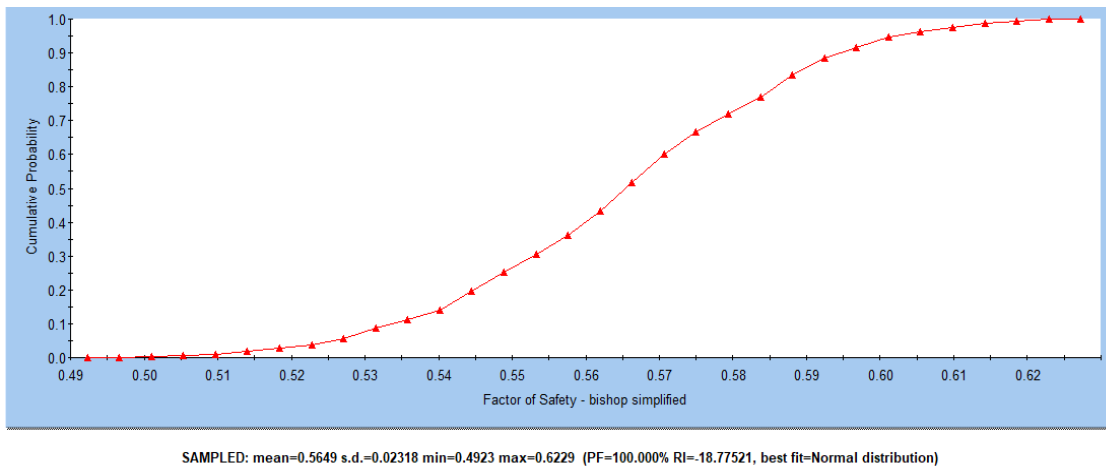
**Figura 152.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 153.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+070 del talud Peña de los Loros*



**Figura 154.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+070 del talud Peña de los Loros*

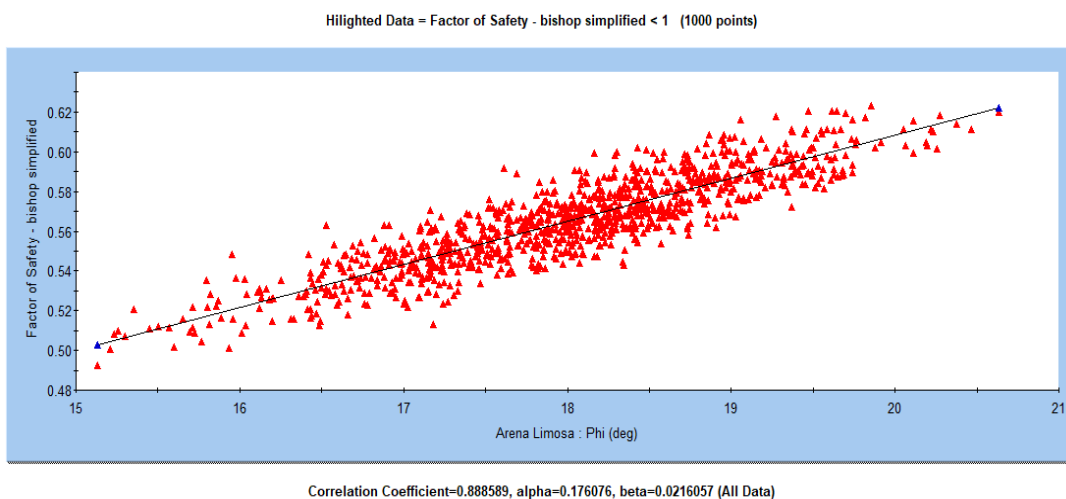


Figura 155.

Factor de seguridad dinámico, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico

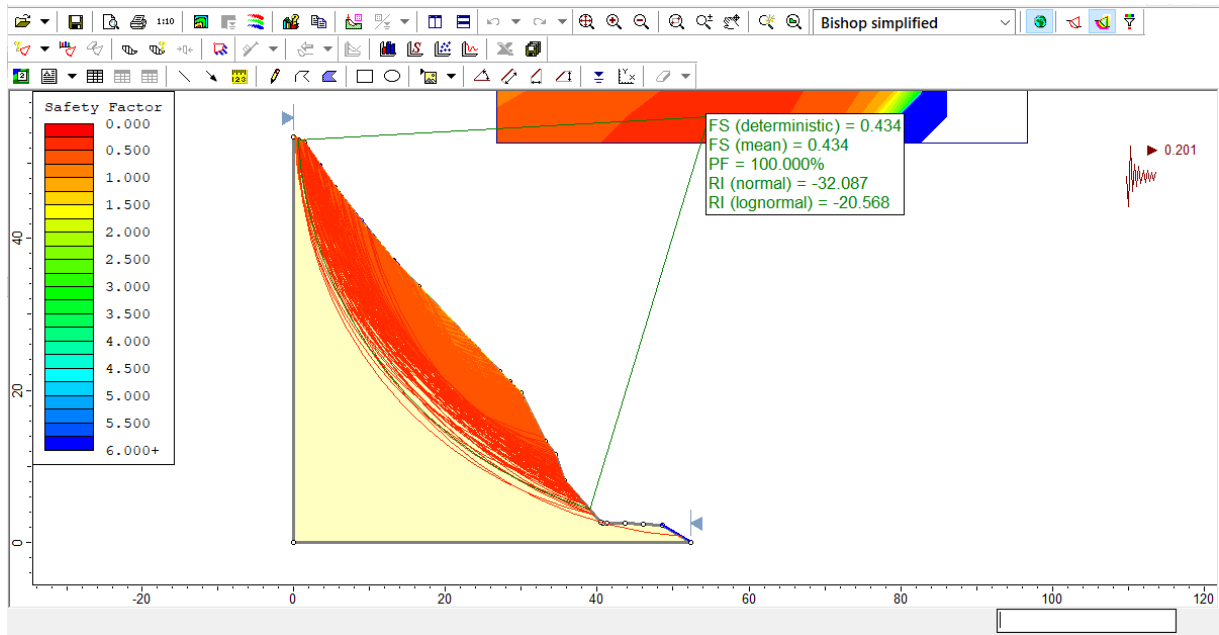
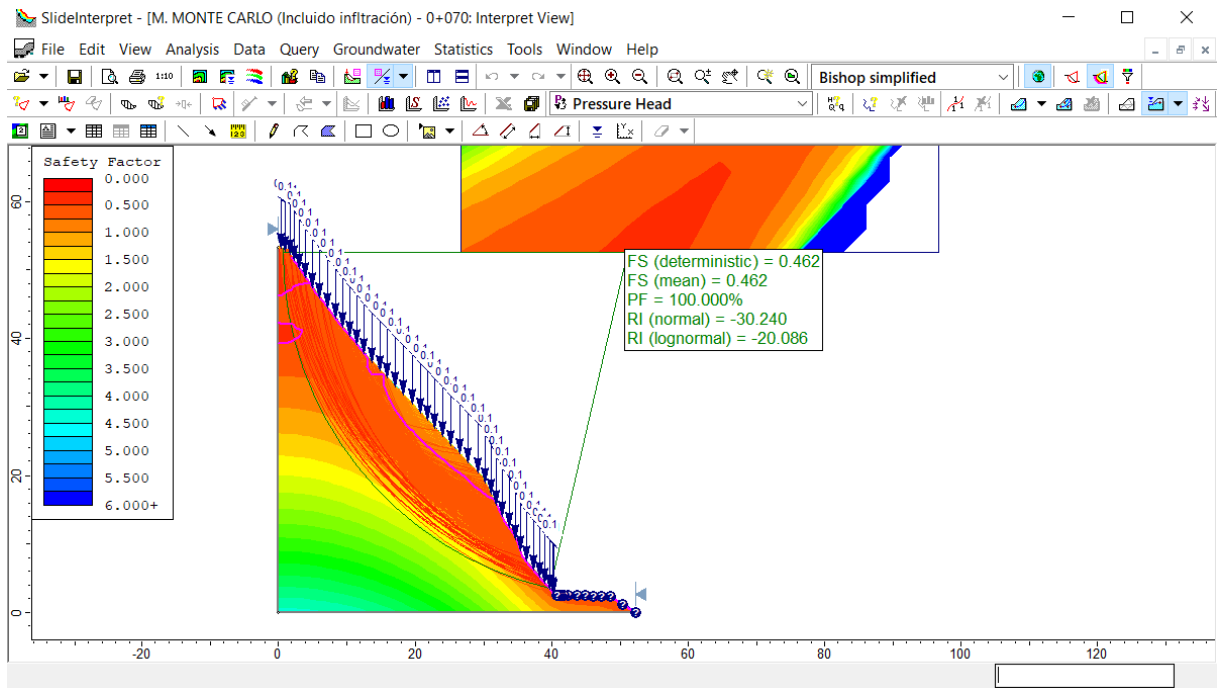


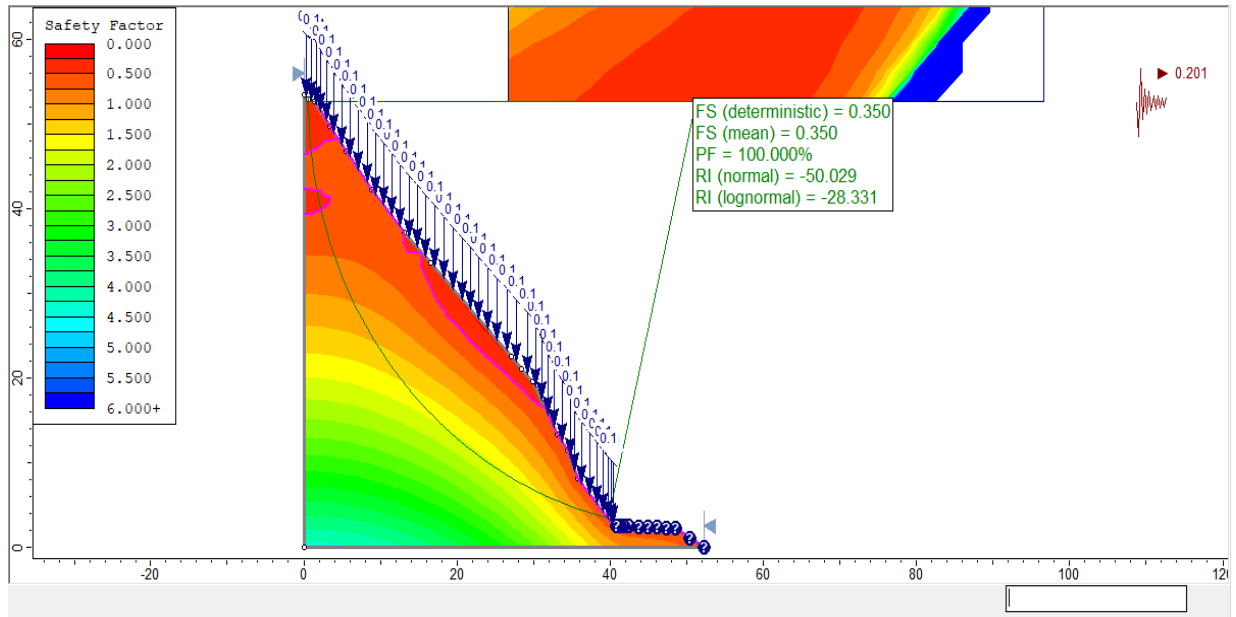
Figura 156.

Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico



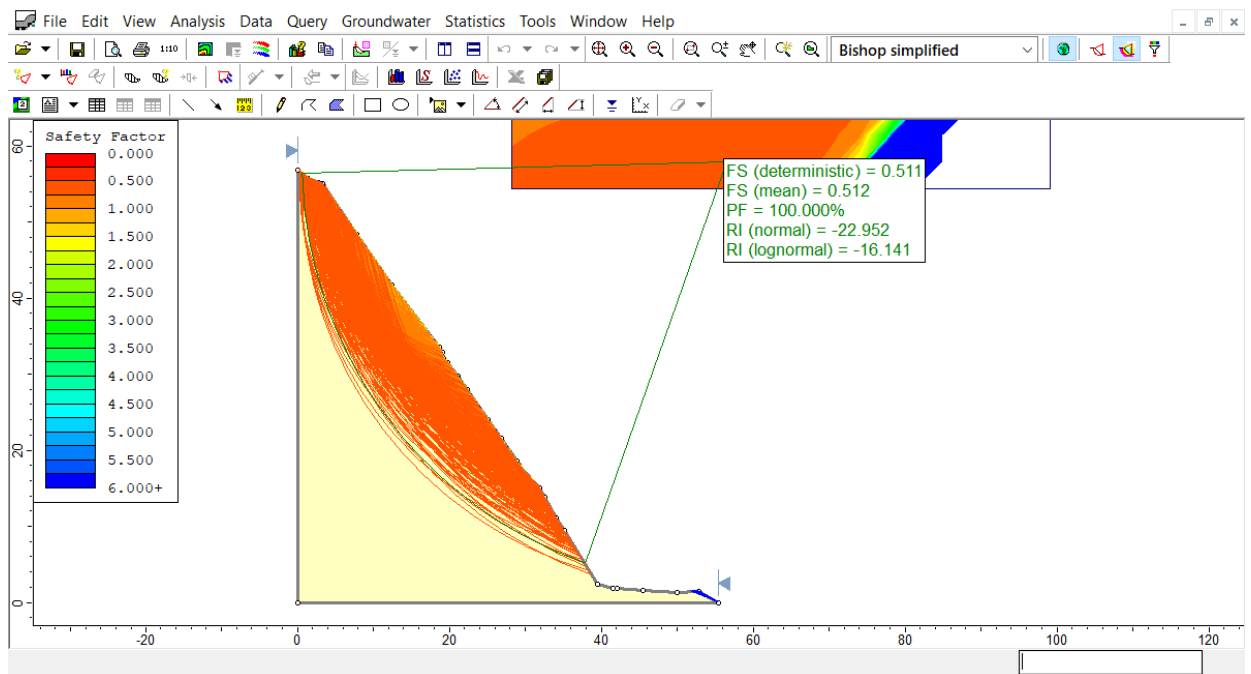
**Figura 157.**

Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+070 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico



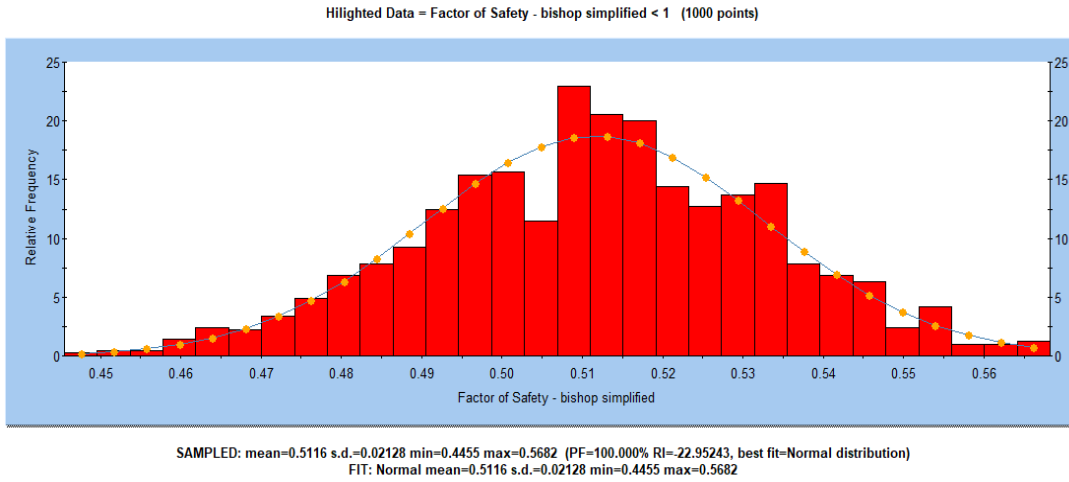
**Figura 158.**

Factor de seguridad estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística



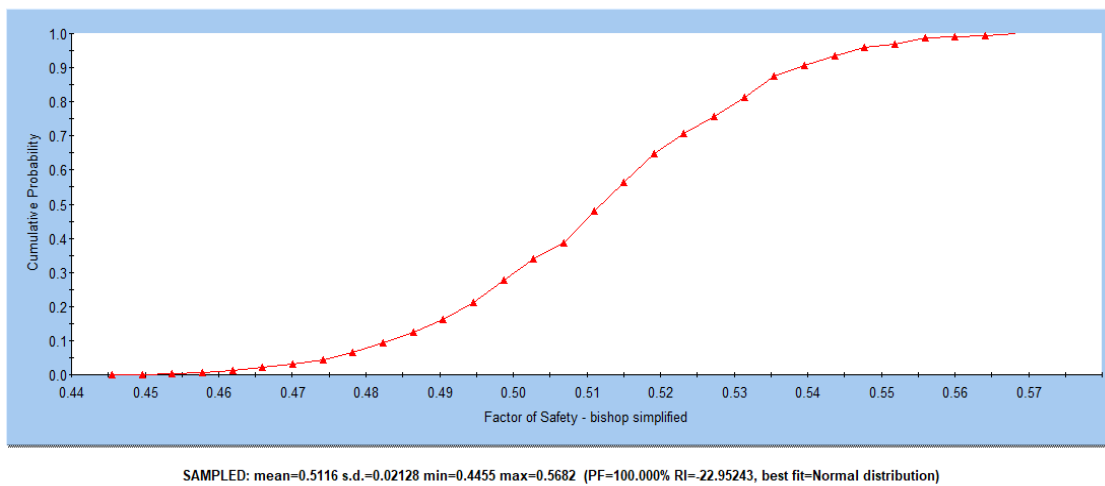
**Figura 159.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



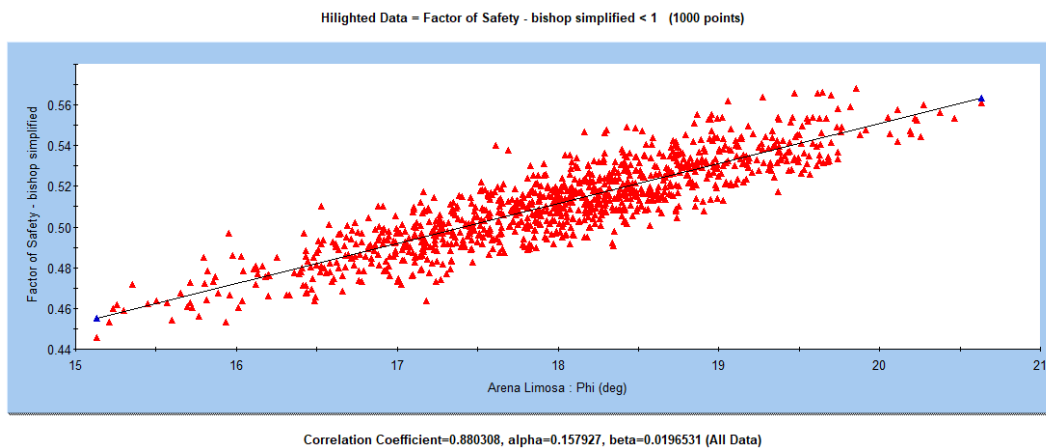
**Figura 160.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+080 del talud Peña de los Loros*



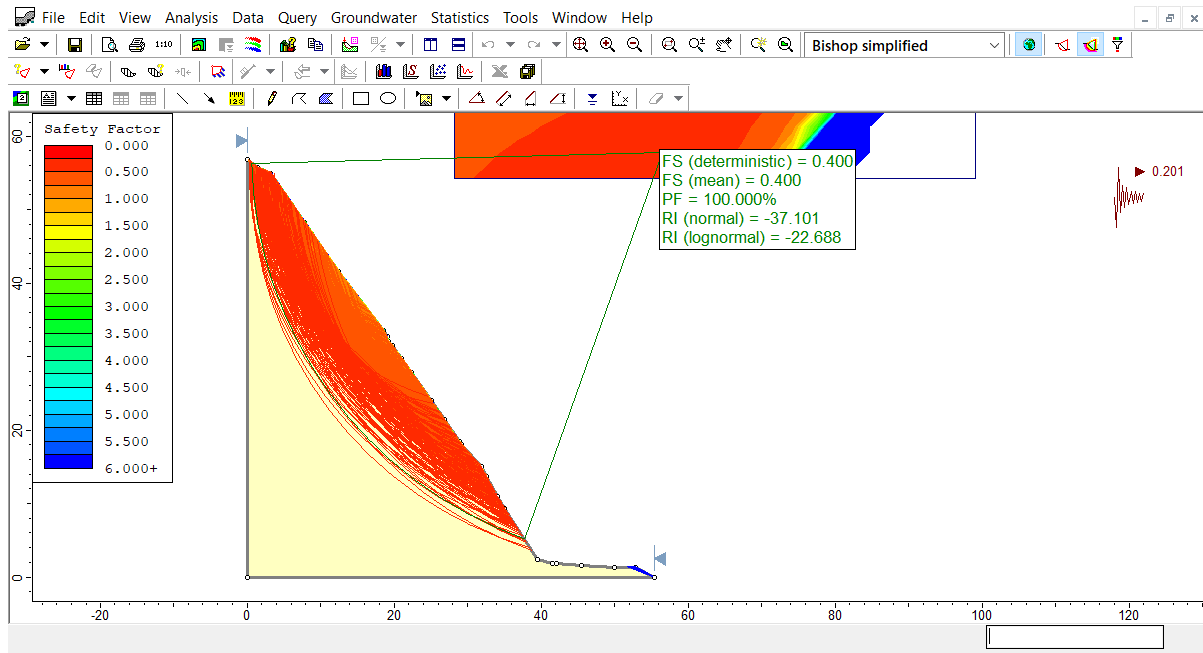
**Figura 161.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+080 del talud Peña de los Loros*



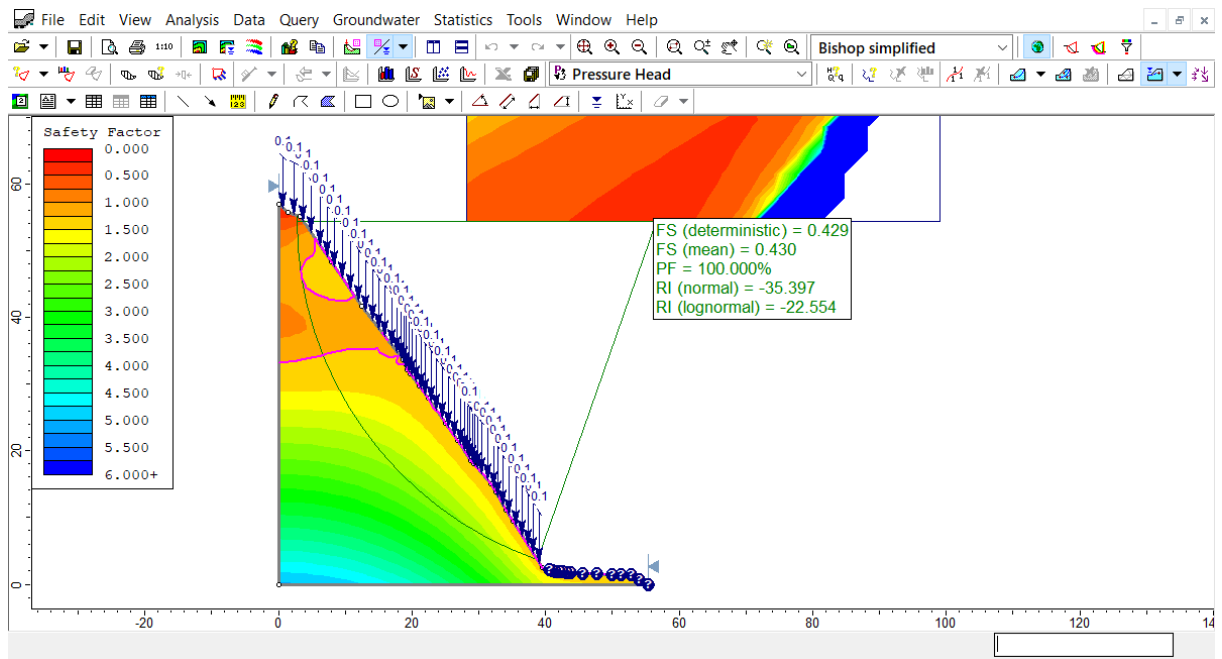
**Figura 162.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



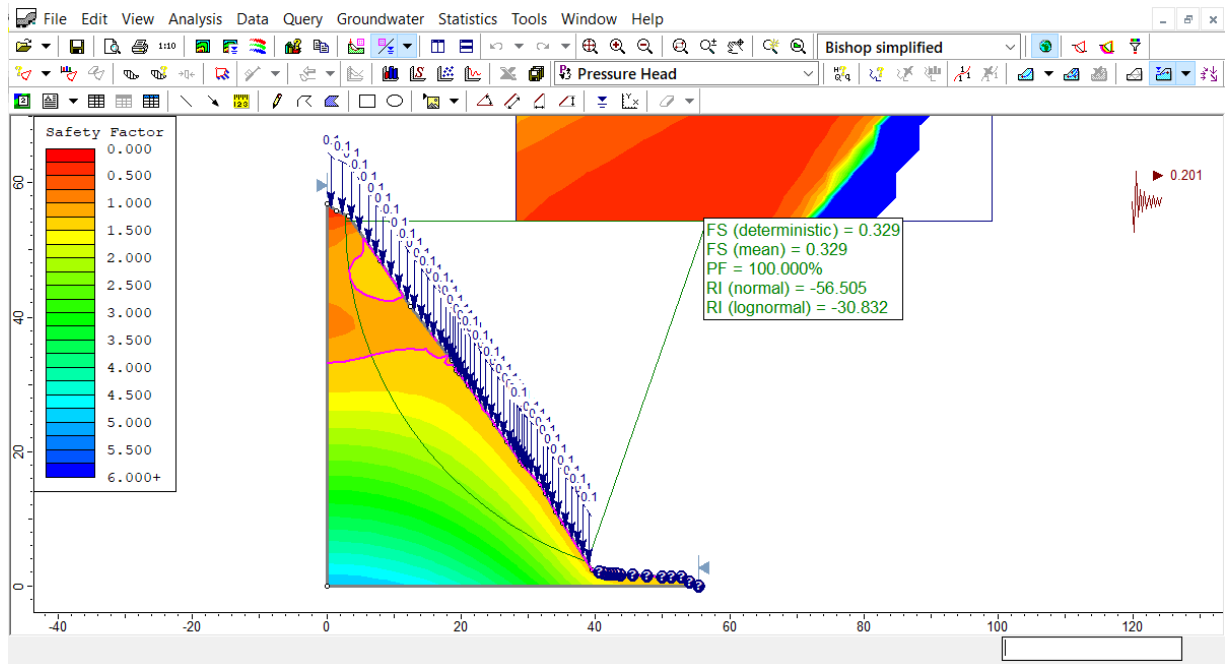
**Figura 163.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



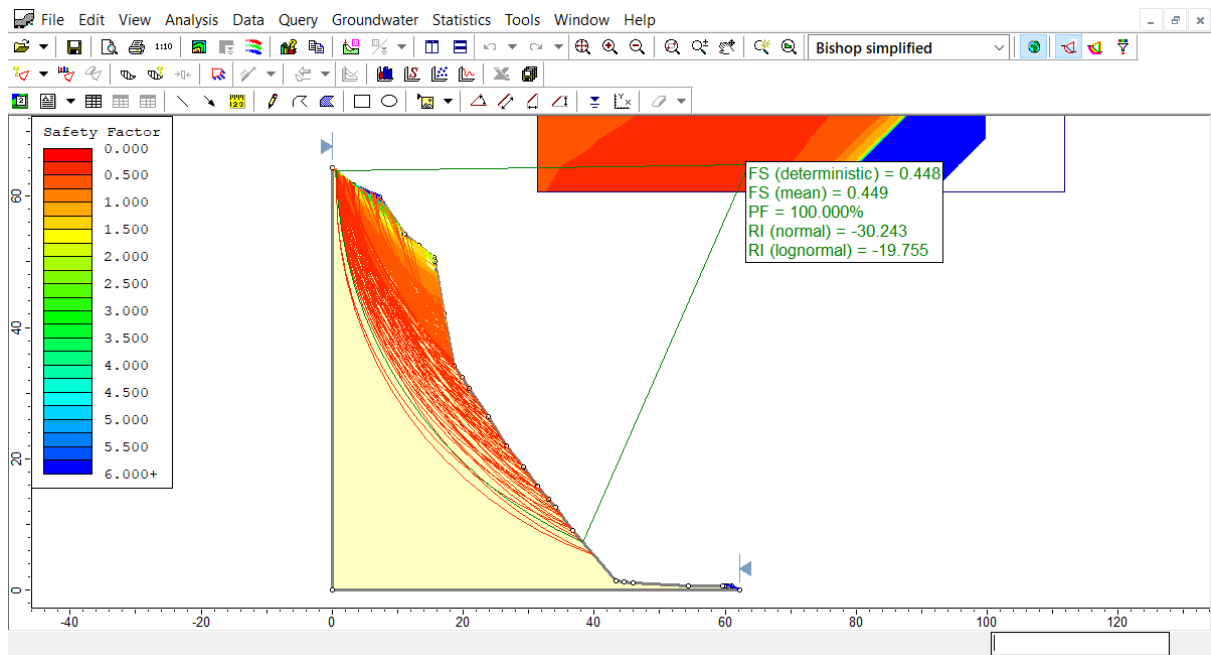
**Figura 164.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+080 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



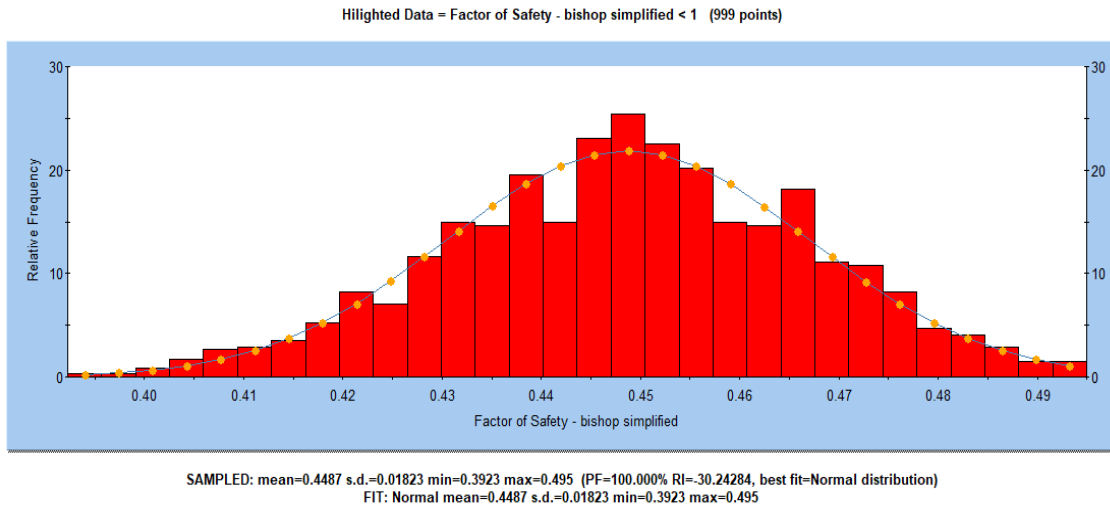
**Figura 165.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



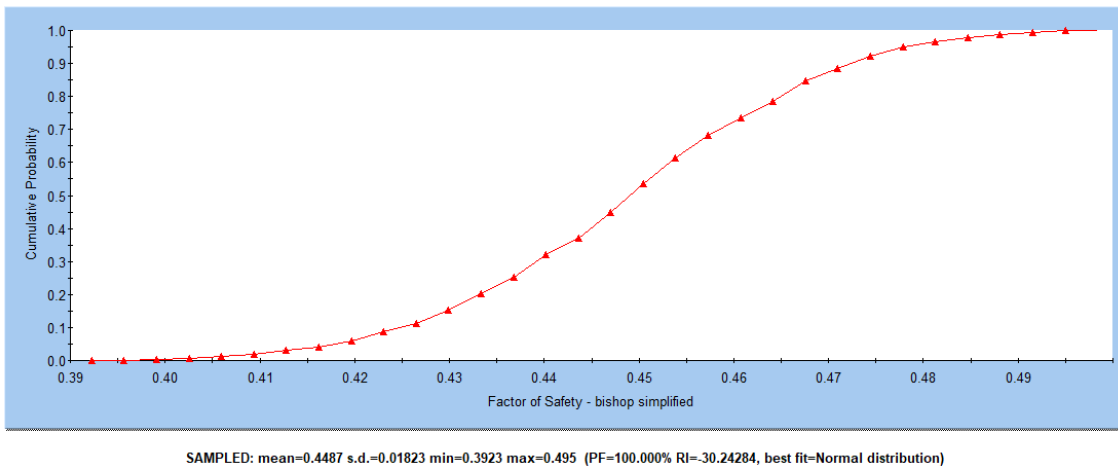
**Figura 166.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



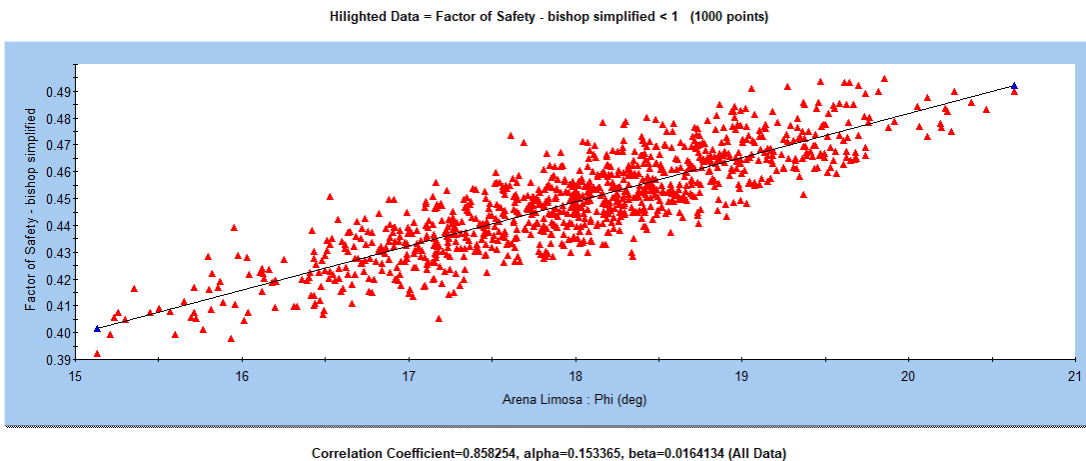
**Figura 167.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+090 del talud Peña de los Loros*



**Figura 168.**

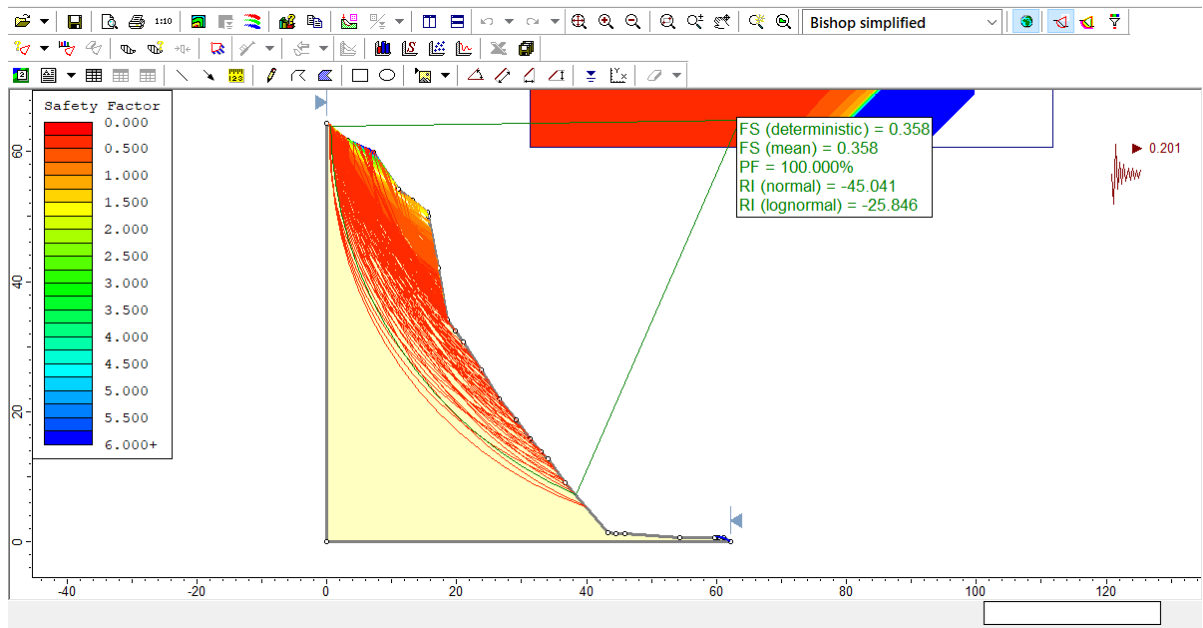
*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+090 del talud Peña de los Loros*





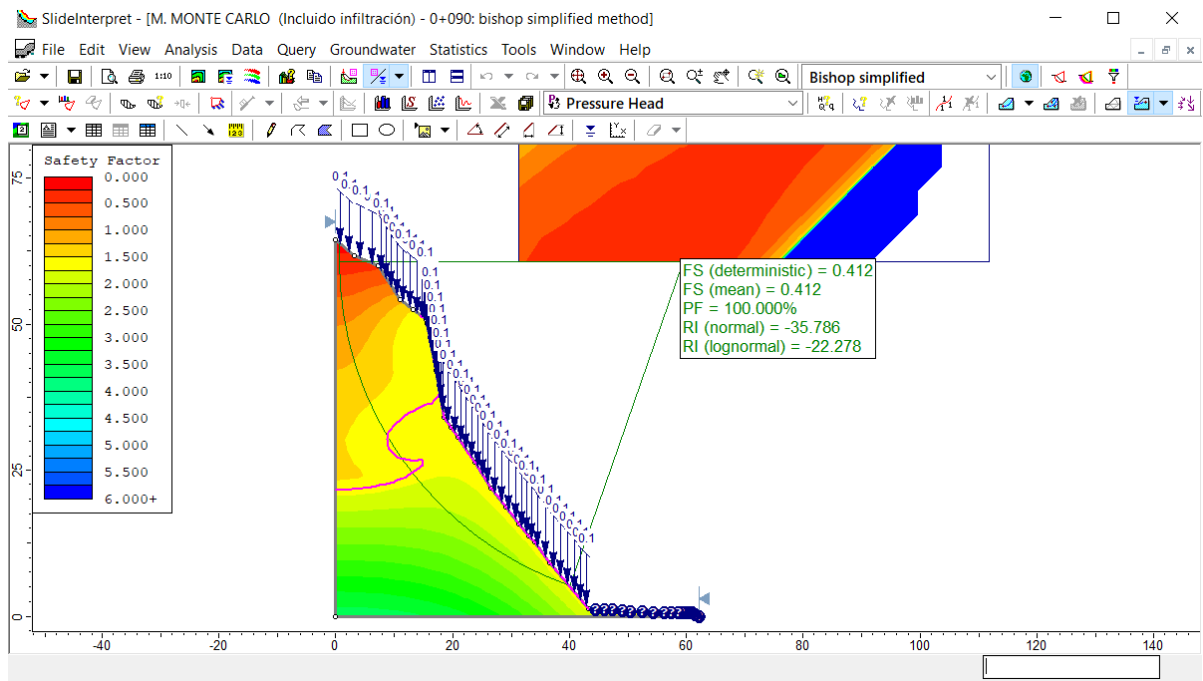
**Figura 169.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



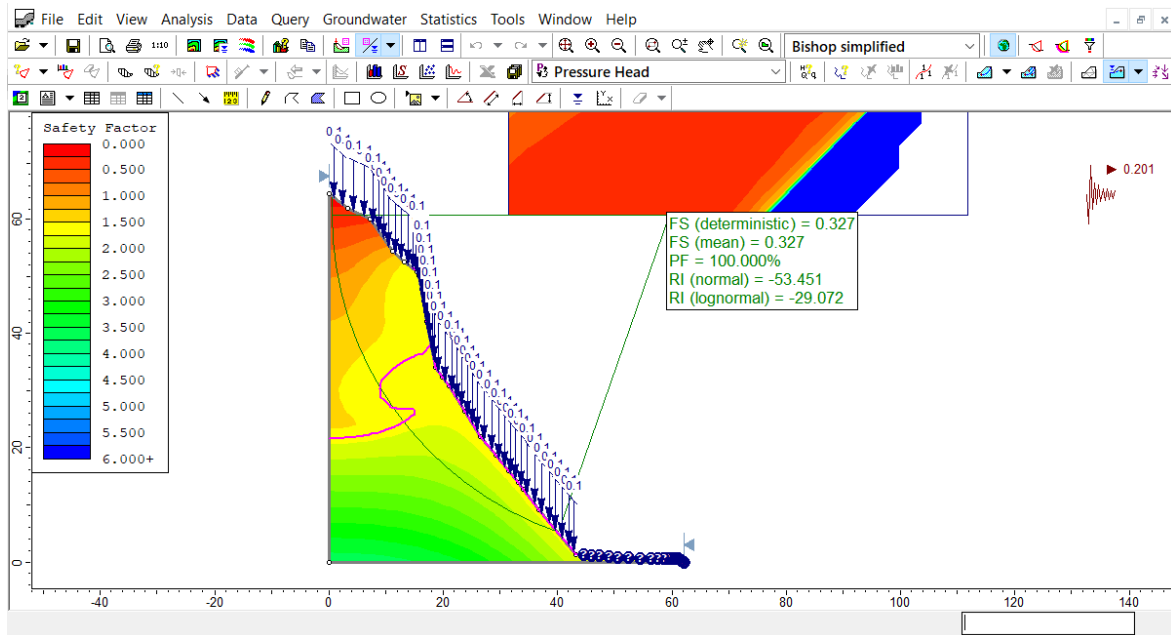
**Figura 170.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



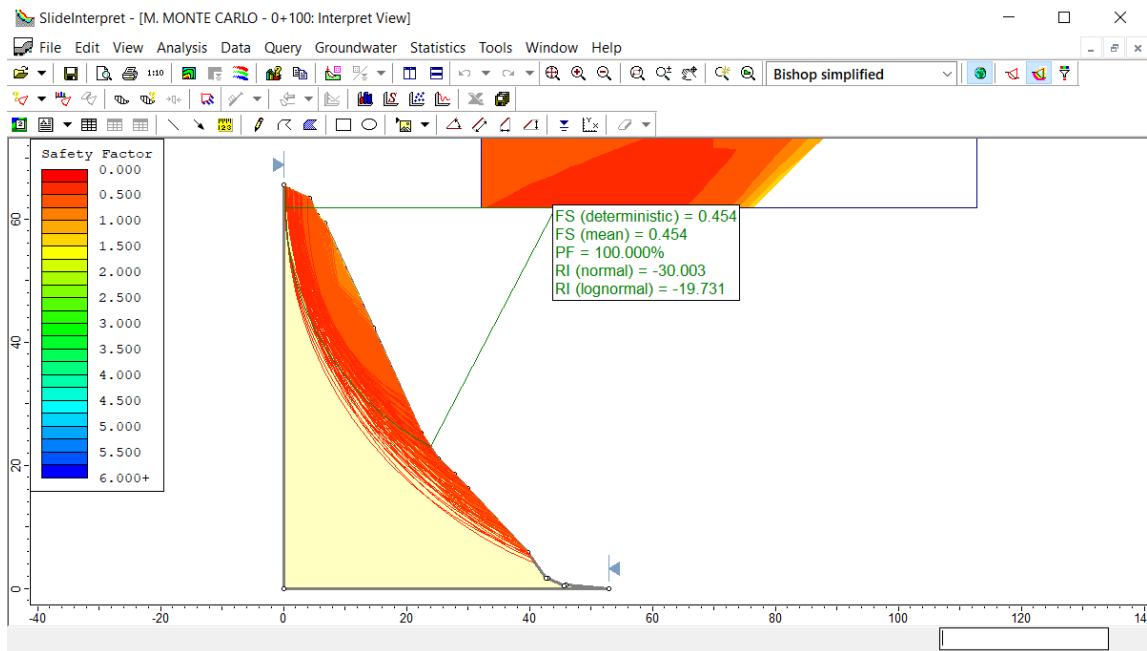
**Figura 171.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+090 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



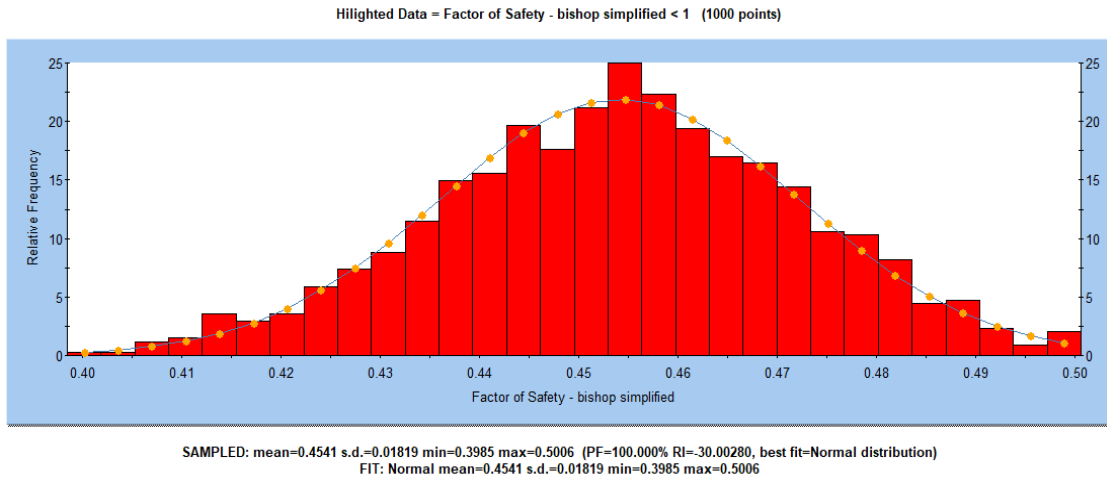
**Figura 172.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



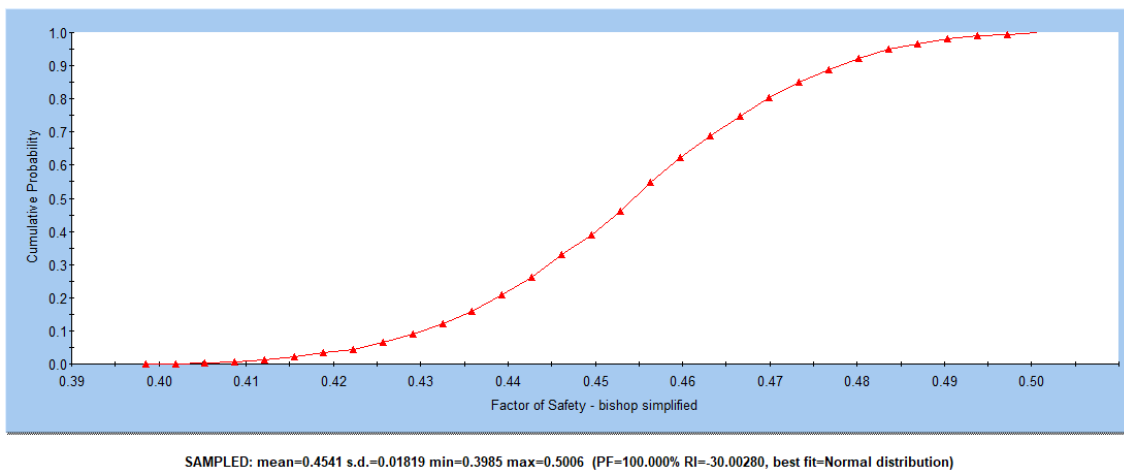
**Figura 173.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



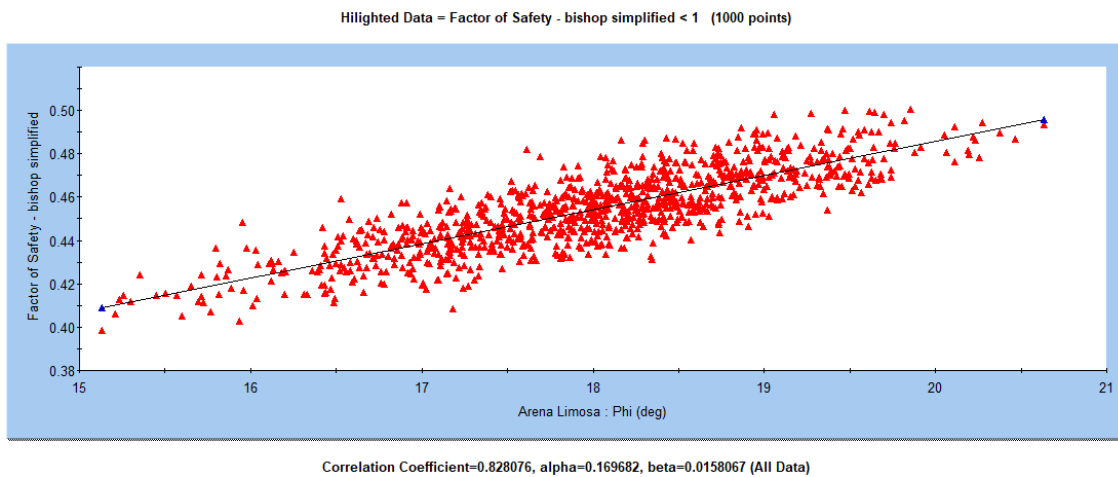
**Figura 174.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+100 del talud Peña de los Loros*



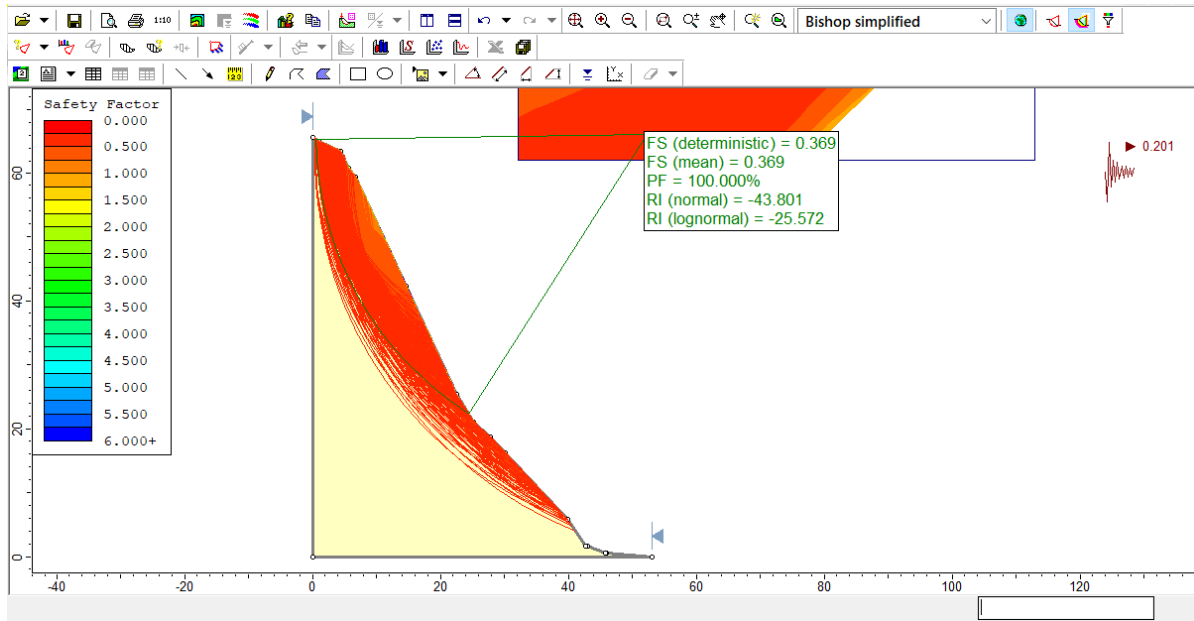
**Figura 175.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+100 del talud Peña de los Loros*



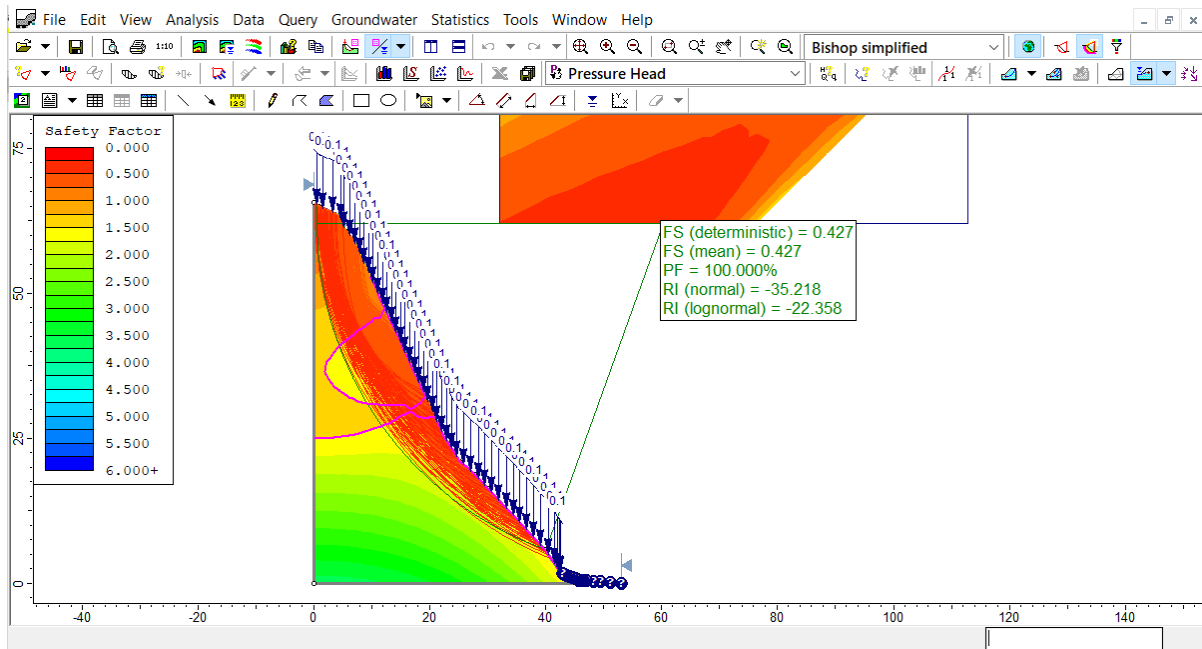
**Figura 176.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



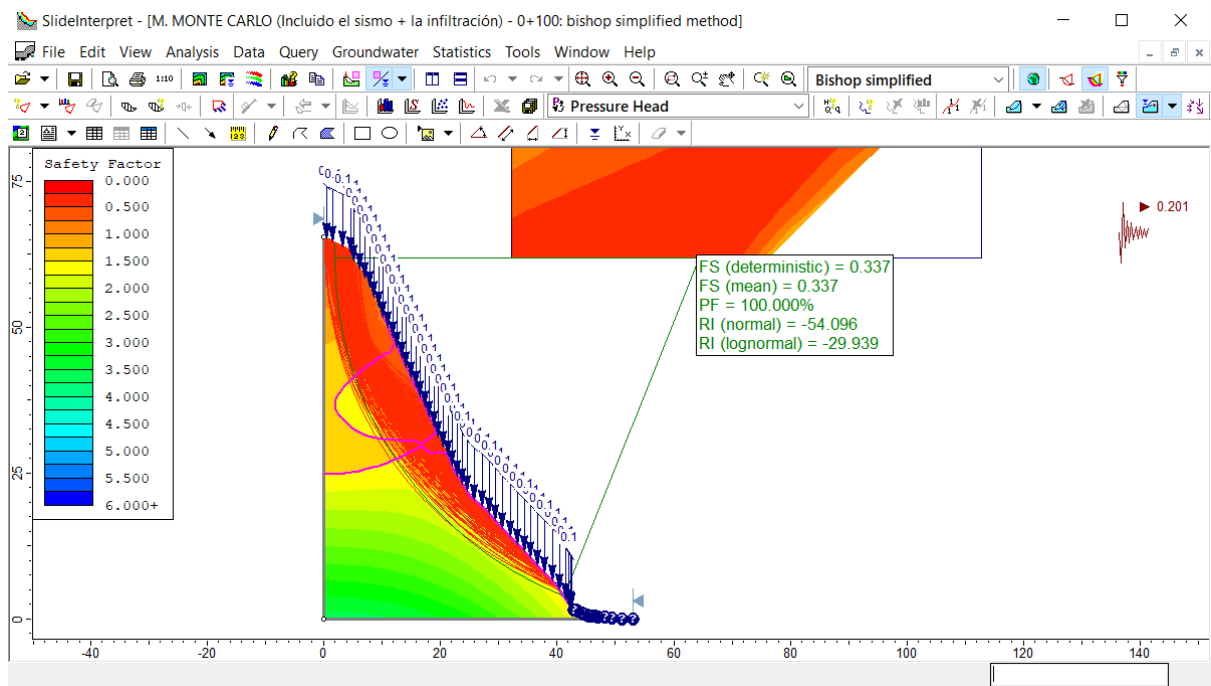
**Figura 177.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



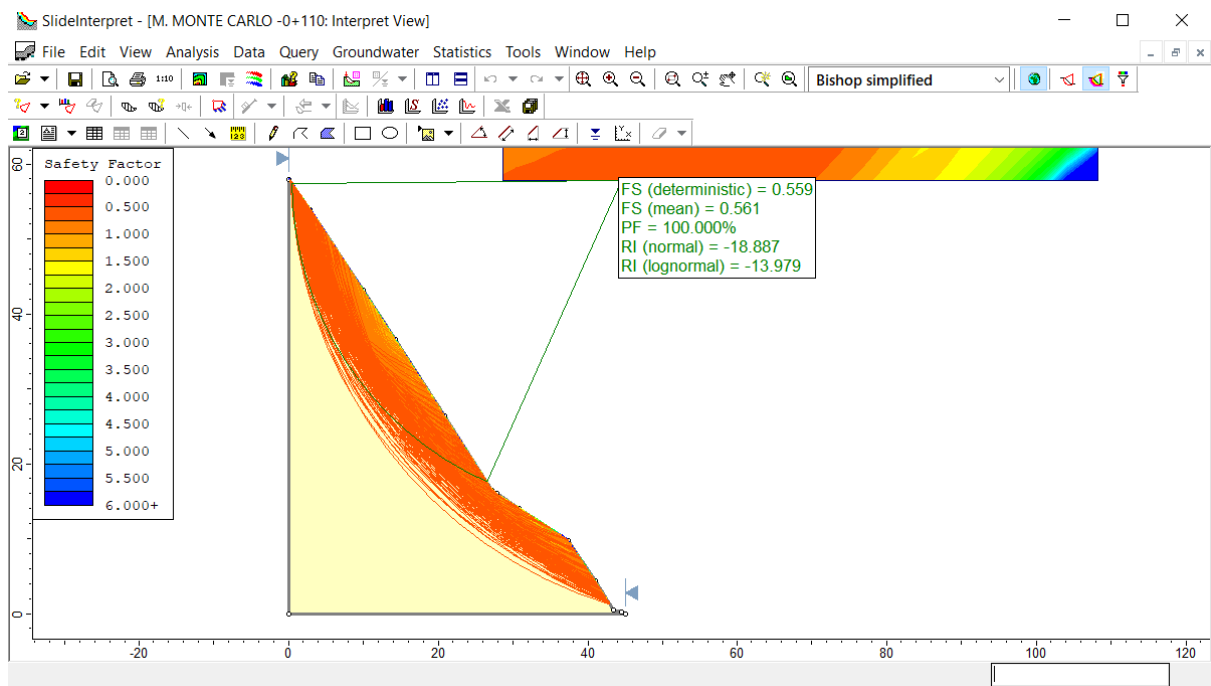
**Figura 178.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+100 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



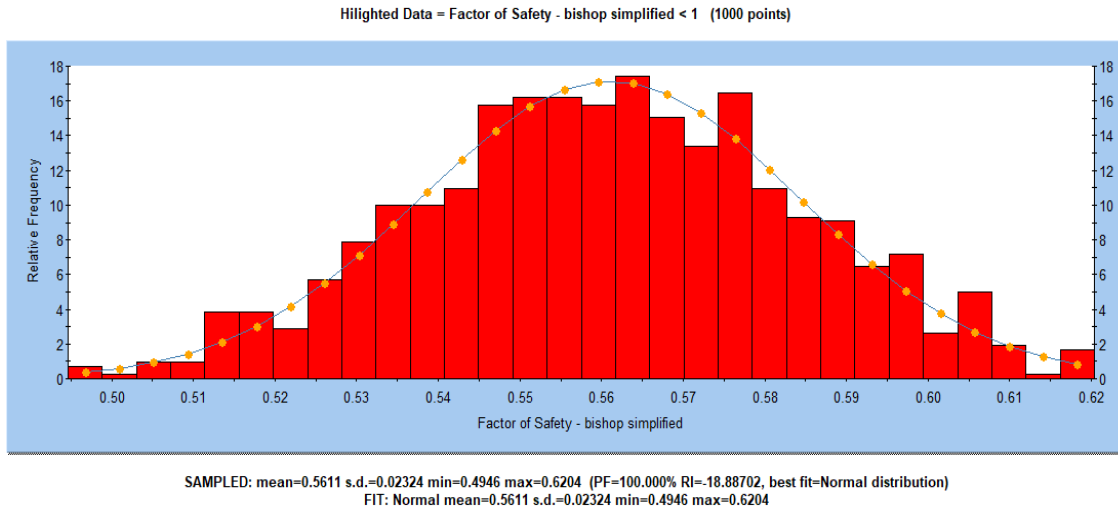
**Figura 179.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



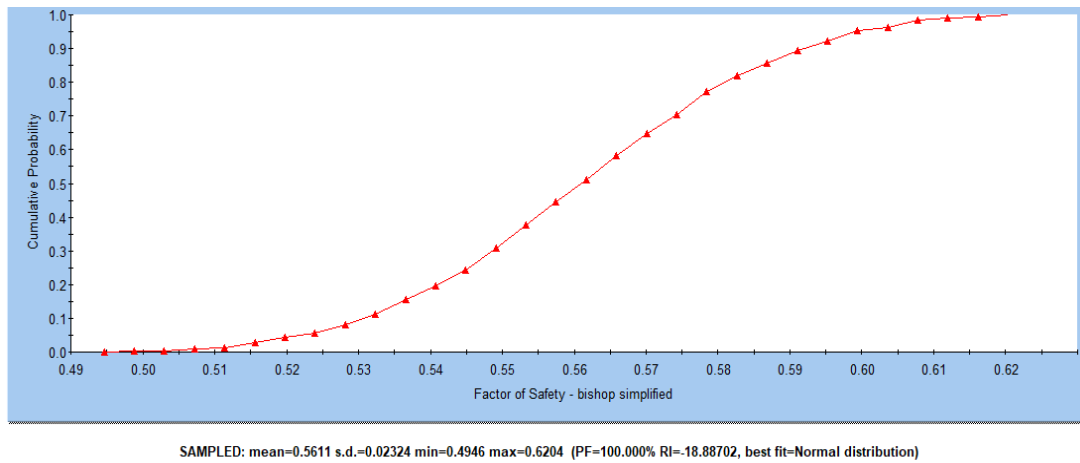
**Figura 180.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



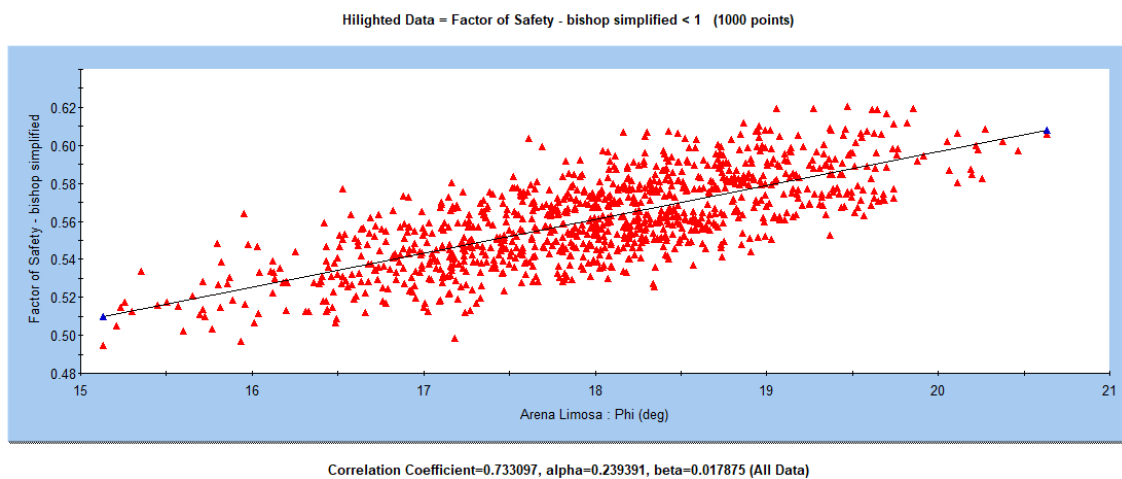
**Figura 181.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+110 del talud Peña de los Loros*



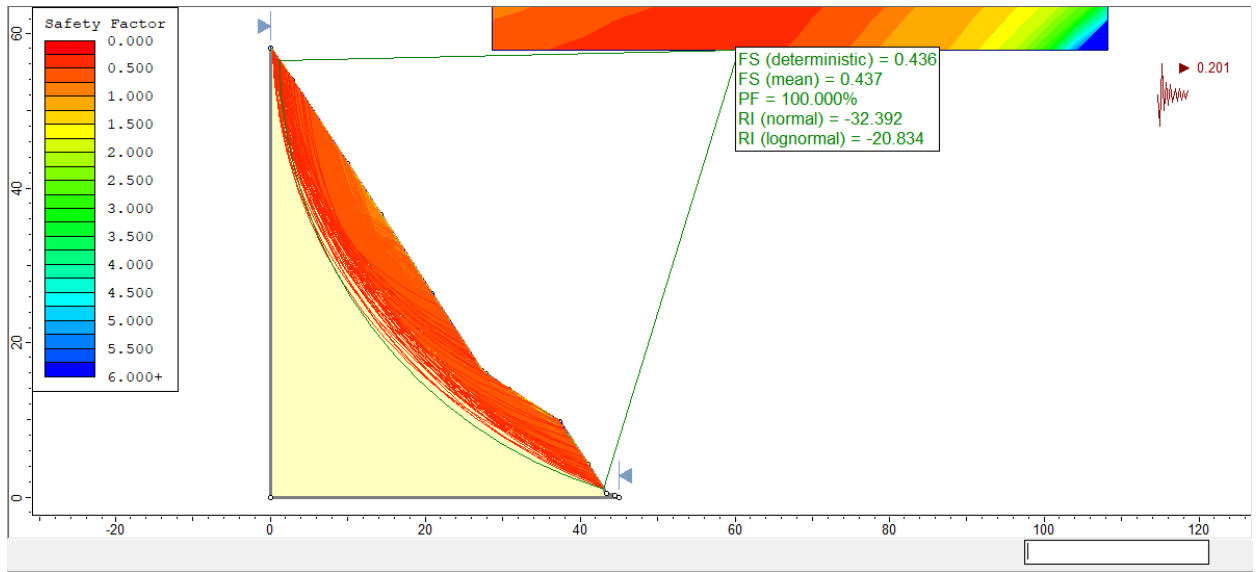
**Figura 182.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+110 del talud Peña de los Loros*



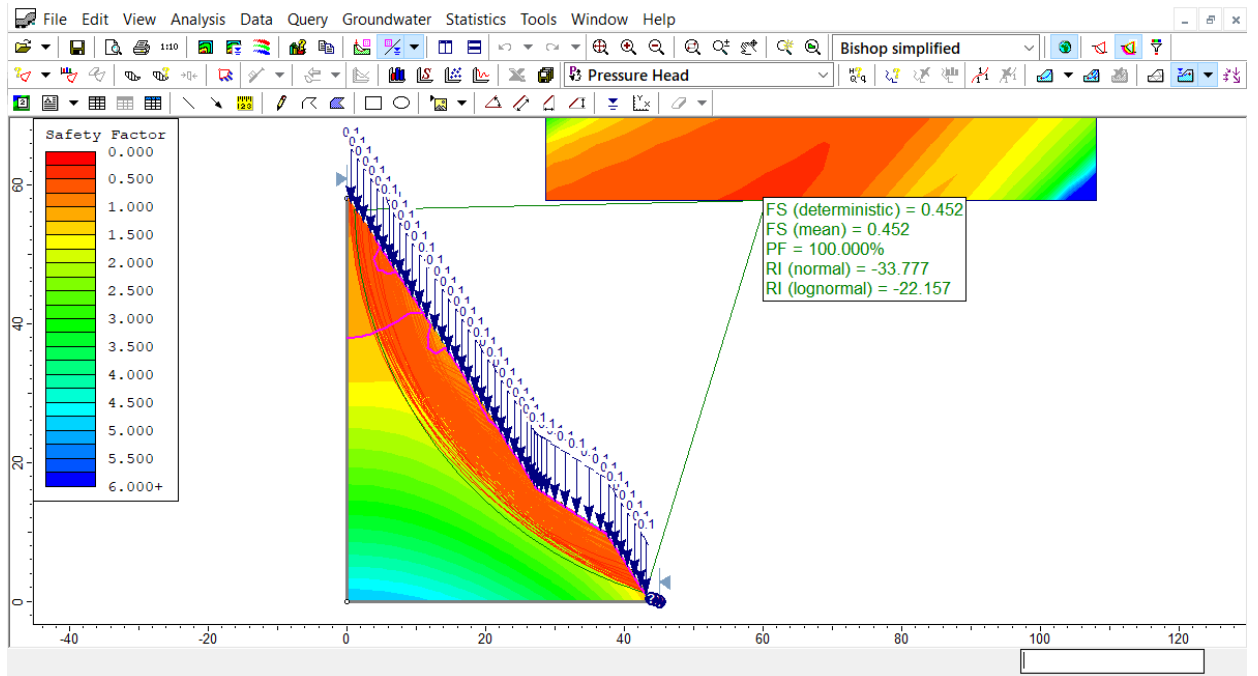
**Figura 183.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



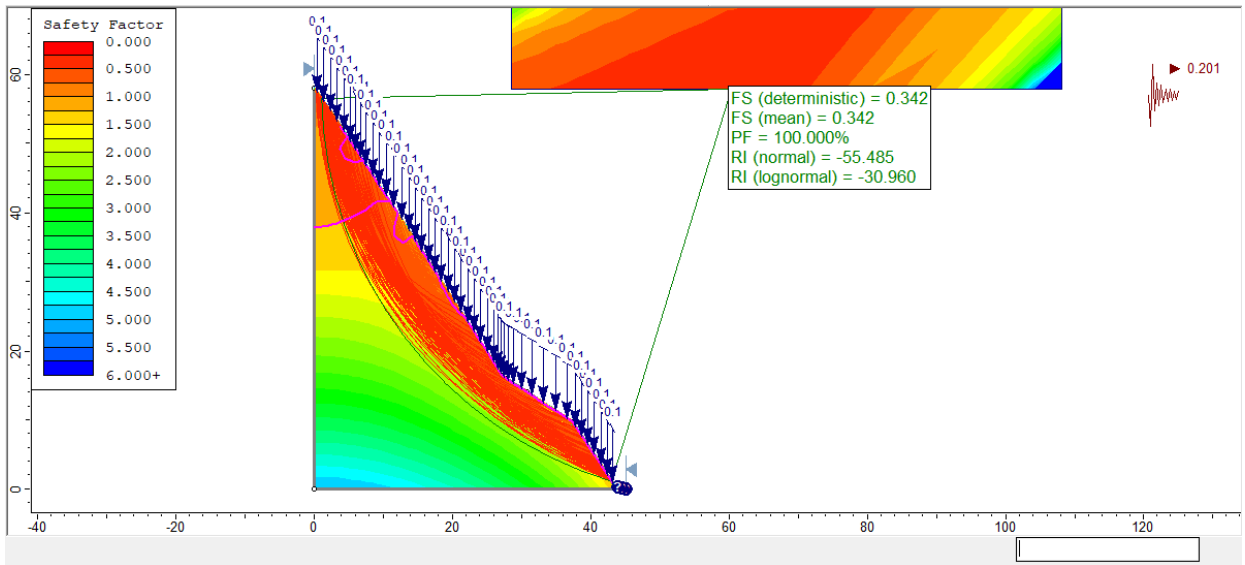
**Figura 184.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



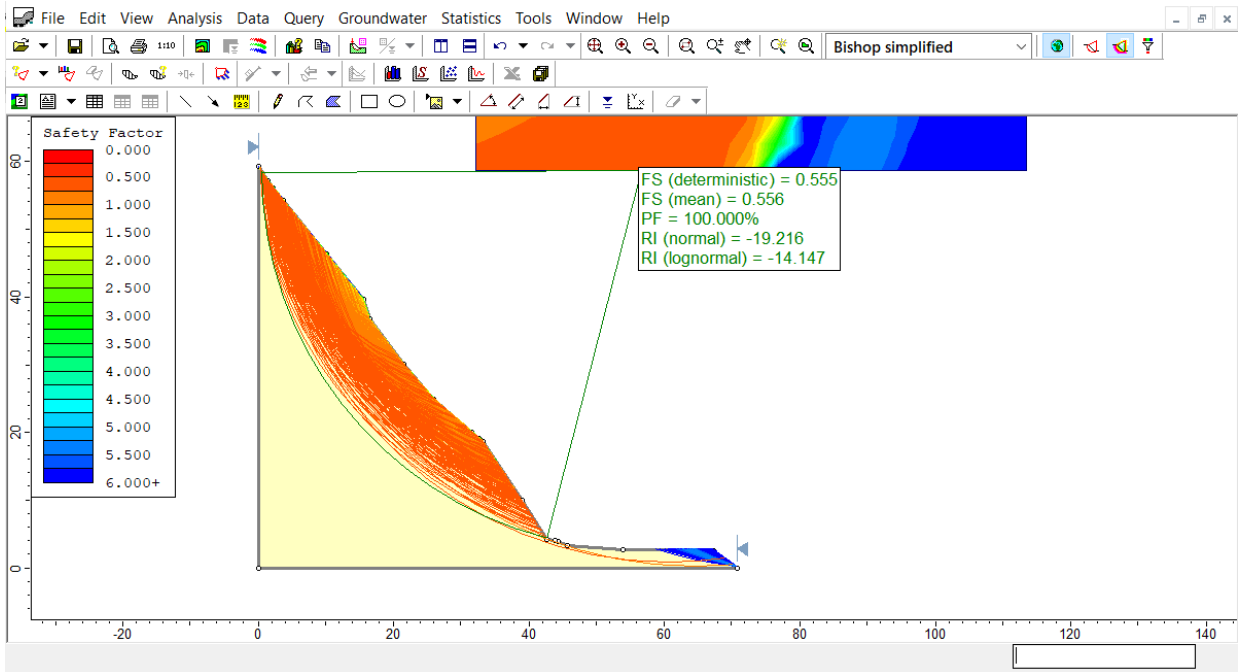
**Figura 185.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+110 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 186.**

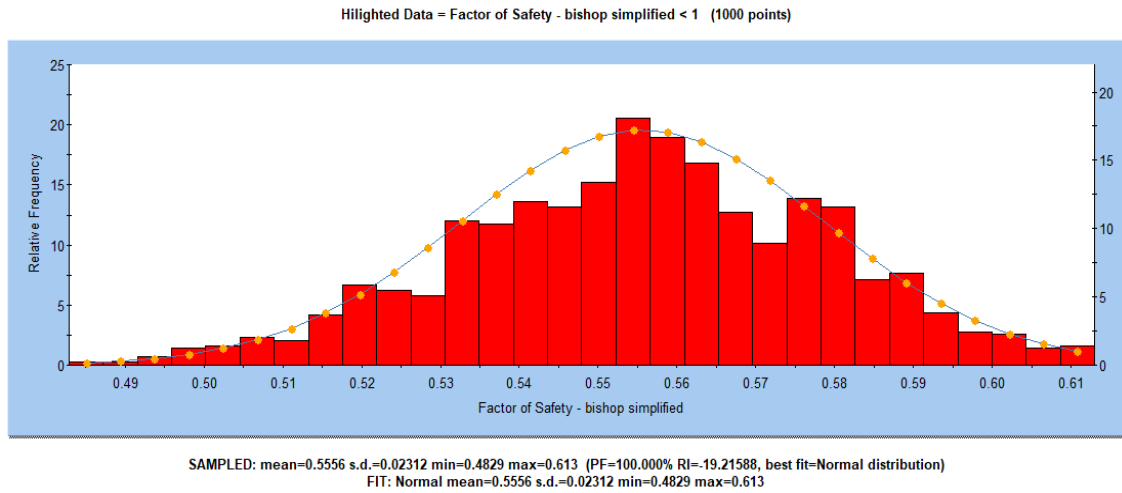
*Factor de seguridad estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*





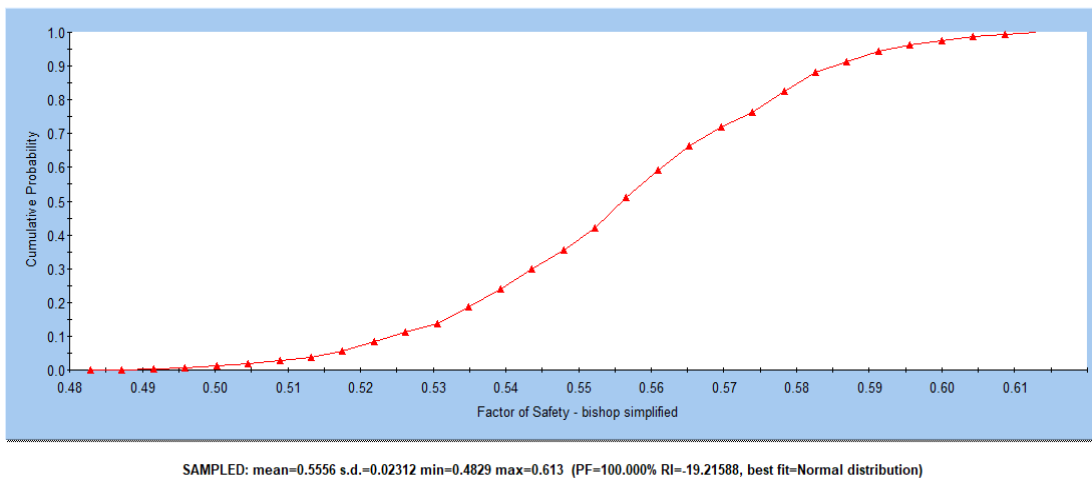
**Figura 187.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



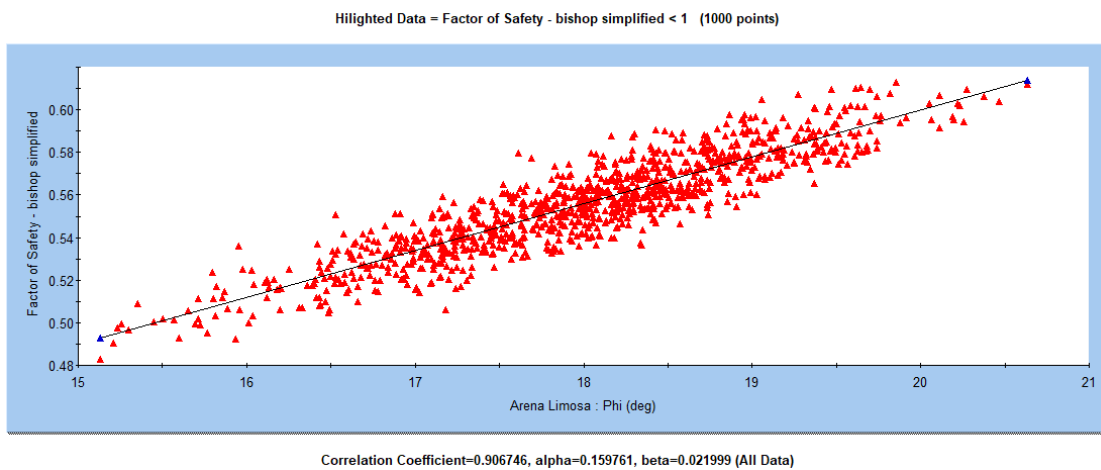
**Figura 188.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+120 del talud Peña de los Loros*



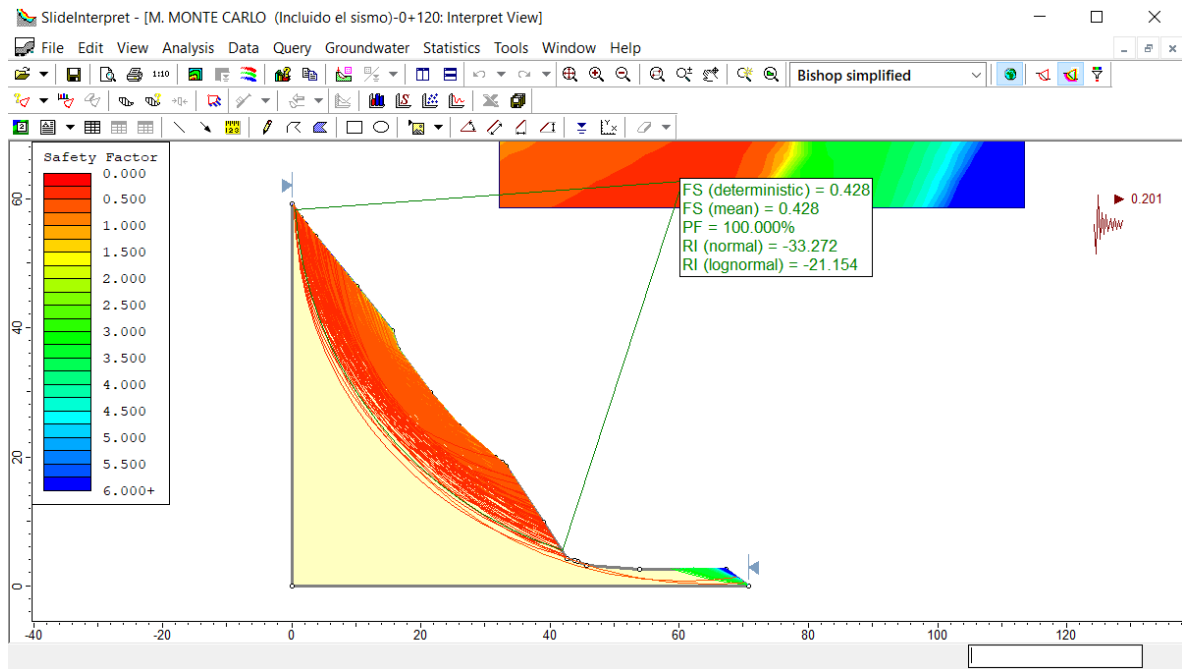
**Figura 189.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+120 del talud Peña de los Loros*



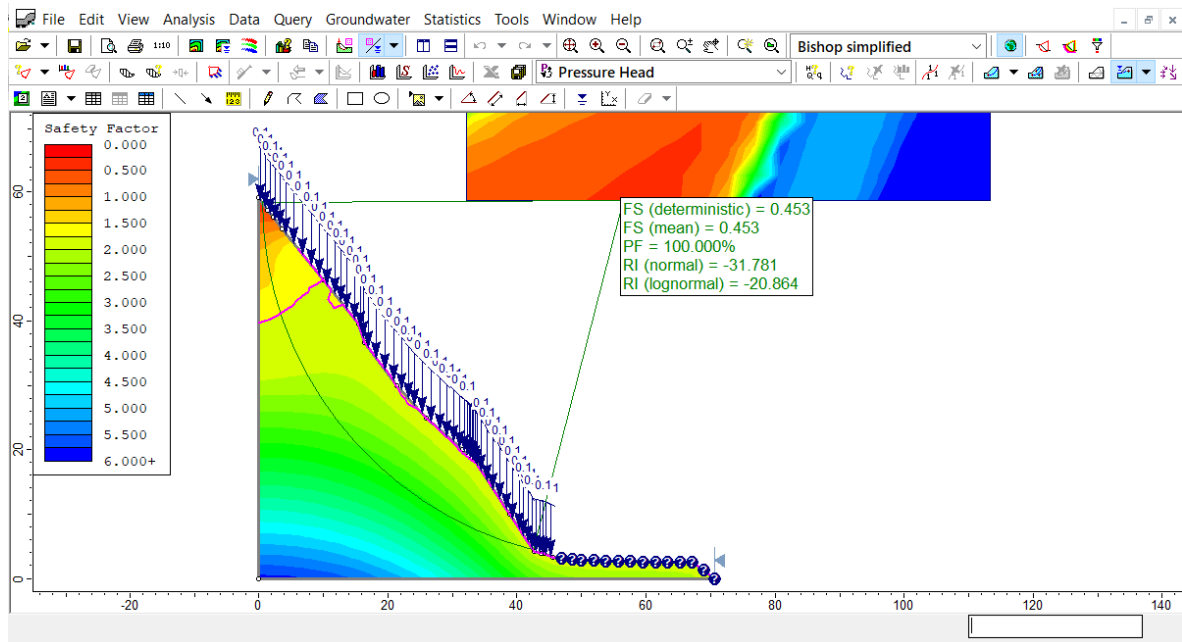
**Figura 190.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



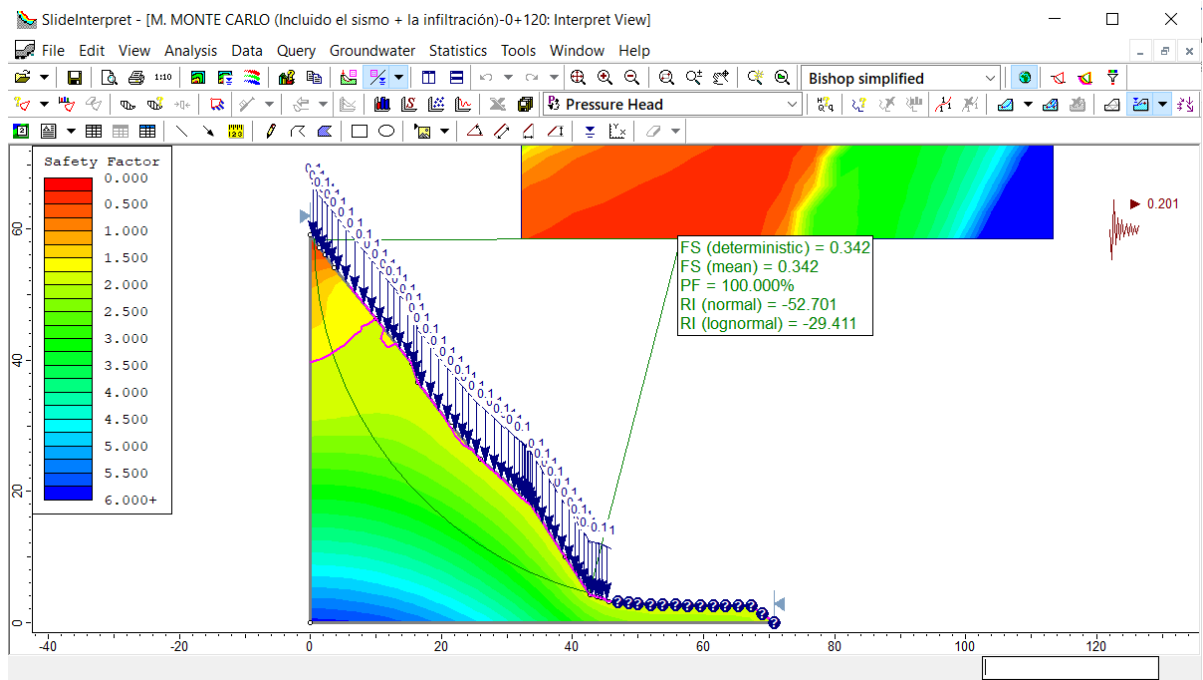
**Figura 191.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



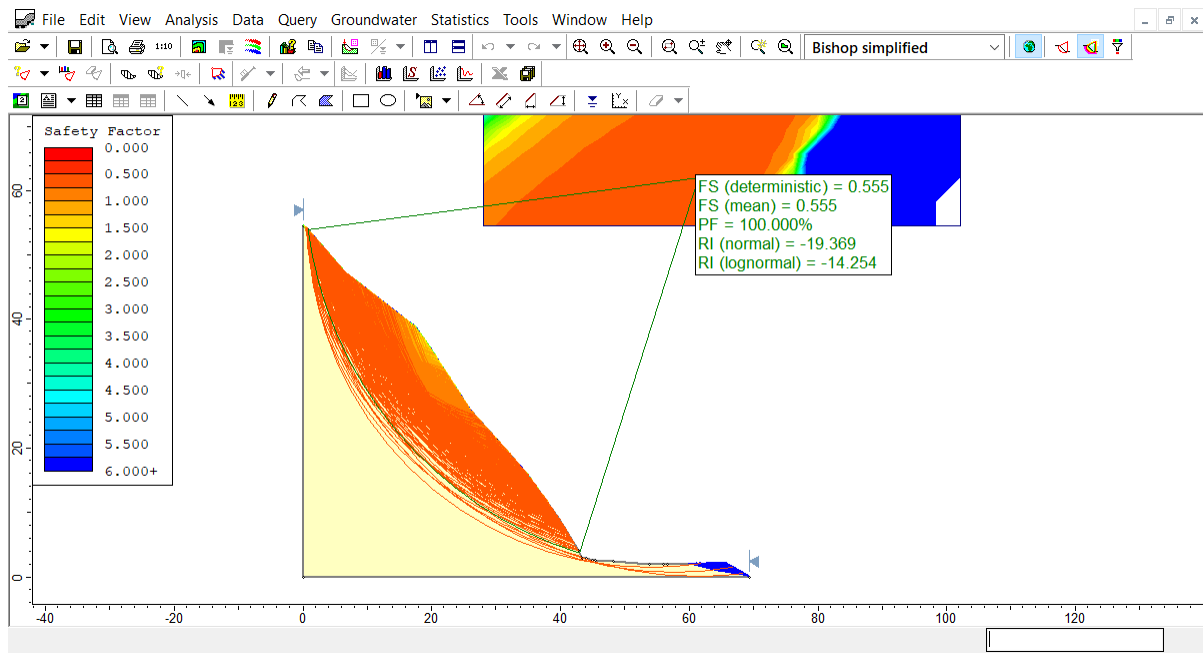
**Figura 192.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+120 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



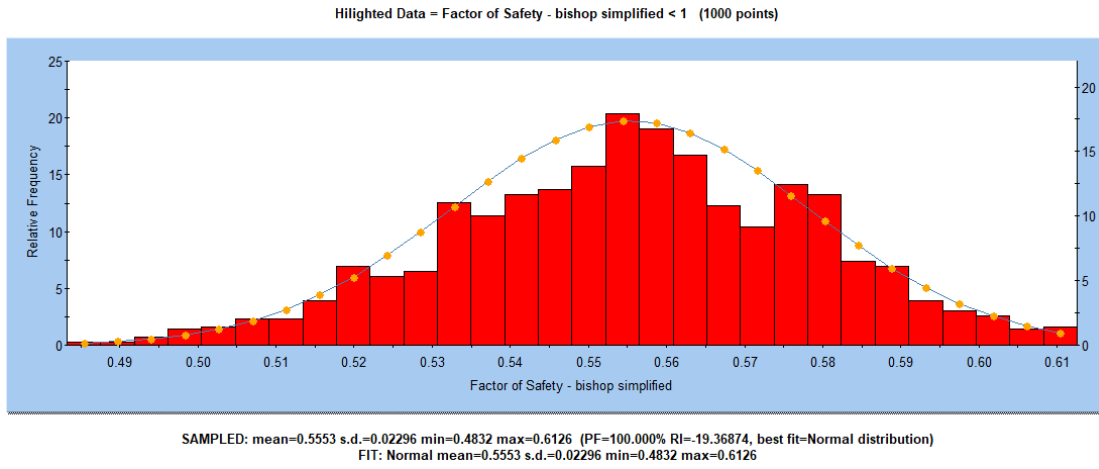
**Figura 193.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



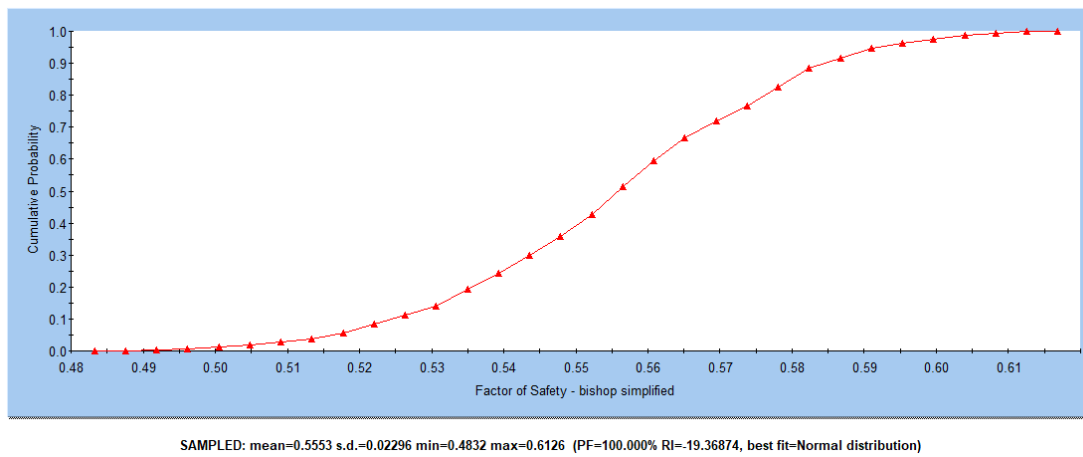
**Figura 194.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



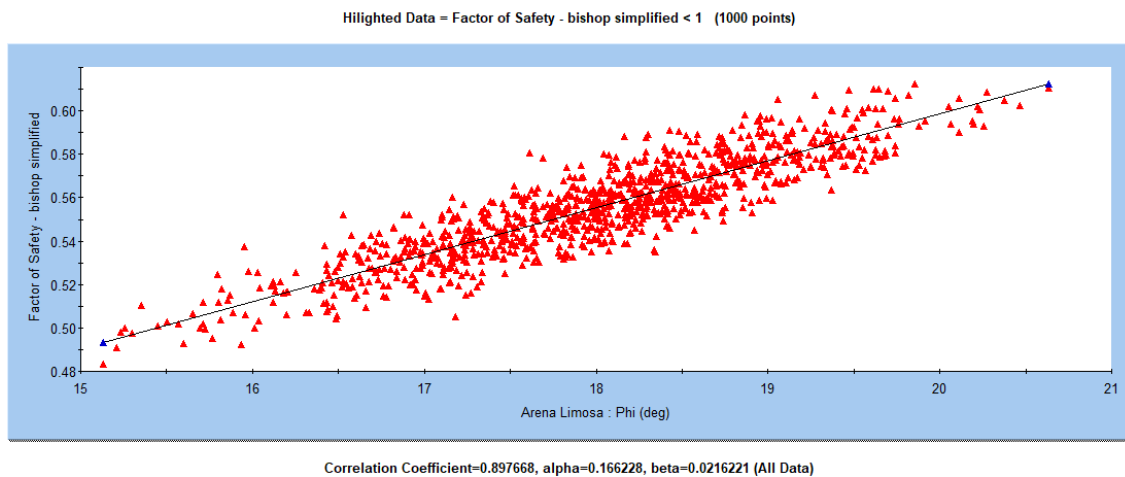
**Figura 195.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+130 del talud Peña de los Loros*



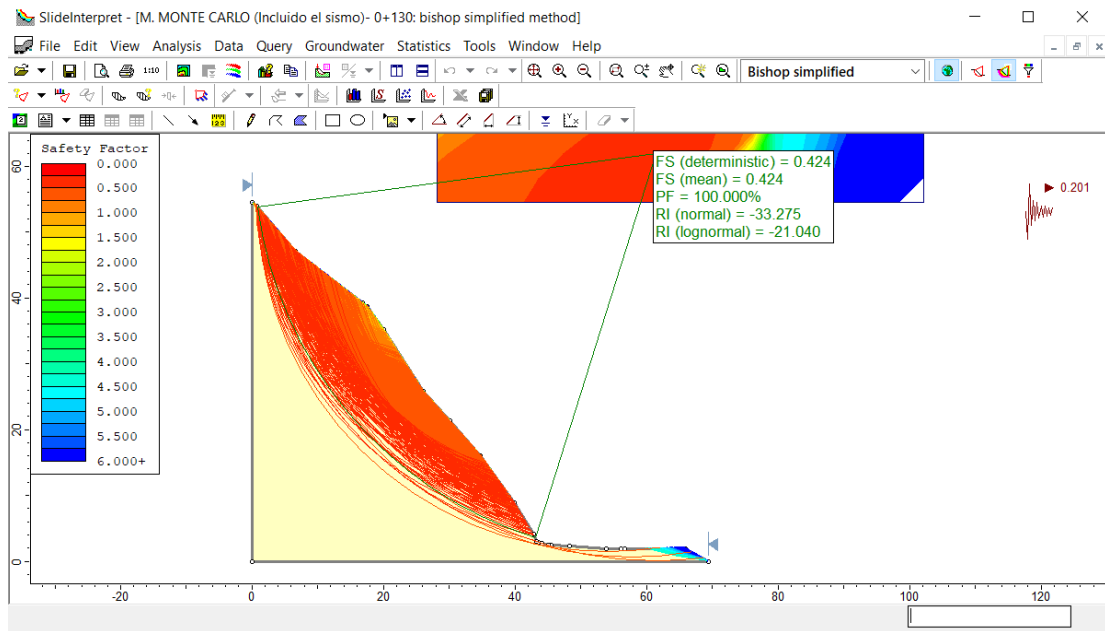
**Figura 196.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 1, sección 0+130 del talud Peña de los Loros*



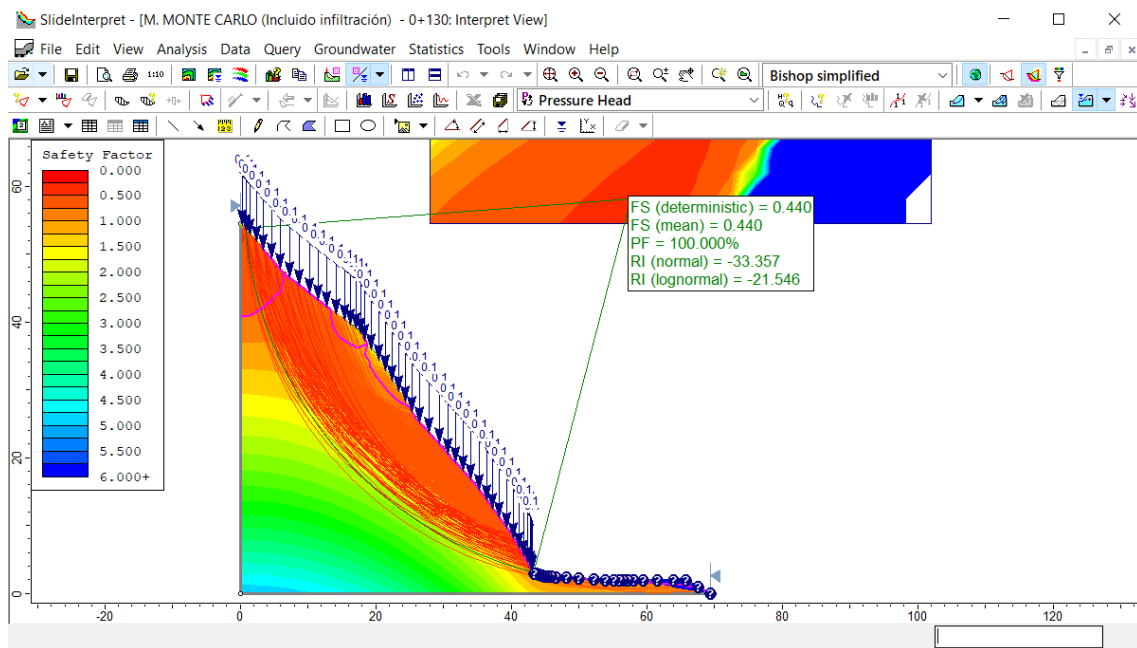
**Figura 197.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



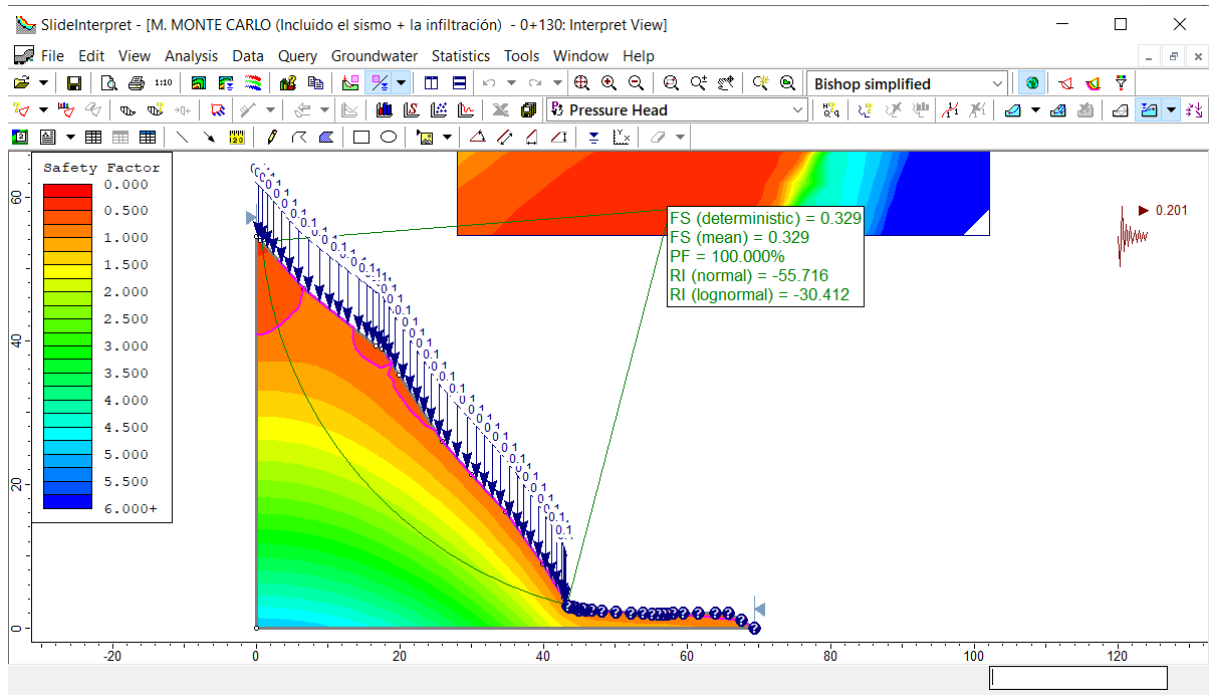
**Figura 198.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



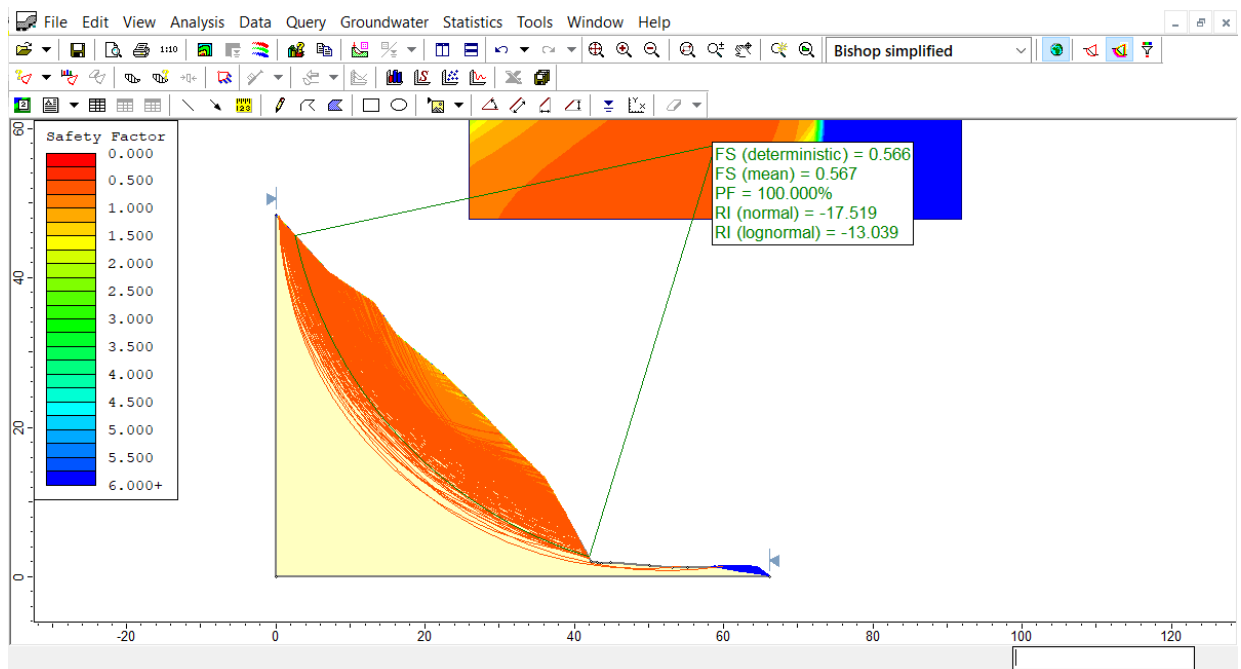
**Figura 199.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+130 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



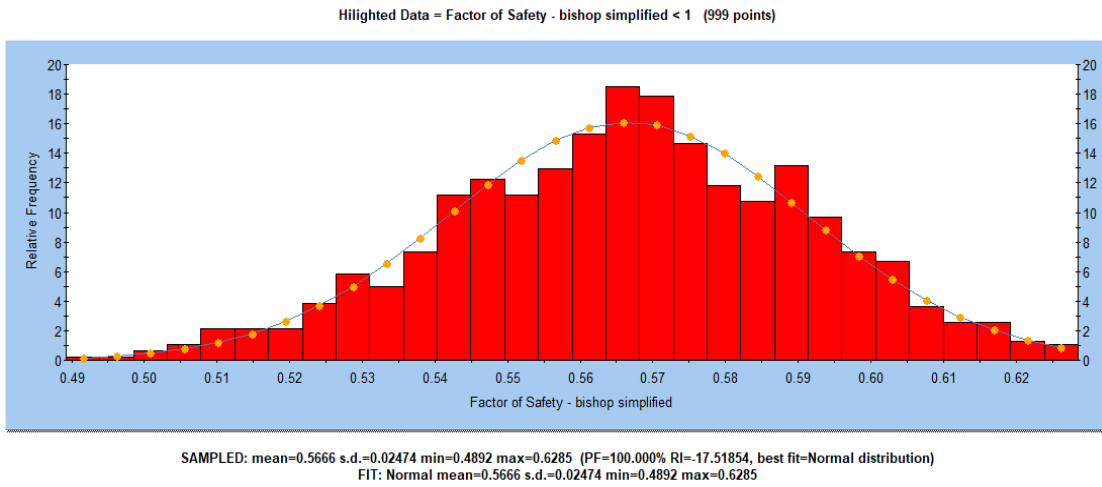
**Figura 200.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



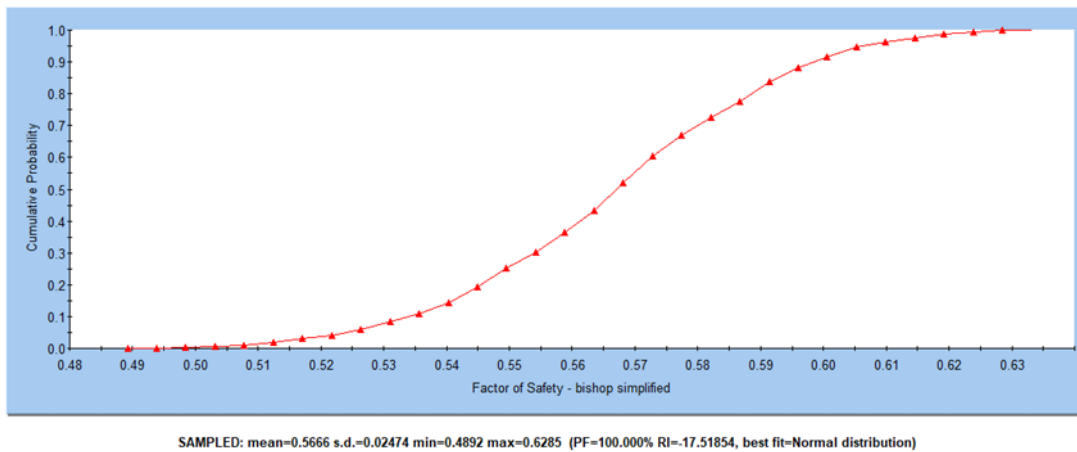
**Figura 201.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



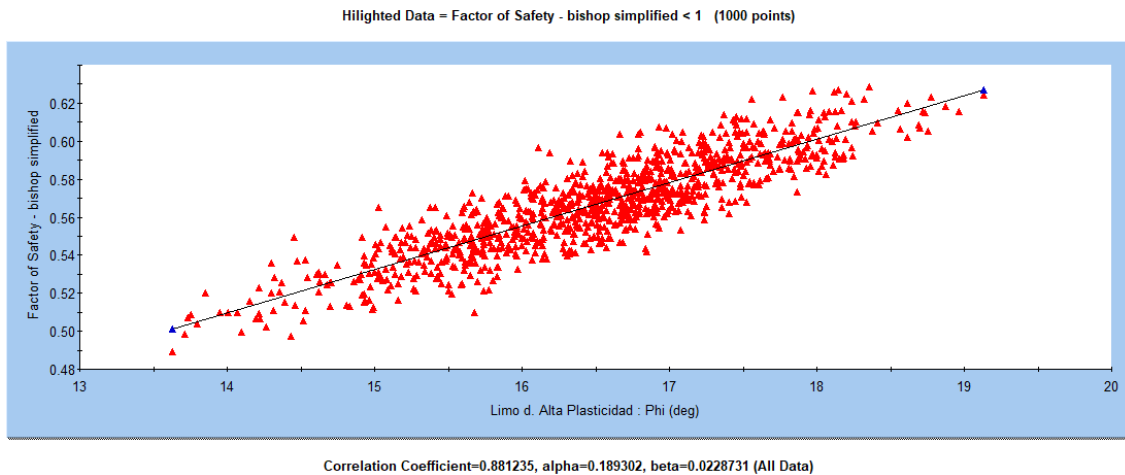
**Figura 202.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+140 del talud Peña de los Loros*



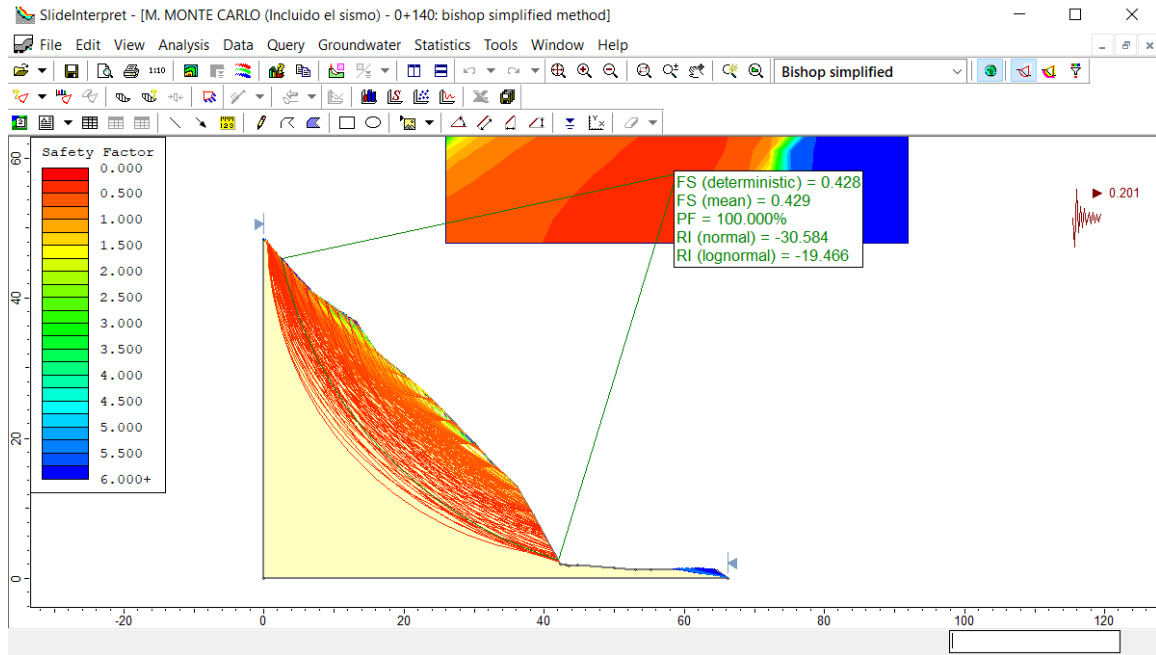
**Figura 203.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+140 del talud Peña de los Loros*



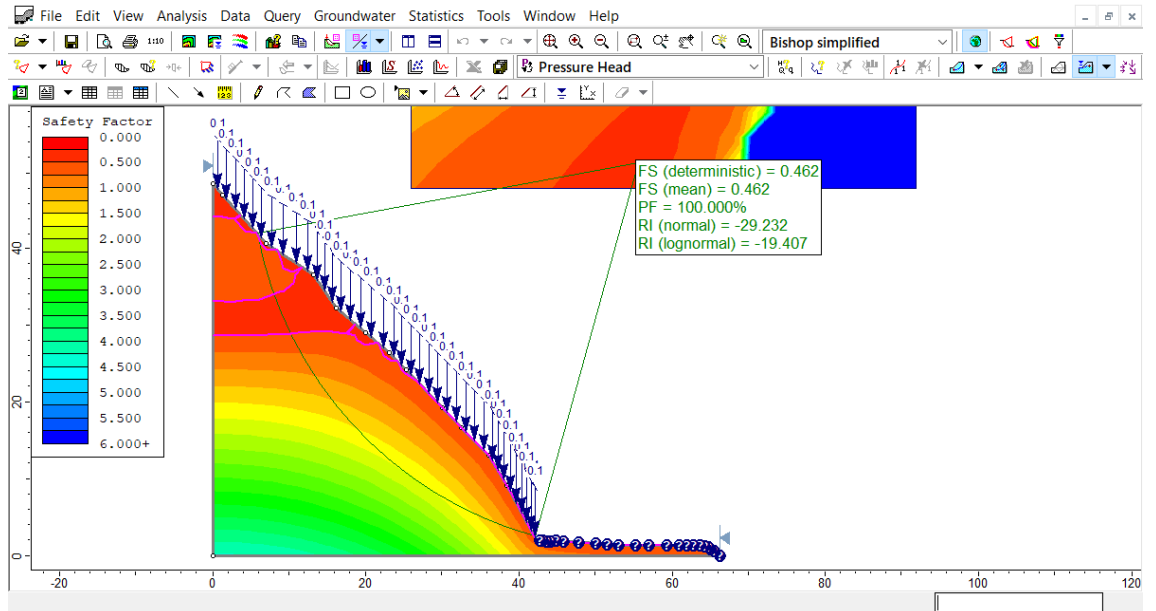
**Figura 204.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 205.**

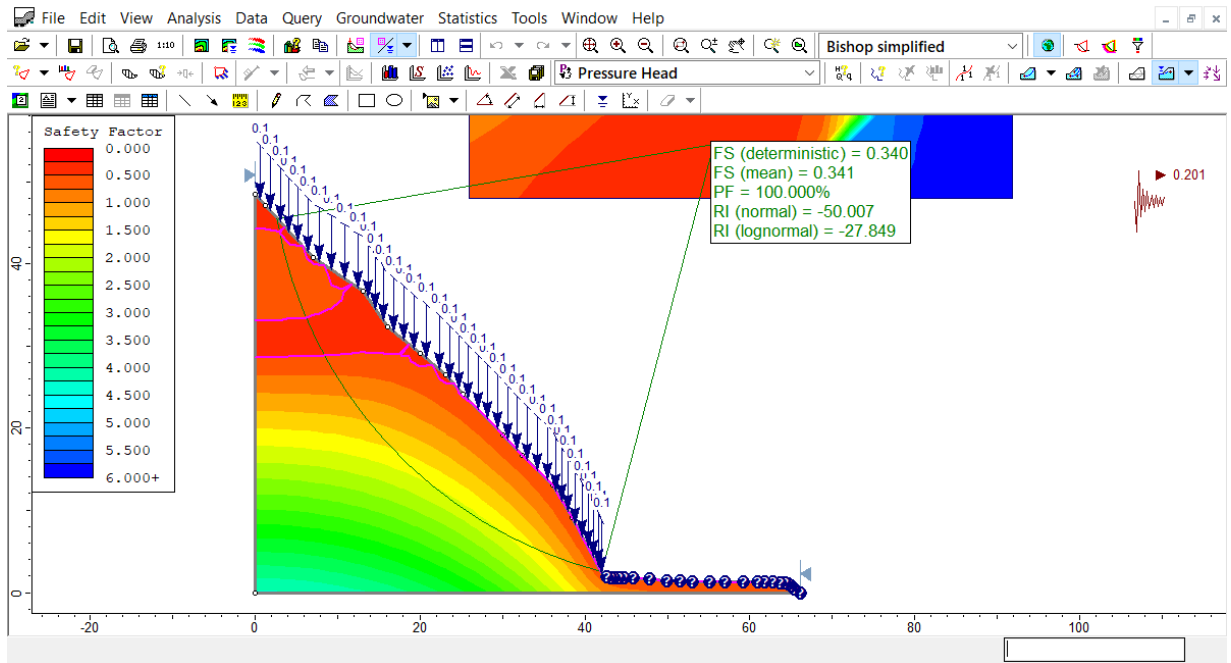
*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*





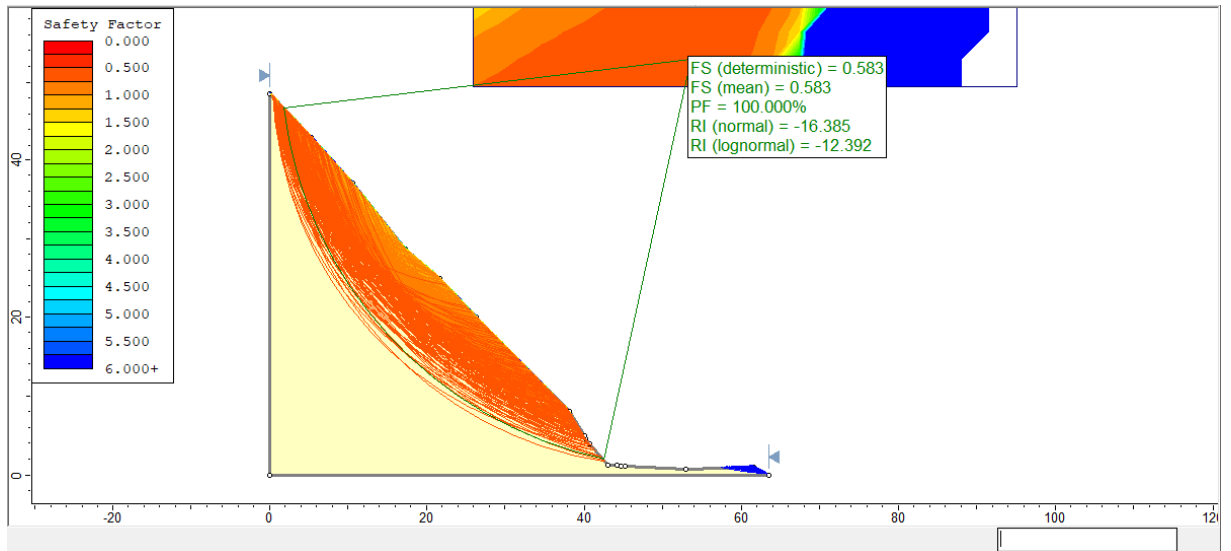
**Figura 206.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+140 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



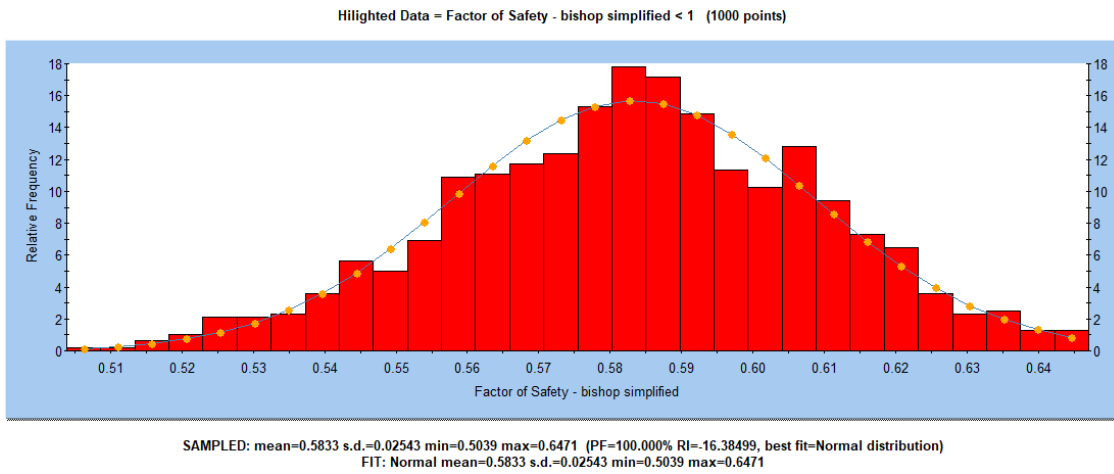
**Figura 207.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



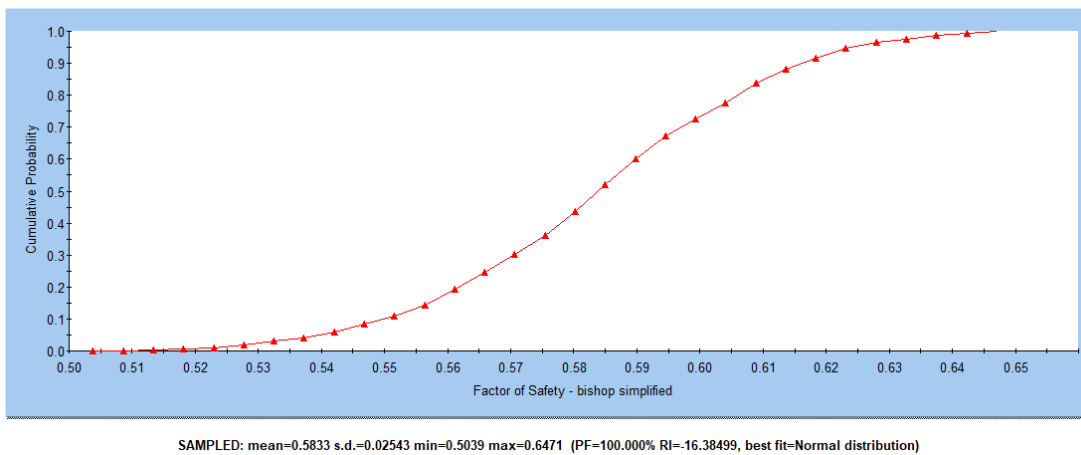
**Figura 208.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



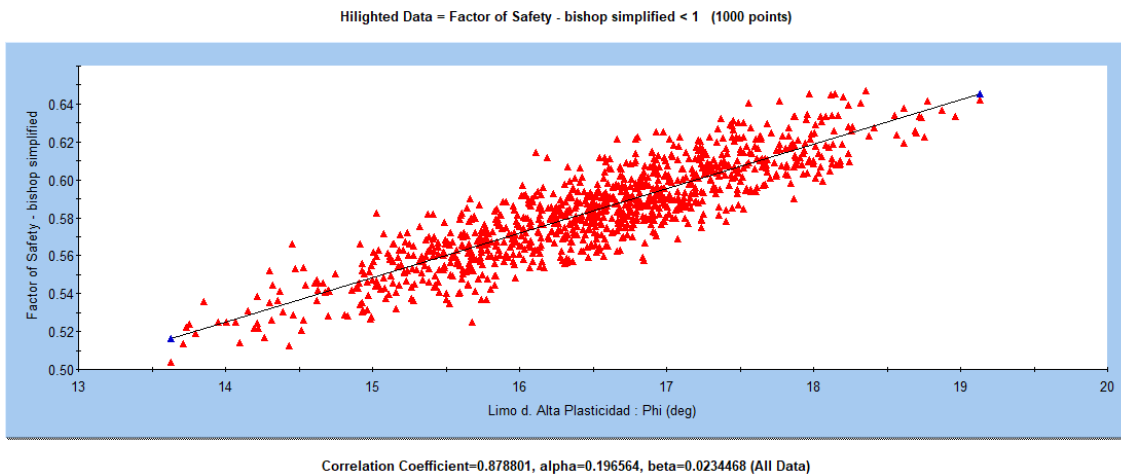
**Figura 209.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+150 del talud Peña de los Loros*



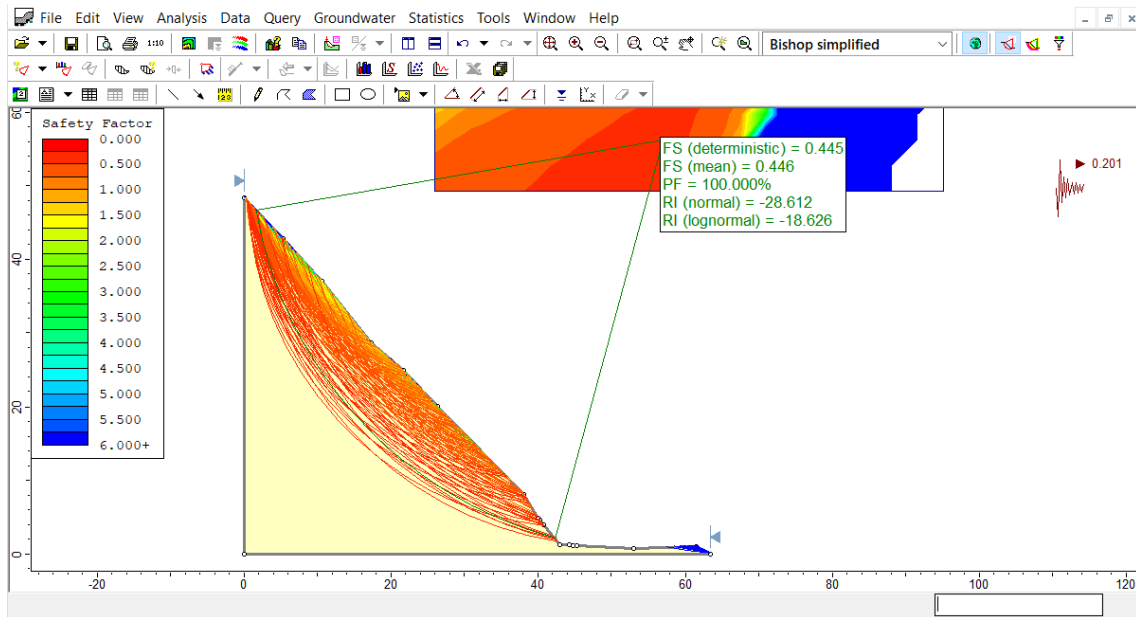
**Figura 210.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+150 del talud Peña de los Loros*



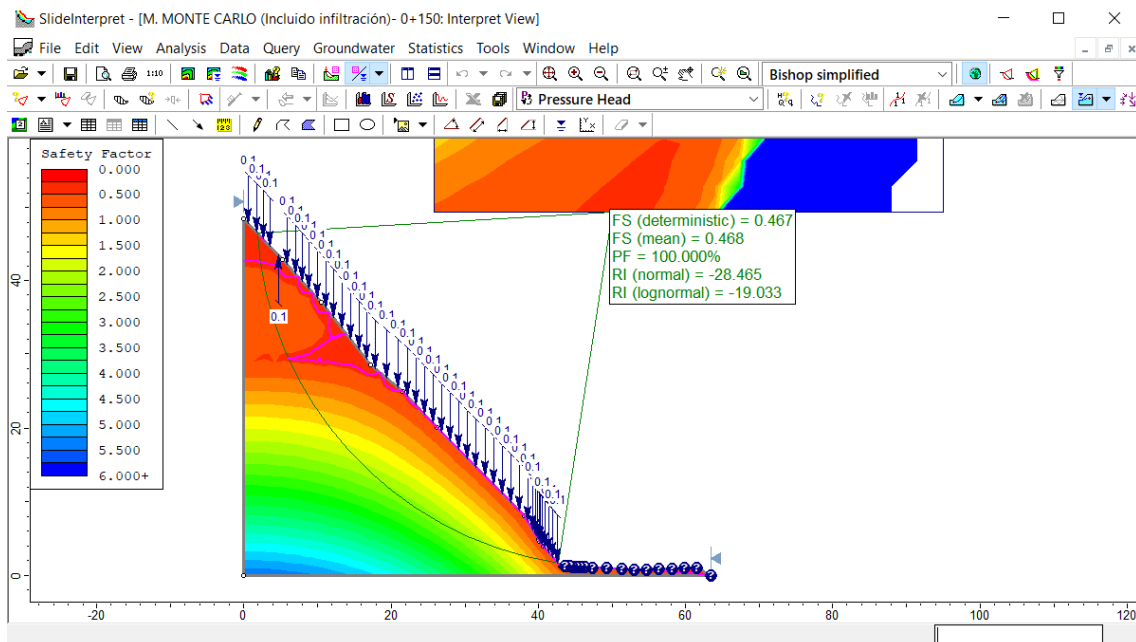
**Figura 211.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



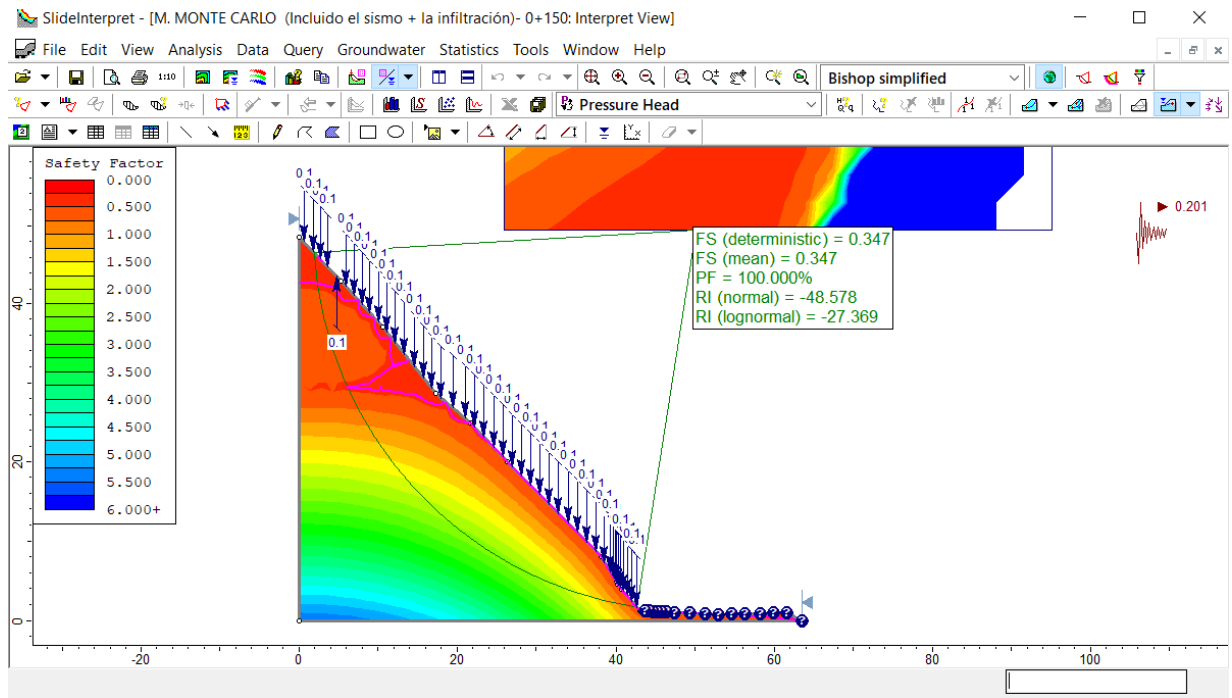
**Figura 212.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



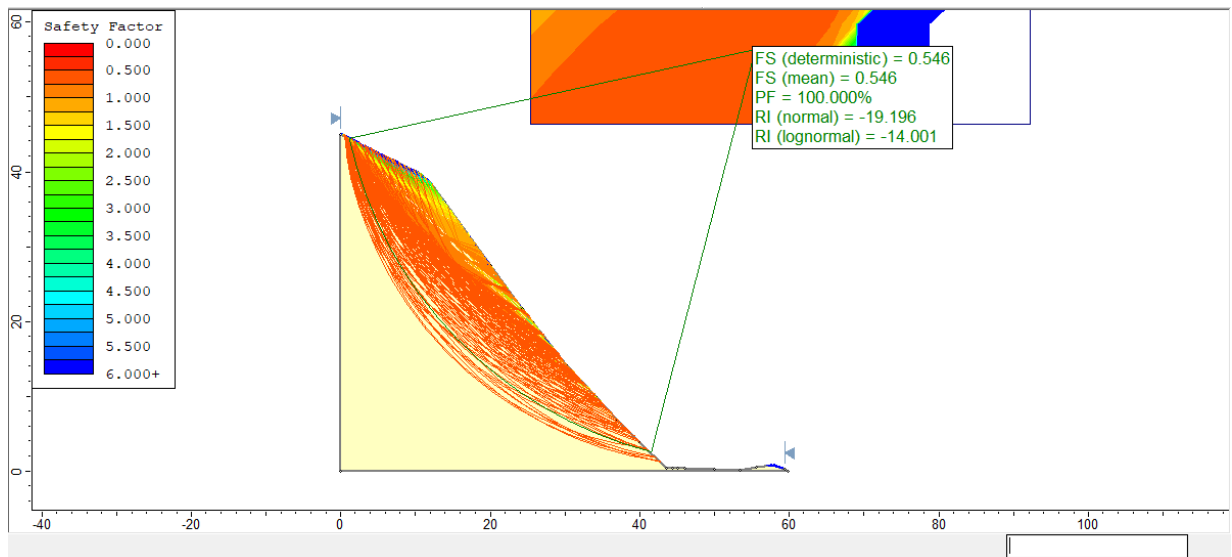
**Figura 213.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+150 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



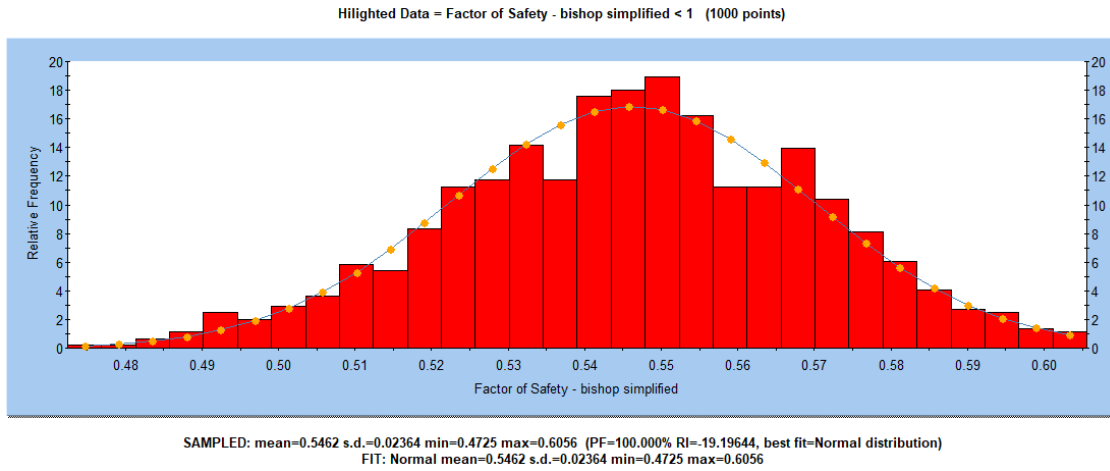
**Figura 214.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



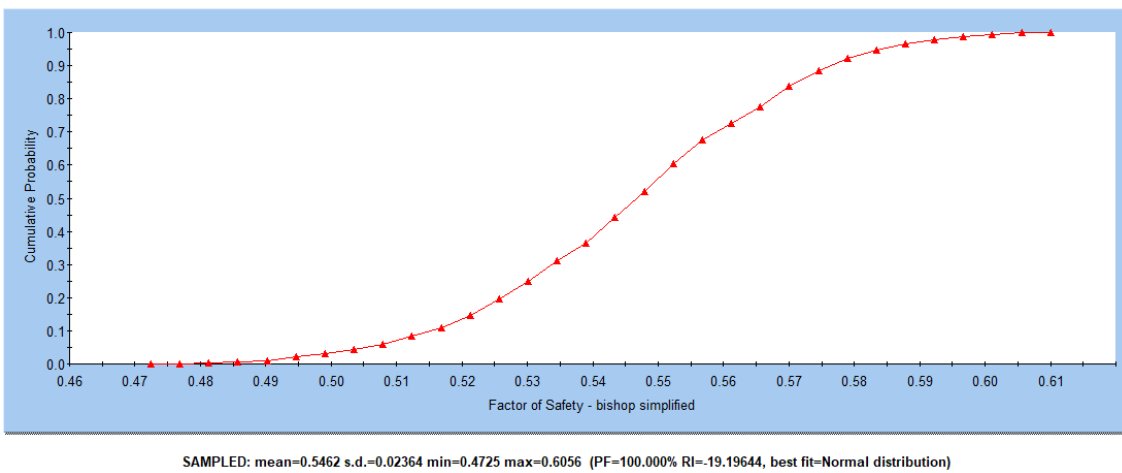
**Figura 215.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



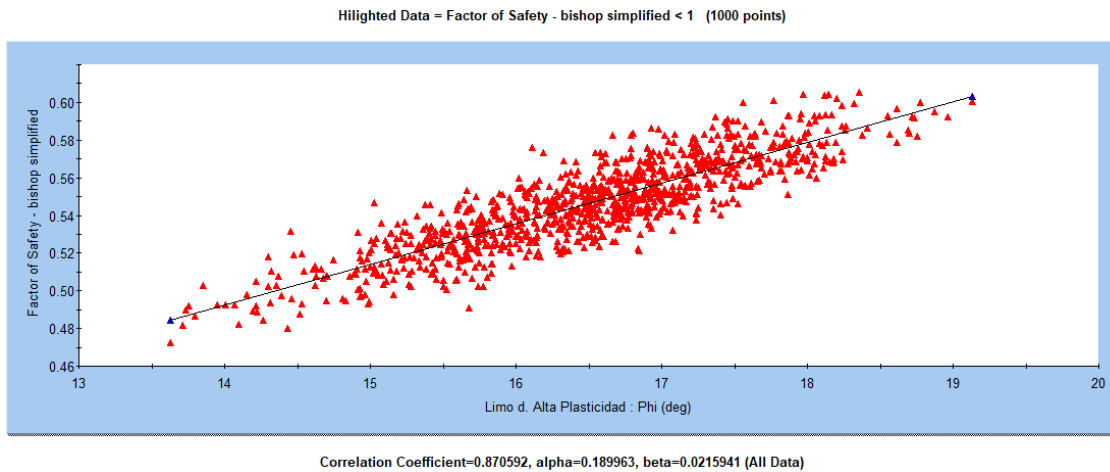
**Figura 216.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+160 del talud Peña de los Loros*



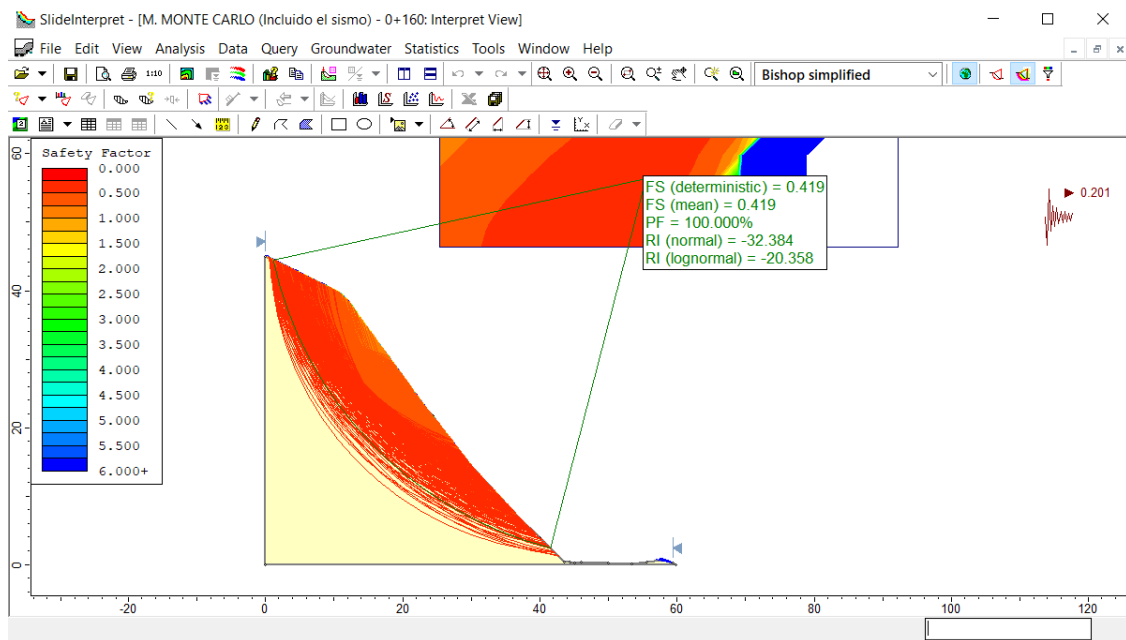
**Figura 217.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+160 del talud Peña de los Loros*



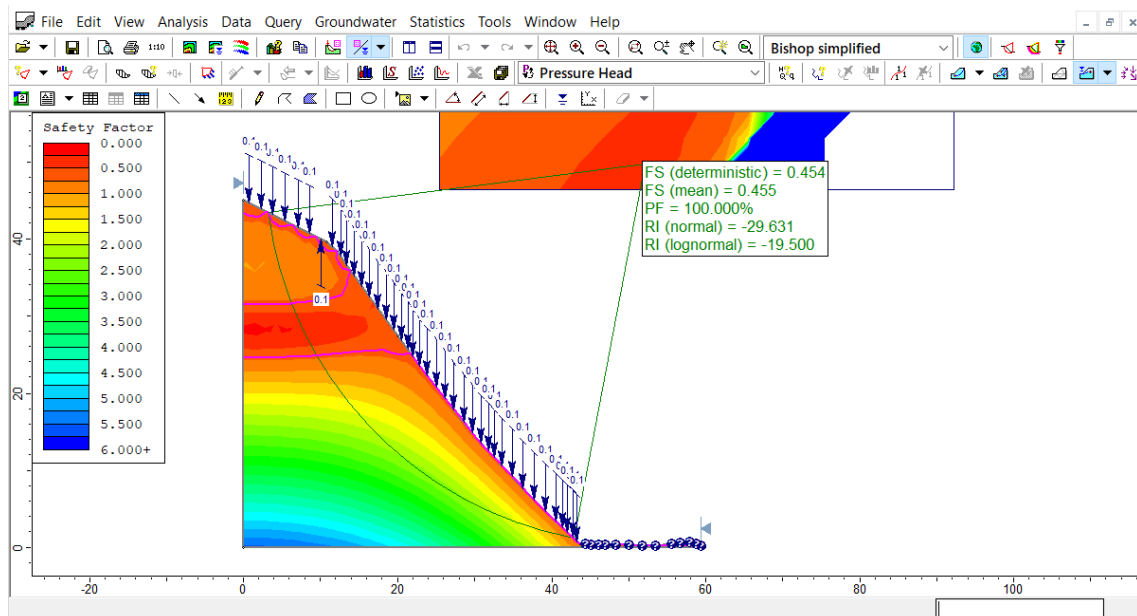
**Figura 218.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



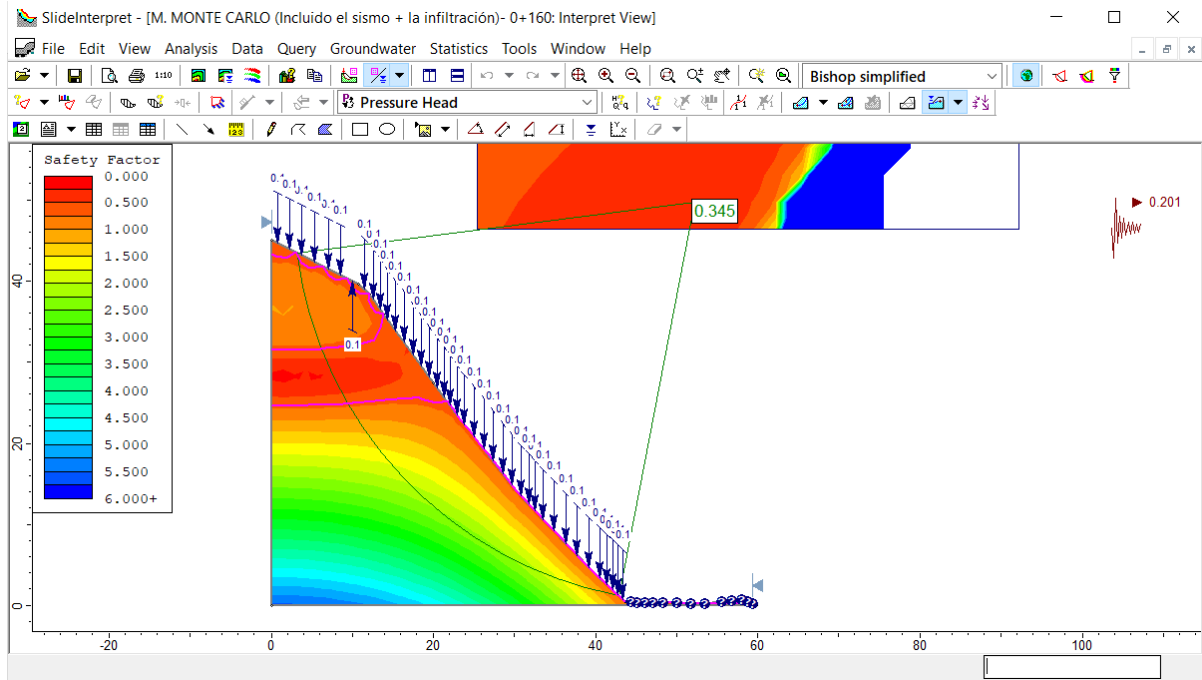
**Figura 219.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



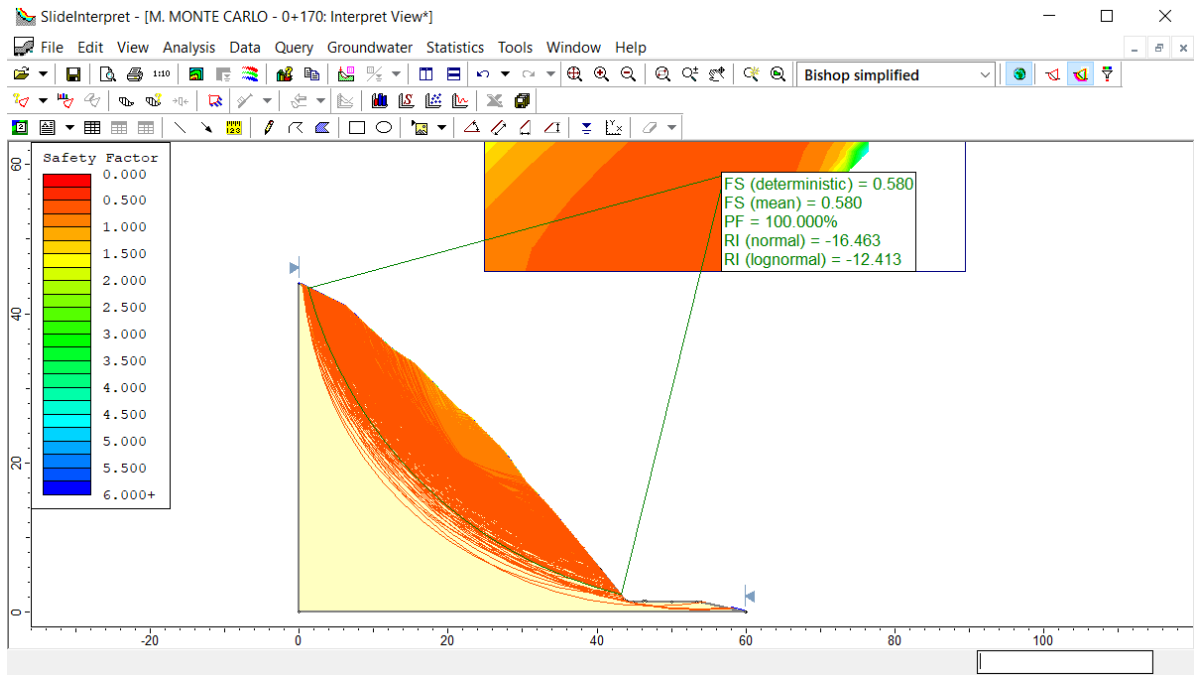
**Figura 220.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+160 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



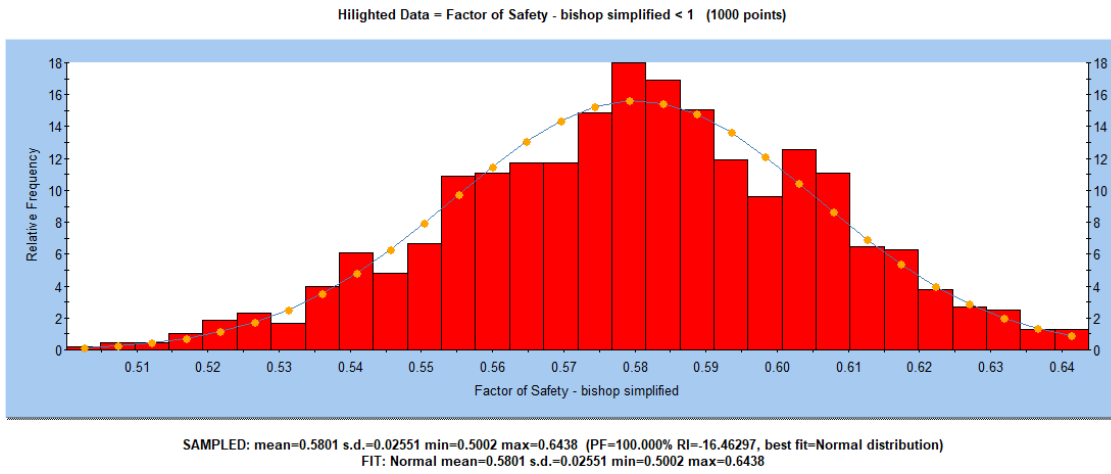
**Figura 221.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



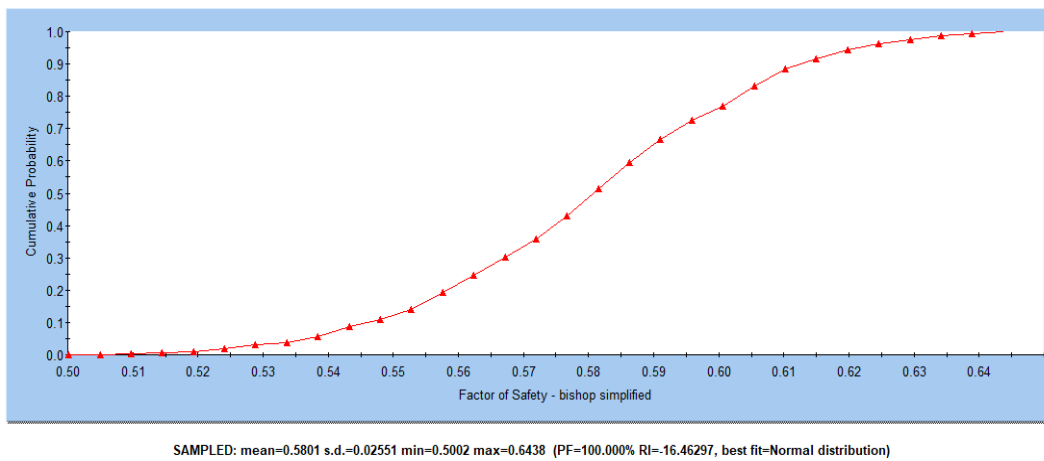
**Figura 222.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



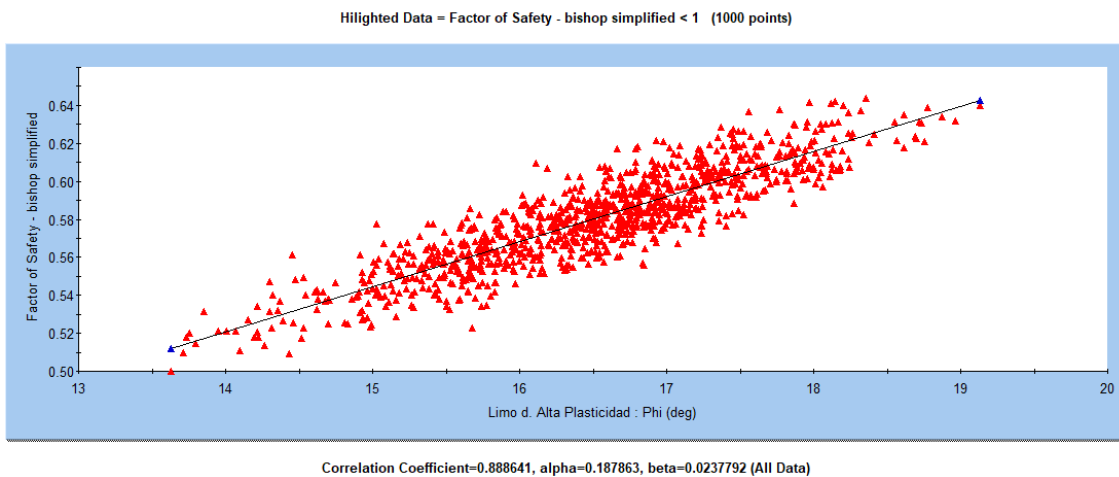
**Figura 223.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+170 del talud Peña de los Loros*



**Figura 224.**

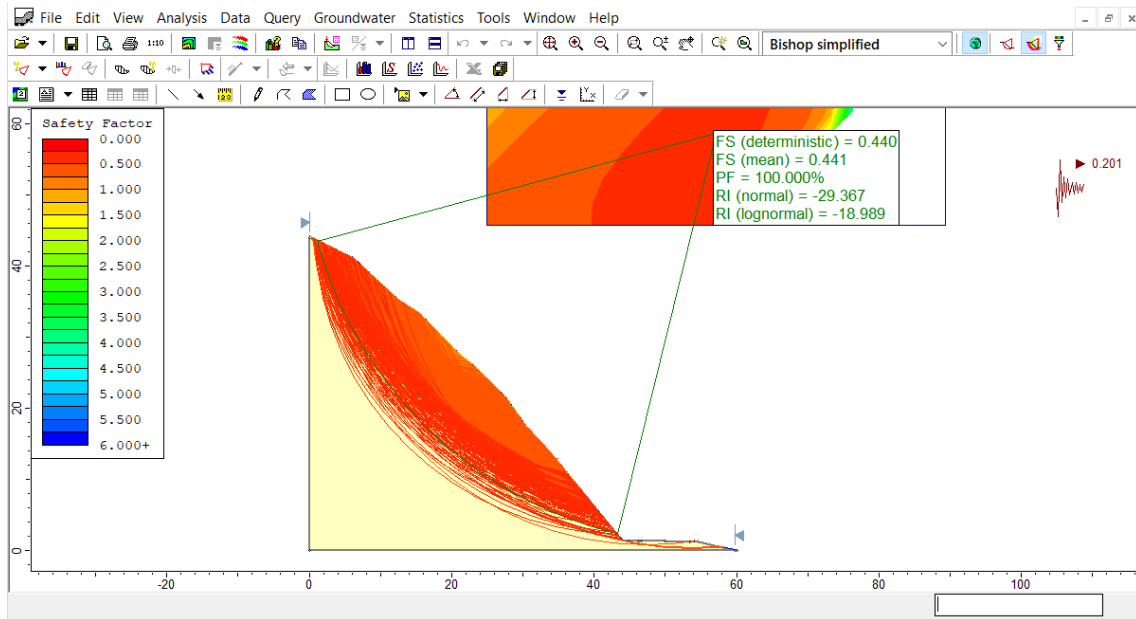
*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+170 del talud Peña de los Loros*





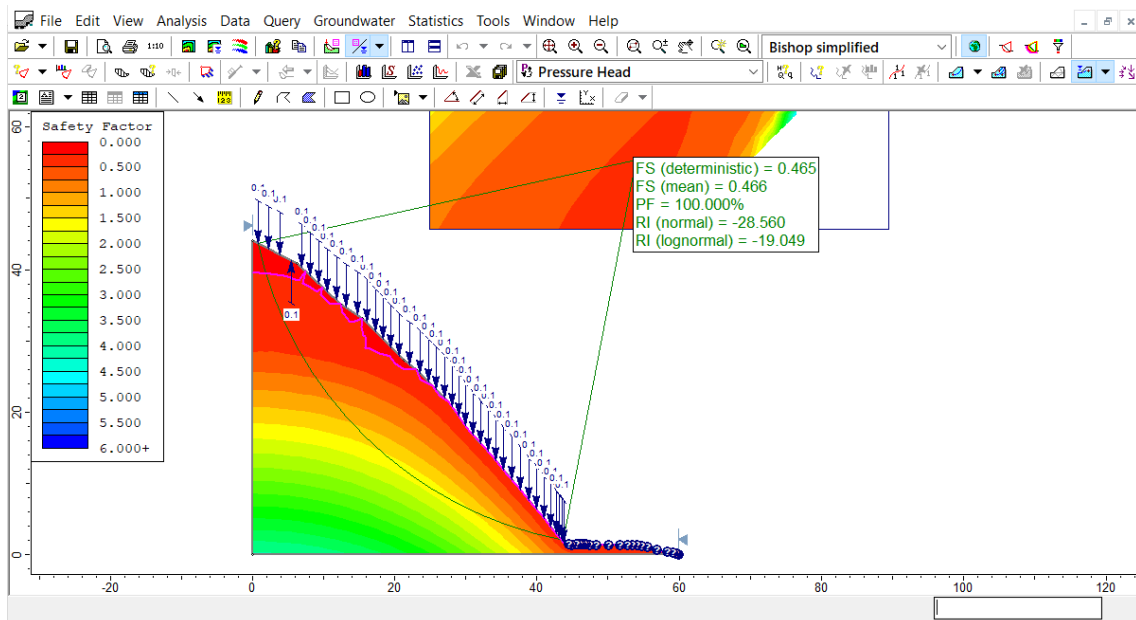
**Figura 225.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



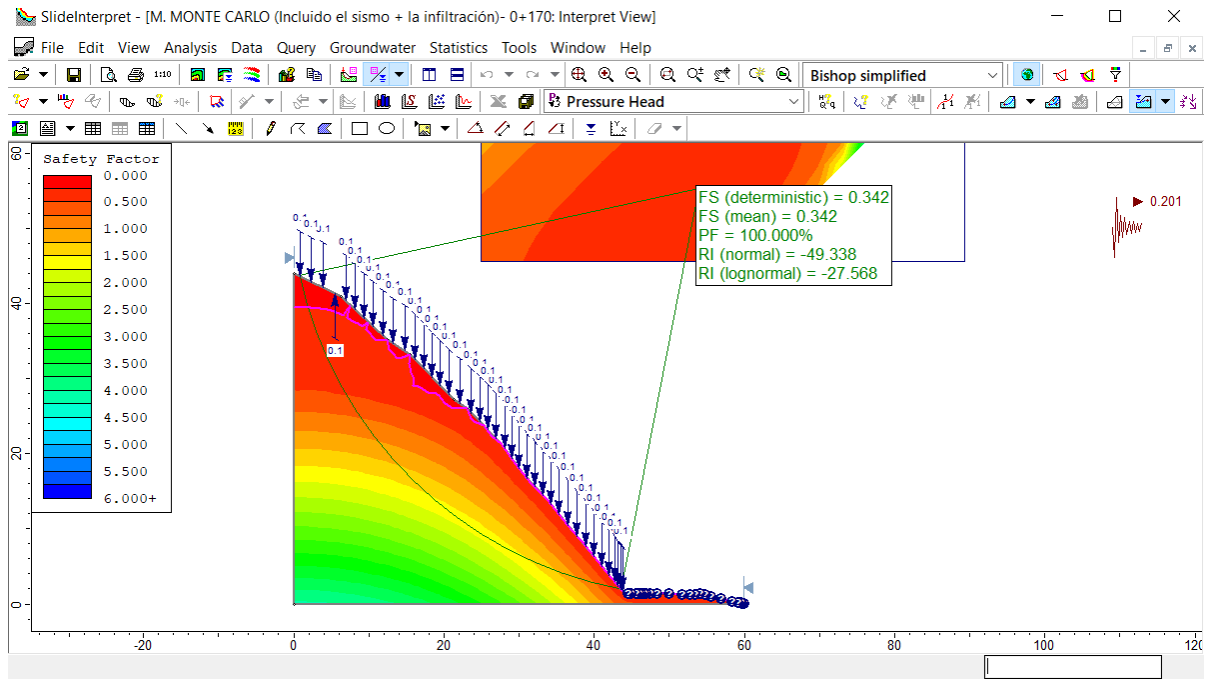
**Figura 226.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



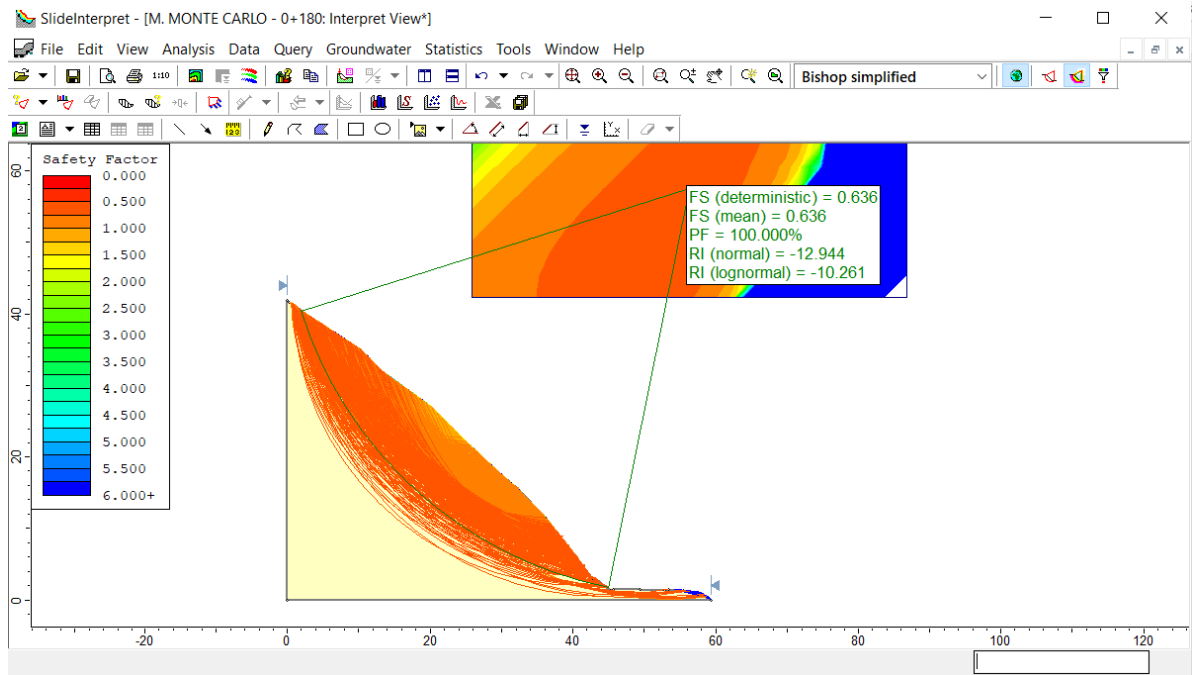
**Figura 227.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+170 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



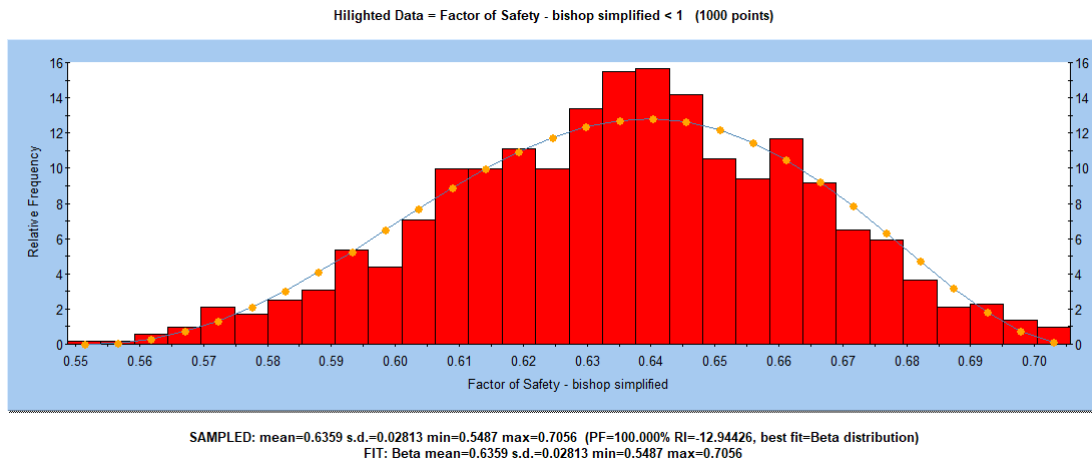
**Figura 228.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



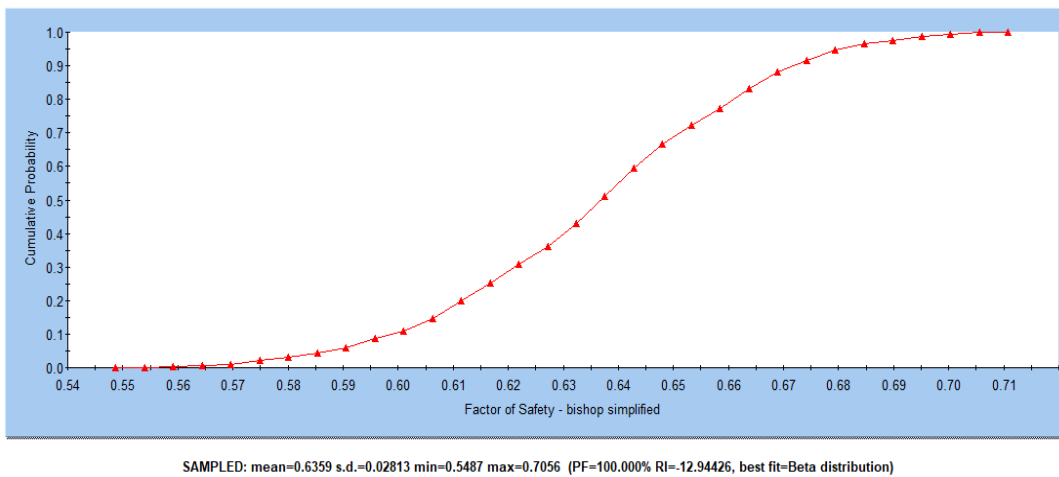
**Figura 229.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



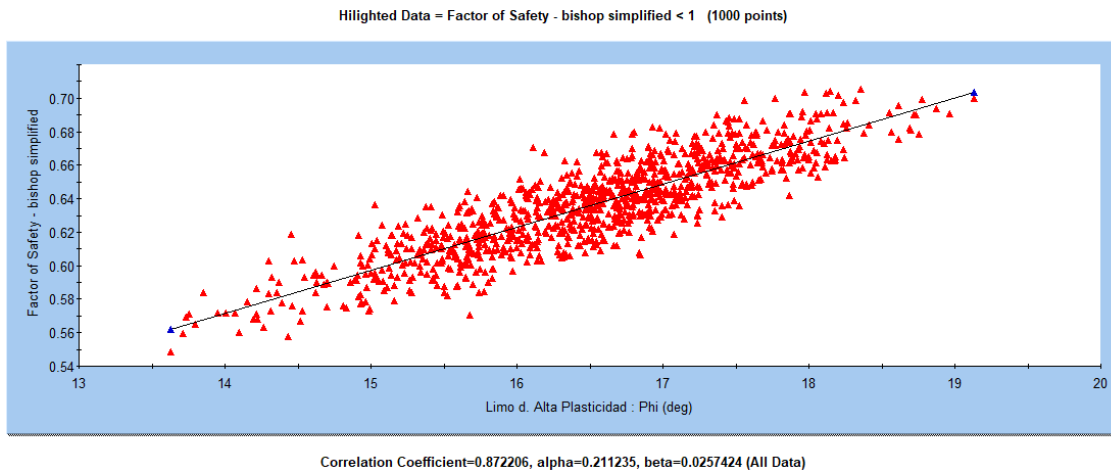
**Figura 230.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+180 del talud Peña de los Loros*



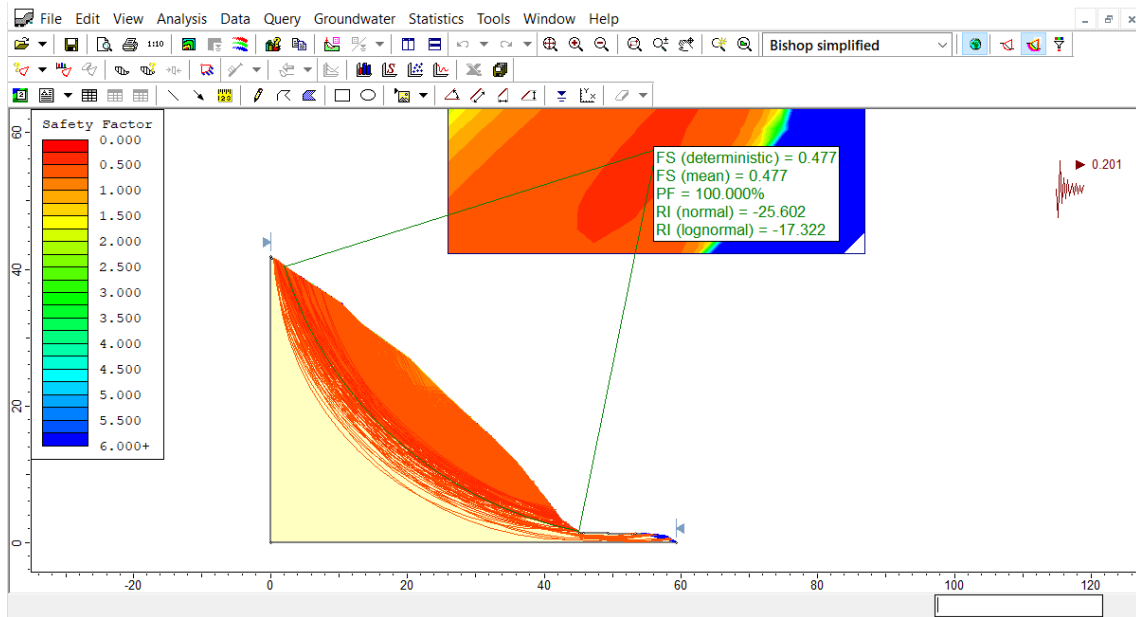
**Figura 231.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+180 del talud Peña de los Loros*



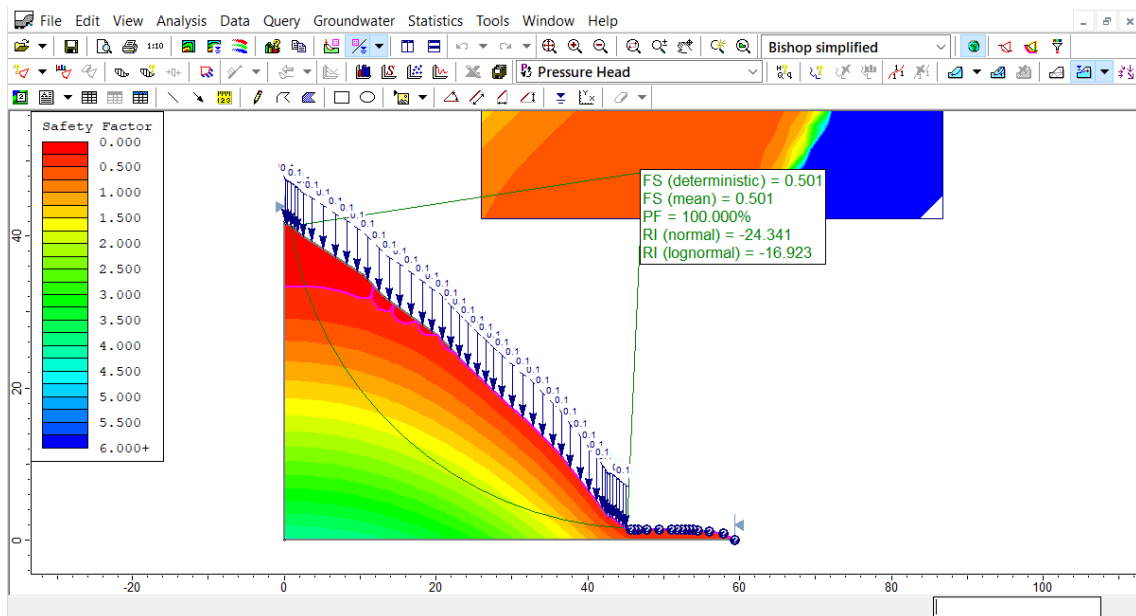
**Figura 232.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



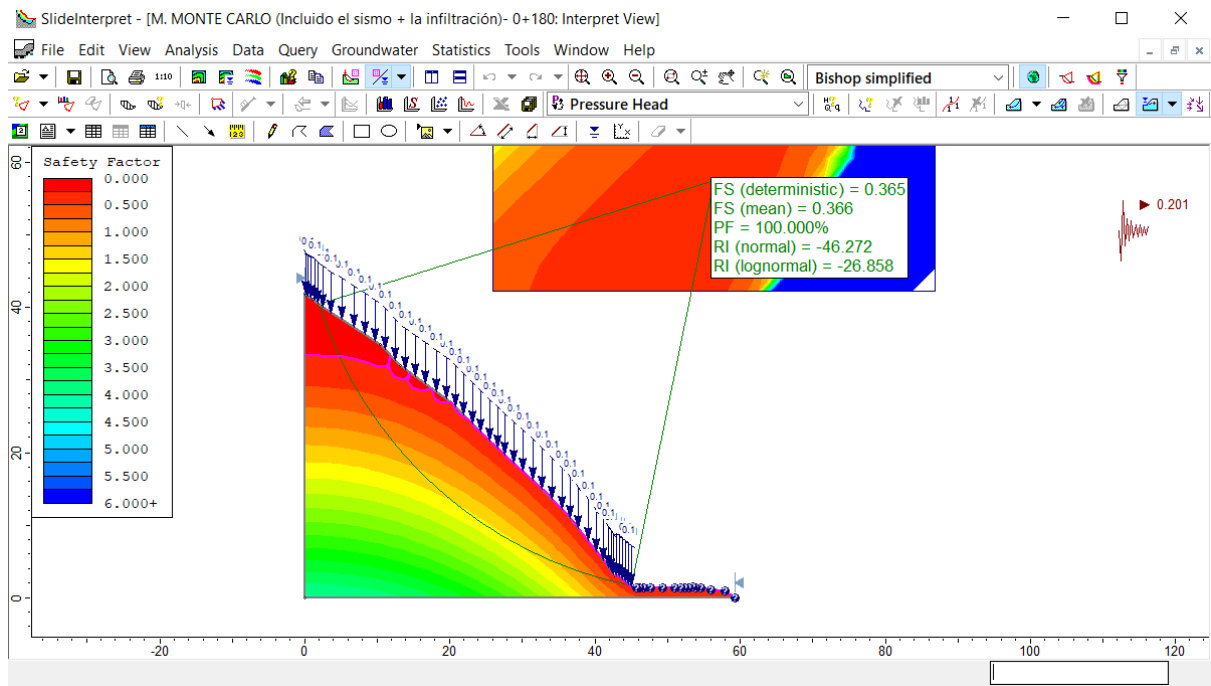
**Figura 233.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



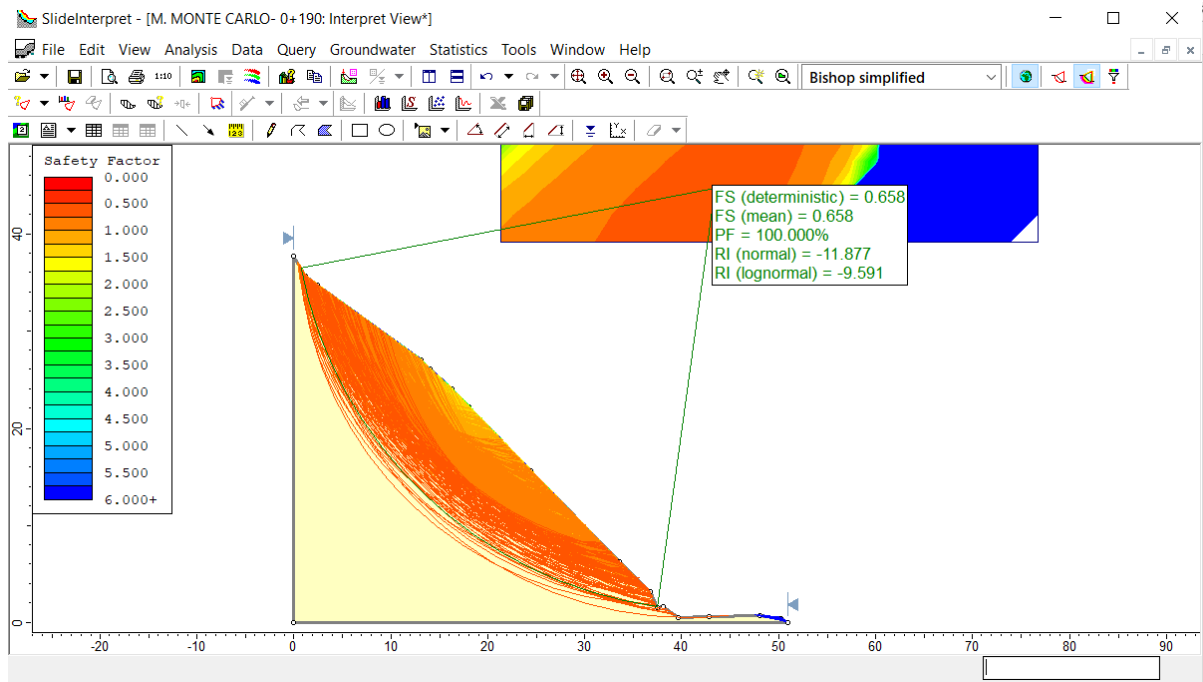
**Figura 234.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+180 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



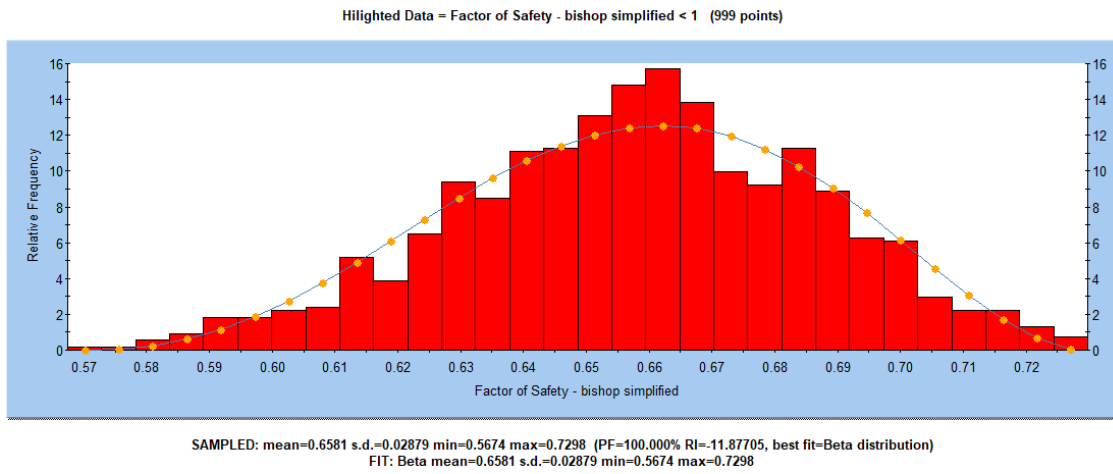
**Figura 235.**

*Factor de seguridad estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por la metodología probabilística*



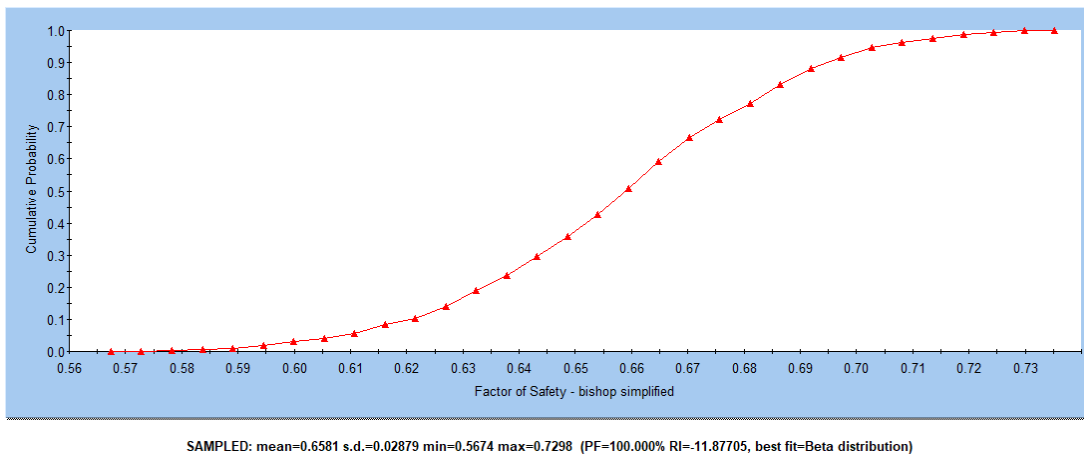
**Figura 236.**

*Histograma del FS estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



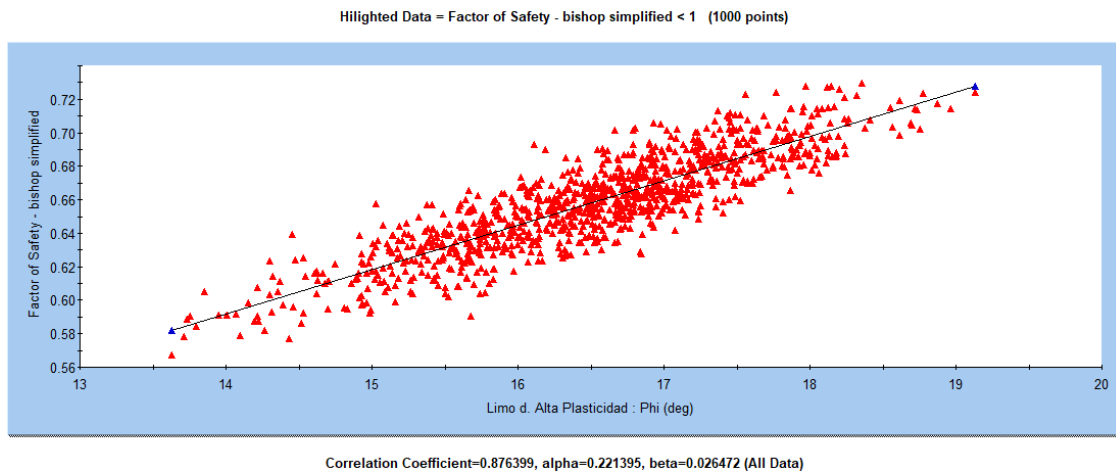
**Figura 237.**

*Curva acumulada del factor de seguridad estático de la sección 0+190 del talud Peña de los Loros*



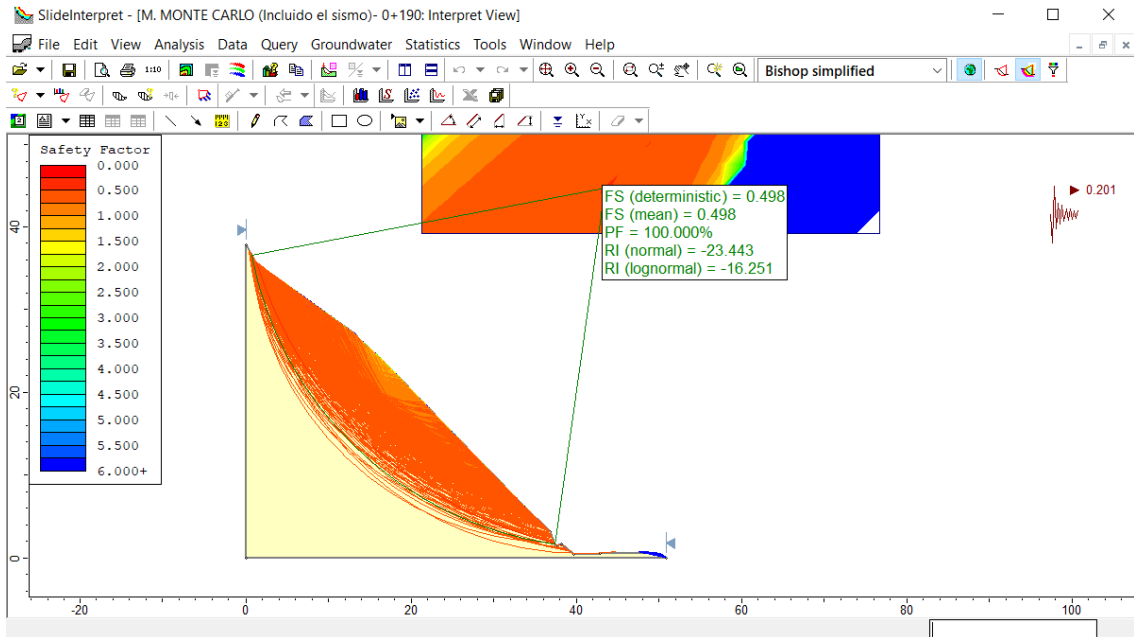
**Figura 238.**

*Relación entre el ángulo de fricción y FS del suelo de la calicata 2, sección 0+190 del talud Peña de los Loros*



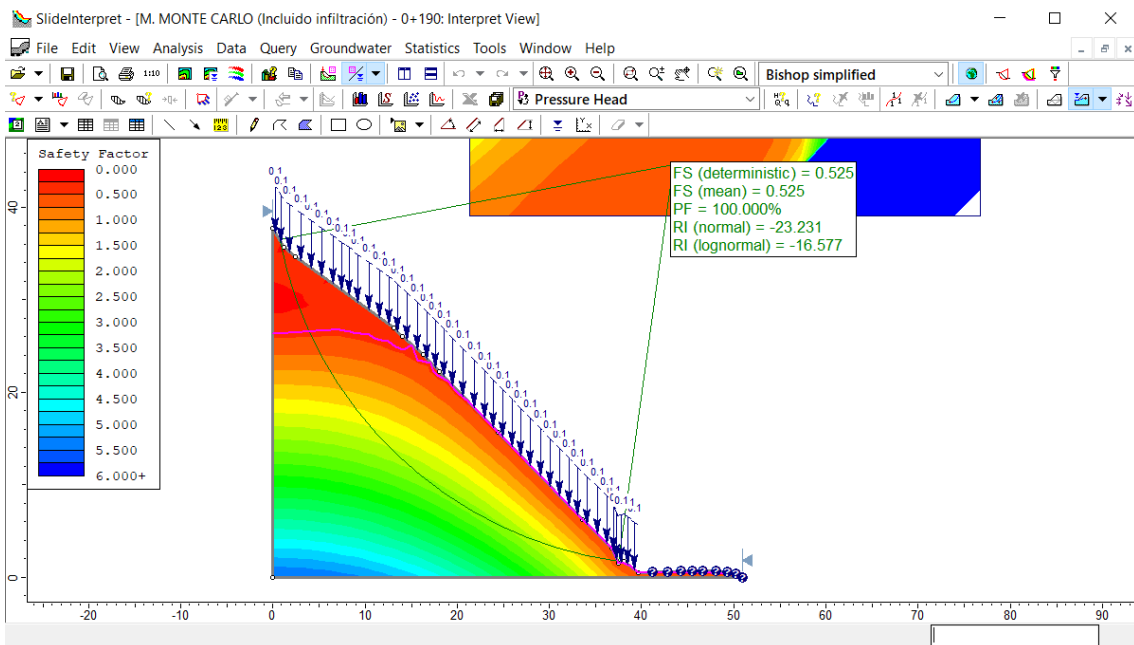
**Figura 239.**

*Factor de seguridad dinámico, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



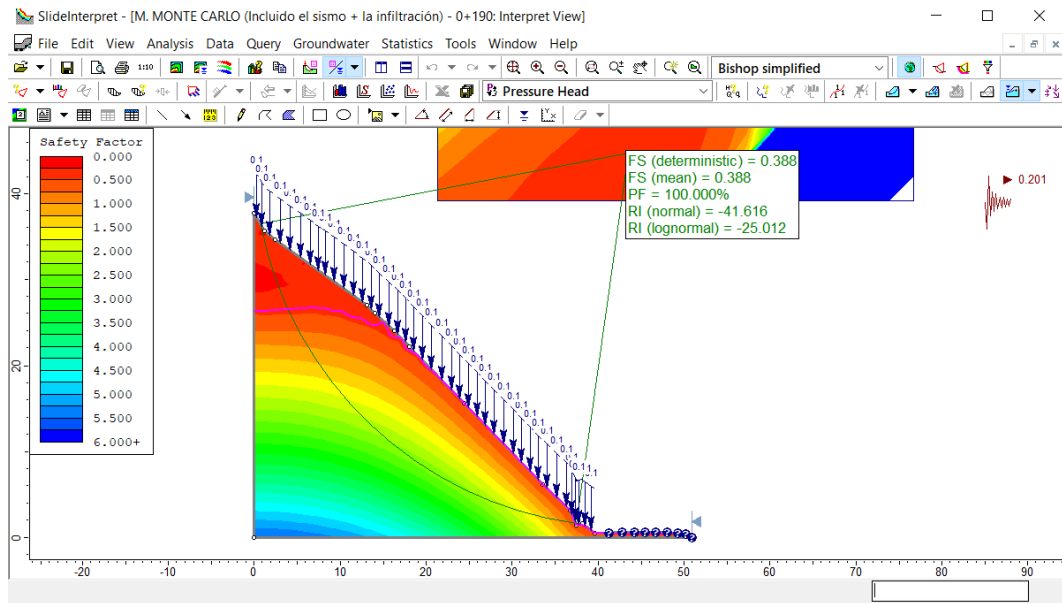
**Figura 240.**

*Factor de seguridad estático con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



**Figura 241.**

*Factor de seguridad dinámico con infiltración por precipitaciones, sección 0+190 del talud Peña de los Loros, por el método probabilístico*



#### **5.1.4. Análisis de estabilidad según los métodos Taylor y Monte Carlo**

El análisis del talud se puede realizar por el método determinístico de Taylor o por el método probabilístico de Monte Carlo, el primero permite determinar el factor de seguridad a partir de parámetros mecánicos del suelo (cohesión, ángulo de fricción y peso específico) definidos es decir valores numéricos únicos, en cambio el método probabilístico permite determinar el F.S. tomando a los parámetros mecánicos del suelo como variables aleatorias que trabajan en un rango de  $\pm 1$ . Para el caso del análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros, dividido en 18 secciones, se ha demostrado que los F.S. tanto por el método de Taylor como para el método de Monte Carlo son similares en condiciones estáticas, pseudo estáticas y al incorporar condiciones de infiltración por precipitación, presentando variaciones en el milésimo decimal. Tal como se muestra:



**Tabla 20.***Factor de seguridad estático por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud**Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad estático		Promedio
	Metodología de Taylor	Metodología de Monte Carlo	
0+020	0.578	0.578	0.5780
0+030	0.598	0.599	0.5985
0+040	0.555	0.556	0.5555
0+050	0.543	0.556	0.5495
0+060	0.517	0.517	0.5170
0+070	0.565	0.565	0.5650
0+080	0.511	0.512	0.5115
0+090	0.448	0.449	0.4485
0+100	0.454	0.454	0.4540
0+110	0.559	0.561	0.5600
0+120	0.555	0.556	0.5555
0+130	0.555	0.555	0.5550
0+140	0.566	0.567	0.5665
0+150	0.583	0.583	0.5830
0+160	0.546	0.546	0.5460
0+170	0.580	0.580	0.5800
0+180	0.636	0.636	0.6360
0+190	0.658	0.658	0.6580
Mínimo	0.448	0.449	0.4485
Máximo	0.658	0.658	0.6580
Promedio	0.556	0.557	0.5565
Desv. Estándar	0.052	0.052	0.0521
Coef. Variación (%)	9.401	9.343	9.368

**Tabla 21.***Factor de seguridad dinámico por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud**Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad dinámico		Promedio
	Metodología de Taylor	Metodología de Monte Carlo	
0+020	0.445	0.446	0.4455
0+030	0.459	0.459	0.4590
0+040	0.424	0.425	0.4245
0+050	0.413	0.413	0.4130
0+060	0.394	0.395	0.3945
0+070	0.434	0.434	0.4340
0+080	0.400	0.400	0.4000
0+090	0.358	0.358	0.3580
0+100	0.369	0.369	0.3690
0+110	0.436	0.437	0.4365
0+120	0.428	0.428	0.4280
0+130	0.424	0.424	0.4240
0+140	0.428	0.429	0.4285
0+150	0.445	0.446	0.4455
0+160	0.419	0.419	0.4190
0+170	0.440	0.441	0.4405
0+180	0.477	0.477	0.4770
0+190	0.498	0.498	0.4980
Mínimo	0.358	0.358	0.3580
Máximo	0.498	0.498	0.4980
Promedio	0.427	0.428	0.4275
Desv. Estándar	0.034	0.034	0.0340
Coef. Variación (%)	7.974	7.976	7.975

**Tabla 22.**

*Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones estáticas por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones estáticas		
	Metodología de	Metodología de Monte	Promedio
	Taylor	Carlo	
0+020	0.497	0.497	0.4970
0+030	0.499	0.499	0.499
0+040	0.470	0.471	0.4705
0+050	0.448	0.449	0.4485
0+060	0.418	0.418	0.4180
0+070	0.462	0.462	0.4620
0+080	0.429	0.430	0.4295
0+090	0.412	0.412	0.4120
0+100	0.427	0.427	0.427
0+110	0.452	0.452	0.4520
0+120	0.453	0.453	0.4530
0+130	0.440	0.440	0.440
0+140	0.462	0.462	0.4620
0+150	0.458	0.468	0.463
0+160	0.454	0.455	0.4545
0+170	0.466	0.465	0.4655
0+180	0.501	0.501	0.501
0+190	0.525	0.525	0.525
Mínimo	0.412	0.412	0.4120
Máximo	0.525	0.525	0.5250
Promedio	0.460	0.460	0.4600
Desv. Estándar	0.030	0.030	0.030
Coef. Variación (%)	6.623	6.608	6.610

**Tabla 23.**

*Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones dinámicas por la metodología de Taylor y Monte Carlo para las 18 secciones del talud Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad por infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones dinámicas		
	Metodología de	Metodología de Monte	Promedio
	Taylor	Carlo	
0+020	0.377	0.378	0.3775
0+030	0.373	0.374	0.3735
0+040	0.354	0.355	0.3545
0+050	0.334	0.335	0.3345
0+060	0.312	0.313	0.3125
0+070	0.350	0.350	0.3500
0+080	0.329	0.329	0.3290
0+090	0.327	0.327	0.3270
0+100	0.337	0.337	0.3370
0+110	0.342	0.342	0.3420
0+120	0.342	0.342	0.3420
0+130	0.329	0.329	0.3290
0+140	0.340	0.341	0.3405
0+150	0.347	0.347	0.3470
0+160	0.345	0.345	0.3450
0+170	0.342	0.342	0.3420
0+180	0.365	0.366	0.3655
0+190	0.388	0.388	0.388
Mínimo	0.312	0.313	0.3125
Máximo	0.388	0.388	0.3880
Promedio	0.346	0.347	0.3465
Desv. Estándar	0.019	0.019	0.019
Coef. Variación (%)	5.559	5.582	5.570

### 5.1.5. Grieta de tensión del talud

Las grietas de tensión, acrecientan la propensión de un suelo a fallar; la longitud de la superficie de fallo, a lo largo de la cual se genera resistencia, se reduce y, además, la grieta puede colmarse de agua frente a precipitaciones pluviales (Estabilidad de taludes, 2013).

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma} \tan^2 \left( 45 + \frac{1}{2} \times \phi \right) \quad (23)$$

En la ecuación 23, se determina la profundidad de la grieta de tensión ( $Z_c$ ), donde,  $C$  es la cohesión,  $\gamma$  es el peso específico del suelo,  $\phi$  es el ángulo de fricción.

A partir de los ensayos de laboratorio se han determinado las propiedades de los materiales:

Cohesión ( $C$ )= 0.26 kg/cm<sup>2</sup>= 25.50 KN/m<sup>2</sup>

Angulo de fricción ( $\phi$ ) = 18°

Peso específico ( $\gamma$ )= 2.55 g/cm<sup>3</sup>= 25.0 KN/m<sup>3</sup>

Estos valores se remplazan en la ecuación para determinar la profundidad de la grieta de tensión, misma que es igual a 3.86 m, tal como se muestra:

$$Z_c = \frac{2 \times 25.50}{25.0} \tan^2 \left( 45 + \frac{1}{2} \times 18 \right) = 3.86 \text{ m}$$

La profundidad de grieta de tensión, es el límite de fisura por tensión en un talud, y representa la profundidad a la que llegaría el deslizamiento de la ladera, siendo un parámetro de importancia para el diseño de métodos de estabilización. En el caso del presente estudio, la profundidad de la grieta de tensión determinada en base a las características físico-mecánicas del suelo es 3.86 m.

## 5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Al realizar el análisis de mecánica de suelos del talud Peña de los Loros en el tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, se determinó que el suelo de la calicata 1 era clasificada según SUCS como arena limosa, en cambio la calicata 2 y 3 son suelos limosos de alta plasticidad con poco contenido de arena. Bernal, Ropero y Valencia (2020) analizaron el riesgo de deslizamiento en una ladera de Calambeo, cuyo suelo estaba conformado por arena, llegando a mencionar que estos suelos son generalmente inestables, así mismo Bravo y Lumbi (2020) analizaron el talud de Agua Blanca, cuyo suelo estaba formado por arena limosa, mencionando que la misma era más inestable frente a la presencia de agua ya sea por nivel freático o por precipitaciones pluviales, en el presente estudio no se ha identificado la presencia de nivel freático, pero se ha considerado la influencia de las precipitaciones pluviales en el suelo, correlacionando el coeficiente de permeabilidad hidráulica según el tipo de suelo acorde a la FAO (2021).

**Tabla 24.**

*Propiedades físico-mecánicas del suelo del talud del tramo Peña de los Loros, carretera 3N*

<b>Propiedades físico-mecánicas del suelo</b>	<b>Calicata 1</b>	<b>Calicata 2</b>	<b>Calicata 3</b>
Contenido de humedad	9.44%	11.66%	17.75%
% Gravas	4.20	17.30	6.40
% Arena	69.10	17.20	15.50
% Finos	26.70	65.50	78.10
LL (%)	50.50	53.80	52.30
LP (%)	31.62	32.43	30.34
IP (%)	18.88	21.38	21.97
SUCS	SM	MH	MH
AASHTO	A-2-7 (1)	A-7-5 (13)	A-7-5 (15)
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.555	2.57	2.54
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	0.26	0.24	0.24
Ángulo de fricción	18.00	16.50	16.50

Al efectuar el análisis de la Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, por la metodología determinística de Taylor se ha determinado que el promedio del F.S. estático y con infiltración es 0.556 y 0.460, respectivamente, valores menores al rango mínimo de 1.50 para estabilidad de taludes dado en la norma CE.020 (MVCS, 2018), por lo que se asevera que el talud Peña de los Loros es inestable en condiciones estáticas por su propia gravedad y las precipitaciones pluviales constantes son un factor detonante, así mismo estos valores son menores a los estimados por Hernández, Mendoza y Sanz (2021) para un talud en Ibagué-Tolina, por Bernal, Ropero y Valencia (2020) para un talud en Calambeo, pero similar al factor de seguridad de 0.65 estimado por Bravo y Lumbi (2020) para un talud en la carretera Guanujo-Echeandía, y al factor de seguridad de 0.757 estimado por Tafur (2019) para el talud 318+00 a 318+300 de la carretera Cajamarca – Chachapoyas. El factor dinámico o pseudo estático y con infiltración del talud Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, asciende a 0.427 y 0.346 respectivamente, valores menores al rango mínimo de 1.25 para estabilidad de taludes (MVCS, 2018), por lo que el talud Peña de los Loros es inestable frente a un evento sísmico, resultado similar al estimado por Gómez (2017) de 0.50 al analizar el talud denominado Madrigal de Arequipa, pero relativamente menores a los calculados por Muñoz (2017) de 0.797 para la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca de Tacna, por Rojas (2018) de 0.736 para el talud de la carretera Lajas – El Tayal, sin embargo los factores de seguridad dinámicos convencionales y frente a precipitación pluviales estimados, son mayores que los encontrados por Falconi (2017) de 0.20 al analizar los taludes de la carretera Bambamarca – Paccha, por Ayala (2017) de 0.287 para el talud de la carretera Yauyucan – Cruce Conejo Tranca de Santa Cruz, y por Arteaga (2017)

de 0.127 para el talud de la carretera Choropampa – Magdalena, todos estos situados dentro de la jurisdicción de la región Cajamarca, por lo que se puede inducir que los suelos de la región generalmente presentan bajas características resistentes y fuertes precipitaciones pluviométricas, lo que condiciona su inestabilidad.

**Tabla 25.**

*Factores de seguridad al aplicar la metodología determinista de Taylor en el análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad por la metodología determinística de Taylor			
	Estático	Infiltración	Pseudo estático o dinámico	Infiltración + sismo
0+020	0.578	0.497	0.445	0.377
0+030	0.598	0.499	0.459	0.373
0+040	0.555	0.470	0.424	0.354
0+050	0.543	0.448	0.413	0.334
0+060	0.517	0.418	0.394	0.312
0+070	0.565	0.462	0.434	0.350
0+080	0.511	0.429	0.400	0.329
0+090	0.448	0.412	0.358	0.327
0+100	0.454	0.427	0.369	0.337
0+110	0.559	0.452	0.436	0.342
0+120	0.555	0.453	0.428	0.342
0+130	0.555	0.440	0.424	0.329
0+140	0.566	0.462	0.428	0.340
0+150	0.583	0.458	0.445	0.347
0+160	0.546	0.454	0.419	0.345
0+170	0.580	0.466	0.440	0.342
0+180	0.636	0.501	0.477	0.365
0+190	0.658	0.525	0.498	0.388
Mínimo	0.448	0.412	0.358	0.312
Máximo	0.658	0.525	0.498	0.388
Promedio	0.556	0.460	0.427	0.346



Al efectuar el análisis de la Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, por la metodología probabilística de Monte Carlo se ha determinado que el promedio del F.S. estático y con infiltración es 0.557 y 0.460, respectivamente, valores menores al rango mínimo de 1.50 para estabilidad de taludes (MVCS, 2018), y el factor de seguridad dinámico y con infiltración es 0.428 y 0.347, respectivamente, valores menores al rango mínimo de 1.25 para estabilidad de taludes frente a condiciones sísmicas según la norma CE.020 (MVCS, 2018). Los F.S. estático y pseudo estático son menores al mínimo exigido por la normatividad por lo que se puede aseverar que el talud de la Peña de Los Loros es inestable en condiciones estáticas por su gravedad siendo el factor detonante o que genera el movimiento de masa, las precipitaciones pluviales, así mismo, en condiciones dinámicas el talud también es inestable frente a un evento sísmico, aún más si este se acrecienta con un evento pluvial simultaneo. Según los resultados también se evidencia que mientras el evento desencadenante se incrementa es decir mientras pase de condiciones estáticas, a condiciones estáticas con precipitaciones pluviales, a condiciones dinámicas o a condiciones dinámicas con precipitaciones pluviales, el F.S. disminuye, no obstante, la posibilidad de ocurrencia de un escenario similar es menor conforme el evento desencadenante crece y el factor de seguridad decrece. Otro punto importante a recalcar es que la metodológica probabilística de Monte Carlo permite definir la probabilidad de falla, siendo en todos los casos 100%, lo que quiere decir que de las 1000 iteraciones realizadas por el software Slide, para el análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros, en todos los casos llega a colapsar, así mismo esta metodología muestra los histogramas, gráficos de dispersión y curva acumulada del factor de seguridad, permitiendo visualizar de forma más acertada los resultados, por lo que

Marín et al. (2018) y Wang, Liu y Ding (2020), lo describen como una herramienta útil para la planificación urbana, debido a que sus resultado permiten plantear un mapa de colores según la susceptibilidad del deslizamiento, además al comparar los factores de seguridad determinados con los estimados en otras investigaciones nacionales y regionales se ha verificado la similitud de los resultados, por lo que se puede decir que muchos de los taludes son inestables.

**Tabla 26.**

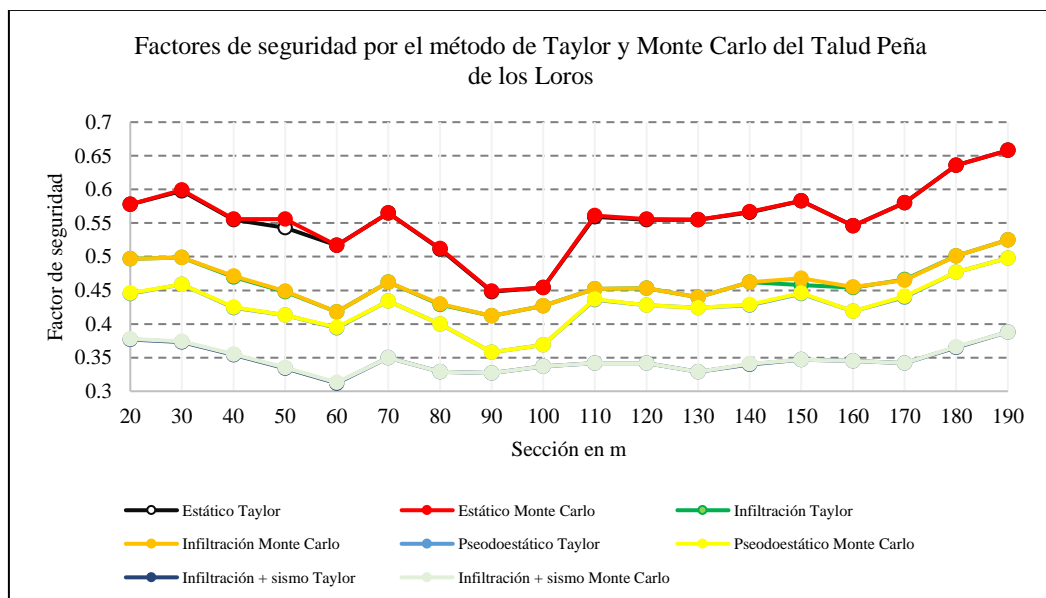
*Factores de seguridad al aplicar la metodología probabilística de Monte Carlo en el análisis de estabilidad del talud Peña de los Loros*

Secciones	Factor de seguridad por la metodología probabilística de Monte Carlo			
	Estático	Infiltración	Pseudo estático o dinámico	Infiltración + sismo
0+020	0.578	0.497	0.446	0.378
0+030	0.599	0.499	0.459	0.374
0+040	0.556	0.471	0.425	0.355
0+050	0.556	0.449	0.413	0.335
0+060	0.517	0.418	0.395	0.313
0+070	0.565	0.462	0.434	0.350
0+080	0.512	0.430	0.400	0.329
0+090	0.449	0.412	0.358	0.327
0+100	0.454	0.427	0.369	0.337
0+110	0.561	0.452	0.437	0.342
0+120	0.556	0.453	0.428	0.342
0+130	0.555	0.440	0.424	0.329
0+140	0.567	0.462	0.429	0.341
0+150	0.583	0.468	0.446	0.347
0+160	0.546	0.455	0.419	0.345
0+170	0.580	0.465	0.441	0.342
0+180	0.636	0.501	0.477	0.366
0+190	0.658	0.525	0.498	0.388
Mínimo	0.449	0.412	0.358	0.313
Máximo	0.658	0.525	0.498	0.388
Promedio	0.557	0.460	0.428	0.347

Si comparamos los factores de seguridad estimados al realizar el análisis de estabilidad del Talud Peña de los Loros, con la metodología determinística de Taylor y probabilística de Monte Carlo, encontraremos similitud en los resultados, con variaciones en la milésima del decimal, rango similar al calculado por Torres (2020) quien al analizar el talud de la trocha Ayash-Huaripampa tramo km 3+260 al km 3+300 por la metodología Taylor y Monte Carlo obtuvo como factor de seguridad estático 1.02717 y 1.02700 respectivamente, teniendo una variación mínima, por lo que aseveró que ambos métodos son buenas herramientas, pero que Monte Carlo brinda el porcentaje de falla del talud, sin necesidad de realizar algún cálculo adicional, por lo que dio mayor validez a esta metodología para condiciones estáticas y pseudo estáticas. Siendo así, si se observa la Fig. 242 y la Tabla 27, se puede validar la similitud de los F.S. estimados por ambos métodos, por lo que se concluye que ambos son útiles para el análisis de la estabilidad de taludes, pero que Monte Carlo tiene mayor precisión cuando se tiene mayor cantidad de datos de los parámetros de mecánica de suelos.

**Figura 242.**

*Factores de seguridad por el método de Taylor y Monte Carlo del Talud Peña de los Loros*



**Tabla 27.** Factores de seguridad por el método Taylor y Monte Carlo del talud Peña de los Loros

Secciones del talud	F.S. estático		F.S. dinámico		F.S. por infiltración en condiciones estáticas		F.S. por infiltración en condiciones dinámicas	
	Taylor	Monte Carlo	Taylor	Monte Carlo	Taylor	Monte Carlo	Taylor	Monte Carlo
0+020	0.578	0.578	0.445	0.446	0.497	0.497	0.377	0.378
0+030	0.598	0.599	0.459	0.459	0.499	0.499	0.373	0.374
0+040	0.555	0.556	0.424	0.425	0.47	0.471	0.354	0.355
0+050	0.543	0.556	0.413	0.413	0.448	0.449	0.334	0.335
0+060	0.517	0.517	0.394	0.395	0.418	0.418	0.312	0.313
0+070	0.565	0.565	0.434	0.434	0.462	0.462	0.35	0.35
0+080	0.511	0.512	0.4	0.4	0.429	0.43	0.329	0.329
0+090	0.448	0.449	0.358	0.358	0.412	0.412	0.327	0.327
0+100	0.454	0.454	0.369	0.369	0.427	0.427	0.337	0.337
0+110	0.559	0.561	0.436	0.437	0.452	0.452	0.342	0.342
0+120	0.555	0.556	0.428	0.428	0.453	0.453	0.342	0.342
0+130	0.555	0.555	0.424	0.424	0.44	0.44	0.329	0.329
0+140	0.566	0.567	0.428	0.429	0.462	0.462	0.34	0.341
0+150	0.583	0.583	0.445	0.446	0.458	0.468	0.347	0.347
0+160	0.546	0.546	0.419	0.419	0.454	0.455	0.345	0.345
0+170	0.58	0.58	0.44	0.441	0.466	0.465	0.342	0.342
0+180	0.636	0.636	0.477	0.477	0.501	0.501	0.365	0.366
0+190	0.658	0.658	0.498	0.498	0.525	0.525	0.388	0.388
Mínimo	0.448	0.449	0.358	0.358	0.412	0.412	0.312	0.313
Máximo	0.658	0.658	0.498	0.498	0.525	0.525	0.388	0.388
Promedio	0.5559	0.5571	0.4273	0.4277	0.4596	0.4603	0.3463	0.3467
Desv. Estándar	0.0523	0.0521	0.0341	0.0341	0.0304	0.0304	0.0193	0.0194
Coef. Variación (%)	9.401%	9.343%	7.974%	7.976%	6.623%	6.608%	5.559%	5.582%

**Tabla 28.**

*Promedio de los factores de seguridad estático, dinámico y por infiltración estimados por la metodología Taylor y Monte Carlo para el talud Peña de los Loros*

Secciones del talud	Factor de seguridad promedio de las metodologías de Taylor y Monte Carlo			
	Estático	Dinámico	Infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones estáticas	Infiltración frente a precipitaciones pluviales en condiciones dinámicas
0+020	0.5780	0.4455	0.4970	0.3775
0+030	0.5985	0.4590	0.4990	0.3735
0+040	0.5555	0.4245	0.4705	0.3545
0+050	0.5495	0.4130	0.4485	0.3345
0+060	0.5170	0.3945	0.4180	0.3125
0+070	0.5650	0.4340	0.4620	0.3500
0+080	0.5115	0.4000	0.4295	0.3290
0+090	0.4485	0.3580	0.4120	0.3270
0+100	0.4540	0.3690	0.4270	0.3370
0+110	0.5600	0.4365	0.4520	0.3420
0+120	0.5555	0.4280	0.4530	0.3420
0+130	0.5550	0.4240	0.4400	0.3290
0+140	0.5665	0.4285	0.4620	0.3405
0+150	0.5830	0.4455	0.4630	0.3470
0+160	0.5460	0.4190	0.4545	0.3450
0+170	0.5800	0.4405	0.4655	0.3420
0+180	0.6360	0.4770	0.5010	0.3655
0+190	0.6580	0.4980	0.5250	0.3880
Mínimo	0.4485	0.358	0.412	0.3125
Máximo	0.658	0.498	0.525	0.388
Promedio	0.5565	0.4275	0.4600	0.3465
Desv. Estándar	0.0521	0.0341	0.0304	0.0193
Coef. Variación (%)	9.368%	7.975%	6.610%	5.570%

En la Tabla 28, se exponen los F.S. promedio para la Peña de los Loros de las metodologías de Taylor y Monte Carlo, donde se observa que el FS estático es menor a 1.50 y el FS dinámico es menor a 1.25, por lo que se ultima que el talud es inestable.

### 5.3. Contrastación de hipótesis

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) se ha efectuado en el software Minitab 19, para aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) o rechazarla para aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), por lo que se ha utilizado el modelo lineal general, debido a que este es el modelo estadístico que más se ajusta a los datos, teniendo en cuenta que si el valor-p, es menor, que, el nivel de significancia (0.05), se rechaza  $H_0$ , caso contrario, se acepta  $H_0$ . Las hipótesis del análisis son:

- $H_0$ : No hay diferencia significativa entre el factor de seguridad estático y dinámico determinado al evaluar el riesgo a deslizamiento de taludes por el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros Carretera 3N, Chota.
- $H_1$ : Hay diferencia significativa entre el factor de seguridad estático y dinámico determinado al evaluar el riesgo a deslizamiento de taludes por el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros Carretera 3N, Chota

En la Tabla 29, se muestran los datos que se utilizarán para el análisis estadístico ANOVA, donde las variables independientes de análisis serán las metodologías de análisis son Taylor y Monte Carlo (Codificadas como 1 y 2), y los escenarios de análisis son estático, dinámico, estático con infiltración por precipitaciones pluviales y dinámico con infiltración por precipitaciones pluviales (codificados como 1, 2, 3 y 4), mientras que la variable de respuesta se considerará al F.S.

**Tabla 29.**

*Datos de factores de seguridad para el análisis estadístico ANOVA*

Secciones del talud	Metodología de Taylor				Metodología de Monte Carlo			
	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico	Estático	Dinámico
			con infiltración	con infiltración			con infiltración	con infiltración
0+020	0.578	0.445	0.497	0.377	0.578	0.446	0.497	0.378
0+030	0.598	0.459	0.499	0.373	0.599	0.459	0.499	0.374
0+040	0.555	0.424	0.47	0.354	0.556	0.425	0.471	0.355
0+050	0.543	0.413	0.448	0.334	0.556	0.413	0.449	0.335
0+060	0.517	0.394	0.418	0.312	0.517	0.395	0.418	0.313
0+070	0.565	0.434	0.462	0.35	0.565	0.434	0.462	0.35
0+080	0.511	0.4	0.429	0.329	0.512	0.4	0.43	0.329
0+090	0.448	0.358	0.412	0.327	0.449	0.358	0.412	0.327
0+100	0.454	0.369	0.427	0.337	0.454	0.369	0.427	0.337
0+110	0.559	0.436	0.452	0.342	0.561	0.437	0.452	0.342
0+120	0.555	0.428	0.453	0.342	0.556	0.428	0.453	0.342
0+130	0.555	0.424	0.44	0.329	0.555	0.424	0.44	0.329
0+140	0.566	0.428	0.462	0.34	0.567	0.429	0.462	0.341
0+150	0.583	0.445	0.458	0.347	0.583	0.446	0.468	0.347
0+160	0.546	0.419	0.454	0.345	0.546	0.419	0.455	0.345
0+170	0.58	0.44	0.466	0.342	0.58	0.441	0.465	0.342
0+180	0.636	0.477	0.501	0.365	0.636	0.477	0.501	0.366
0+190	0.658	0.498	0.525	0.388	0.658	0.498	0.525	0.388

En la Tabla 30, se puede observar el análisis de varianza, donde el valor-p para metodología es 0.911, por tanto, se acepta la hipótesis nula (Ho) y se concluye que no hay diferencia significativa entre el factor de seguridad estático y dinámico determinado al evaluar el riesgo a deslizamiento de taludes por el método de Taylor y Monte Carlo en la Peña de Los Loros, no obstante, el valor-p para escenarios es 0.00 lo que quiere decir que los factores de seguridad si tienen diferencia significativa según escenarios, es decir los factores de seguridad estático, dinámico y por infiltración son diferentes entre sí, pero similares si comparamos a estos por la metodología de análisis. Por tanto, se deduce que sin

importar la metodología que se utilice, sea probabilística o determinista el factor de seguridad estático y dinámico del talud es similar, siendo así, el talud Peña de los Loros del tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N es inestable, con F.S. estáticos menores a 1.50 y factores de seguridad dinámicos menores a 1.25.

**Tabla 30.**

*Análisis de Varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodología	1	0.000016	0.000016	0.01	0.911
Escenario	3	0.815410	0.271803	214.48	0.000
Error	139	0.176154	0.001267		
Falta de ajuste	3	0.000004	0.000001	0.00	1.000
Error puro	136	0.176150	0.001295		
Total	143	0.991580			

En la Tabla 31, R-cuad es igual a 82.24%, lo que indica una alta confiabilidad.

**Tabla 31.**

*Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0355991	82.24%	81.72%	80.93%

En la Fig. 243, se presenta la gráfica de residuos y en la Fig. 244 el análisis de medias para el F.S., donde se muestra que, a medida que el escenario cambia (1, 2, 3, 4) el factor de seguridad disminuye, así mismo la diferencia entre los factores según metodologías, no es significativo.



Figura 243.

Gráficas de residuos para el F.S.

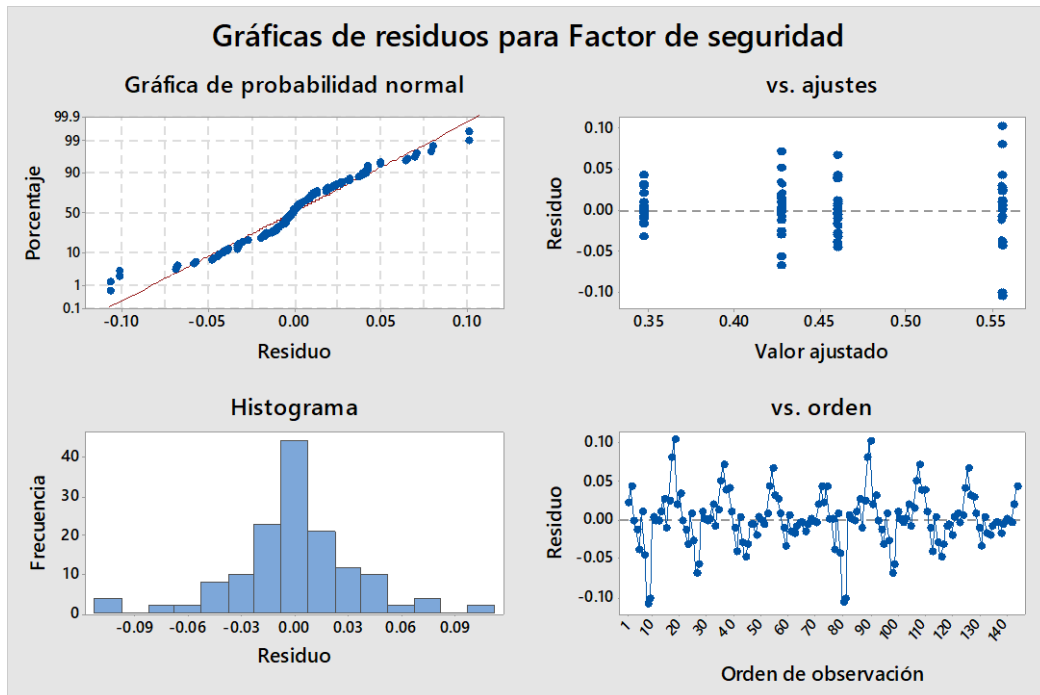
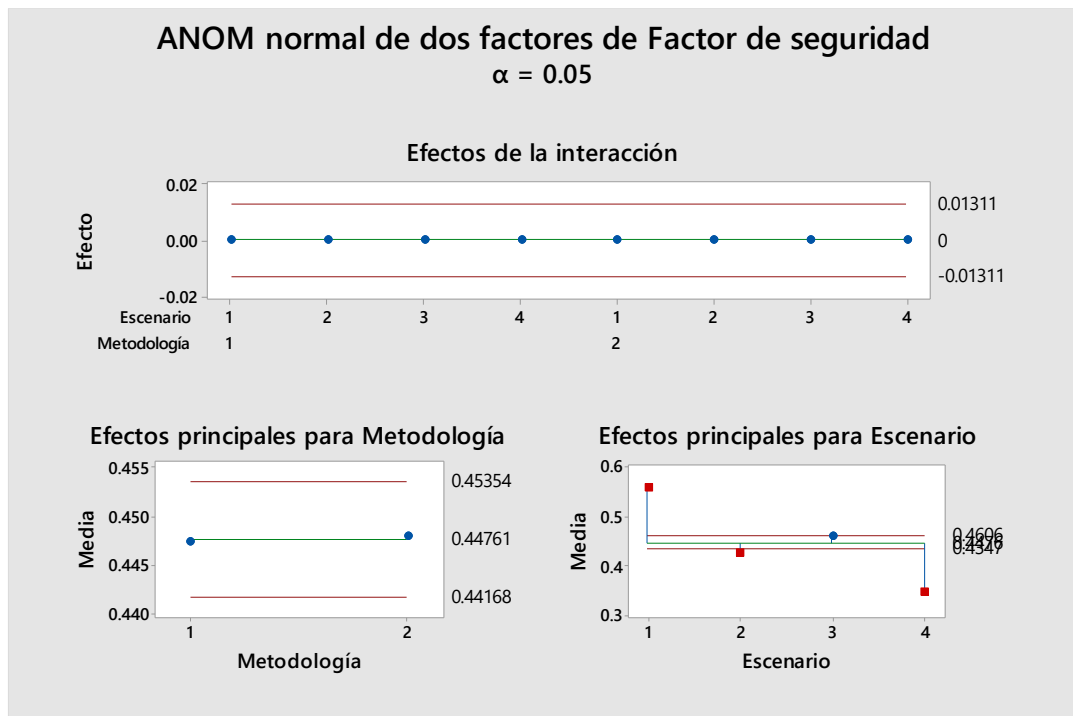


Figura 244.

Análisis de medias del F.S.



## CAPÍTULO VI.

### PROPUESTA

#### 6.1. Formulación de la propuesta para la solución del problema

Según el factor de seguridad estático crítico correspondiente a la sección 0+090 con un FS de 0.448 ( $FS < 1.50$ ), determinado por la metodología de Taylor y Monte Carlo para el talud Peña de los Loros del tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, es necesario plantear un método de estabilización. Bernal, Ropero y Valencia (2020), mencionan que es difícil lograr la estabilidad de suelos arenosos, sin embargo, Bravo y Lumbi (2020) lograron estabilizar el talud en la carretera Guanujo-Echeandía conformado por suelo areno limoso con un muro de gravedad, cambio de geometría del talud y subdrenes, lo que lleva a pensar que para conseguir la estabilidad del talud se deben proponer o integrar varios métodos de estabilidad no obstante en el caso de la presente investigación, no es posible la aplicación de ninguno de los métodos mencionados debido a que la elevación del talud es mayor a 60 metros, y el perfilado del mismo no es idóneo para un cambio de geometría, según las recomendaciones dadas por Tafur (2019). Buscando una solución óptima se ha propuesto como primera medida la estabilización química del suelo areno limoso con cemento al 8%, probada experimentalmente en el laboratorio GSE de la ciudad de Chota, con el fin de incrementar los parámetros mecánicos del suelo, logrando así un aumento de 67.78% del ángulo de fricción, no obstante, la cohesión ha disminuido debido a la pérdida de humedad al adicionar cemento, en un 31.92%, con un pequeño incremento en el peso de 2.00%. Los valores del suelo estabilizado se han utilizado para el modelamiento del talud crítico 0+090, y la propuesta de colocación de anclajes en el mismo.

**Tabla 32.**

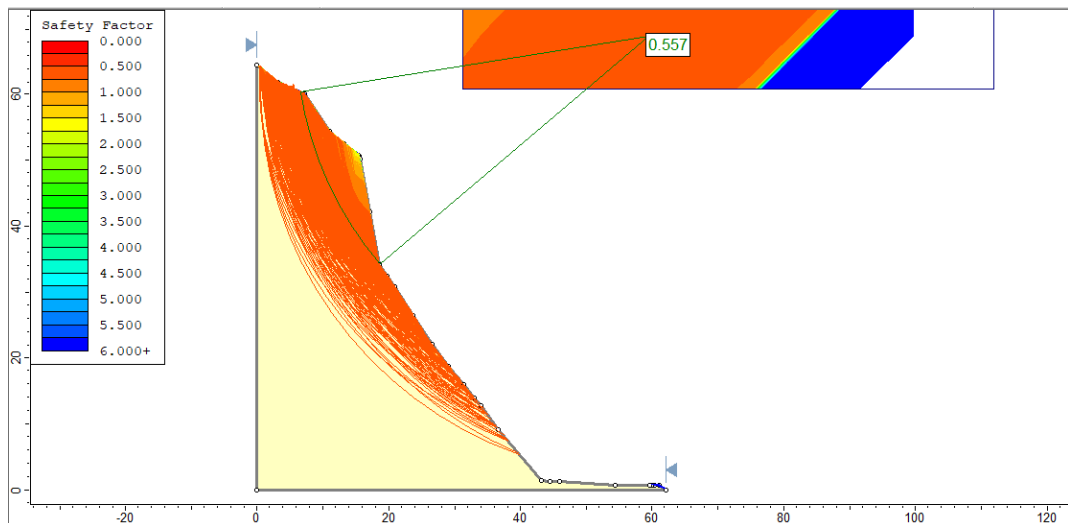
*Datos de estabilización química del suelo de la calicata 1*

Parámetros físico-mecánicos	Suelo natural	Suelo estabilizado	%
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.55	2.60	1.96%
Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	25.00	25.50	2.00%
Cohesión del suelo (kg/cm <sup>2</sup> )	0.26	0.177	31.92%
Cohesión del suelo (kN/m <sup>2</sup> )	25.50	17.40	31.76%
Ángulo de fricción (°)	18.00	30.20	67.78%

Al procesar el modelamiento del talud en el software Slide v.5.0 con los parámetros del suelo estabilizado con cemento al 8%, se alcanzó F.S. estático de 0.557, logrando así un incremento de 24.33% respecto al F.S. estático del suelo natural de 0.448. Luego se procedió a la colocación de anclajes en el modelo donde se mejoraron las propiedades del suelo.

**Figura 245.**

*Factor de seguridad estático del suelo estabilizado con cemento*

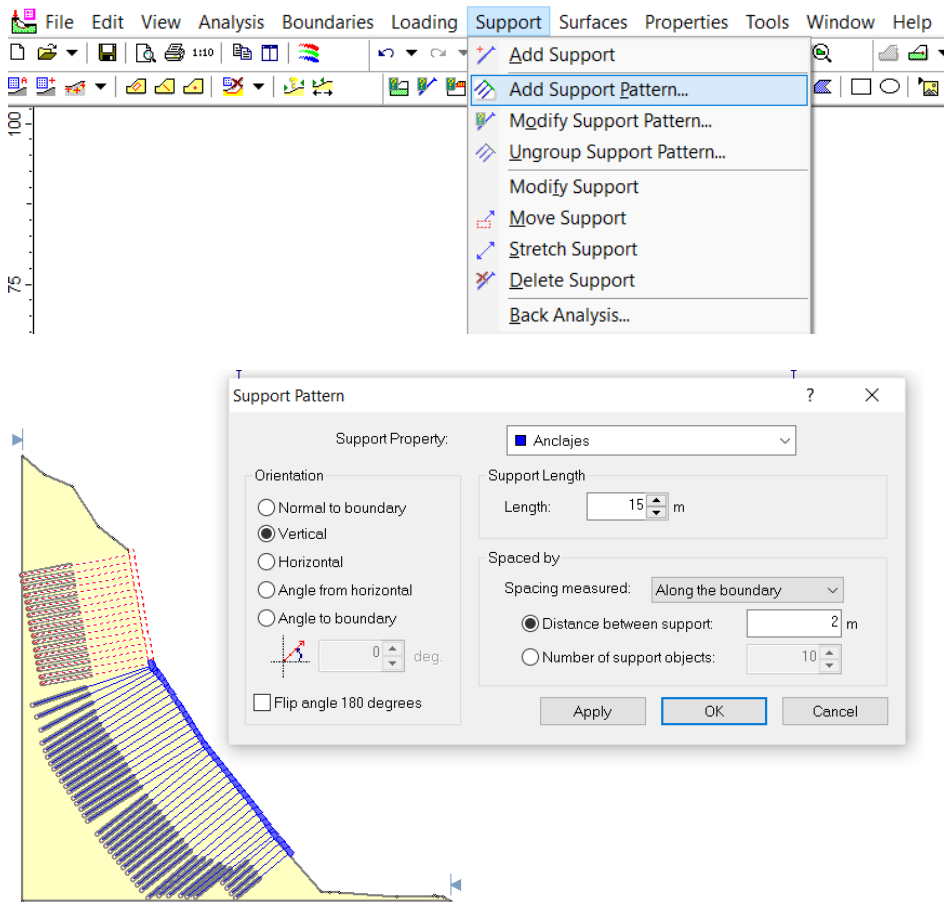


Para introducir el sostenimiento en “Define soporte” se definieron las propiedades del anclaje, tales como nombre, tipo de soporte (Grouted tieback), porcentaje de longitud del bulbo respecto a la longitud total (45%), tipo de fuerza (activo) y

fuerza de tensado (25 kN/m). Como no se contaba con una ficha técnica del anclaje, se utilizó los datos proporcionados por Ros (2006) en su investigación.

**Figura 246.**

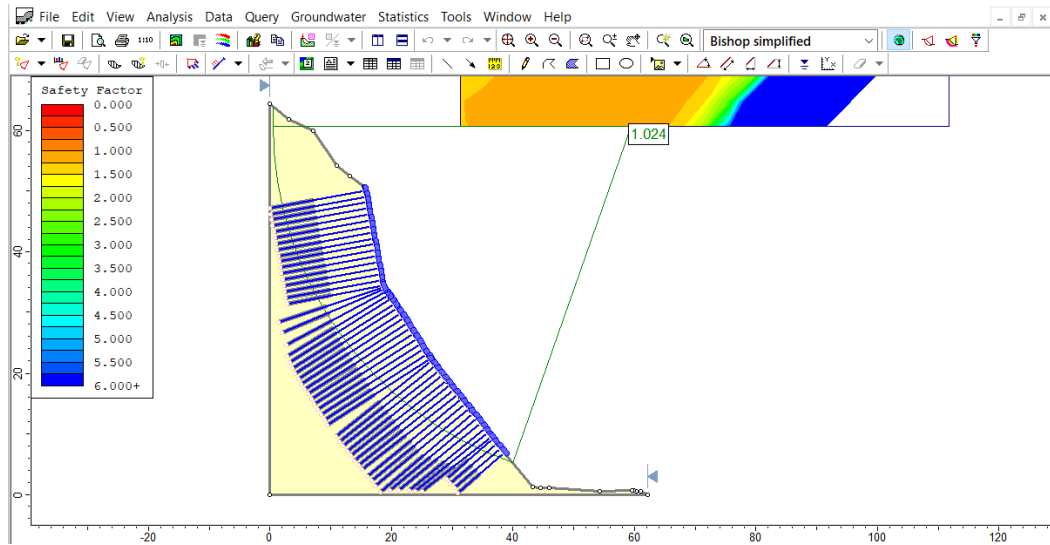
*Colocación de anclajes*



Luego de procesar el modelo del talud con suelo estabilizado químicamente con cemento al 8% y anclajes de 25 kN/m de fuerza de tensado, se obtuvo como factor de seguridad estático 1.024, lo que representa un incremento del 128.57% respecto al suelo natural cuyo factor de seguridad estático ascendía a 0.448. Siendo así, con la propuesta de reforzamiento se logra el mejoramiento de la estabilidad del talud Peña de los Loros, en el tramo Lajas – Cochabamba de la vía 3N.

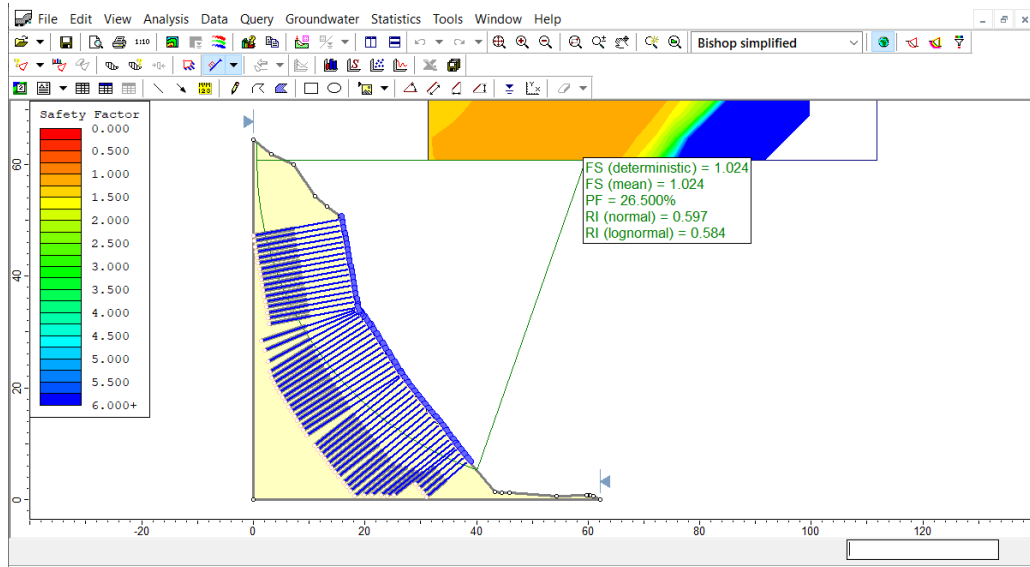
**Figura 247.**

*Factor de seguridad del modelo estabilizado con anclajes, método determinístico de Taylor*



**Figura 248.**

*Factor de seguridad del modelo estabilizado con anclajes, método probabilístico de Monte Carlo*

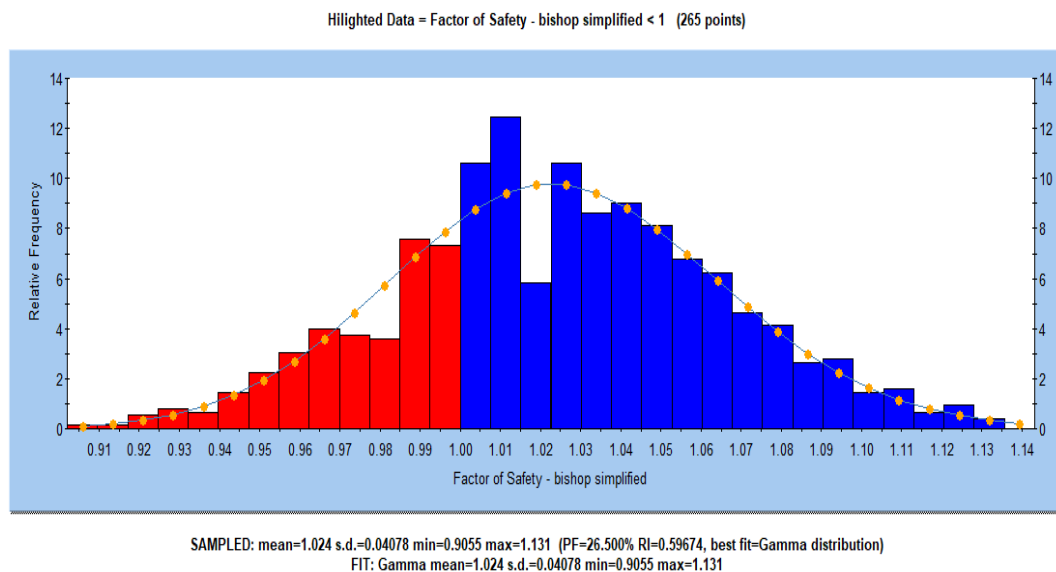


Al aplicar el método probabilístico de Monte Carlo para conocer el factor de seguridad estático del talud estabilizado se ha podido determinar también la probabilidad de falla, que antes era igual al 100%, y que ahora con la propuesta de estabilización tan solo representa el 28% de las 1000 iteraciones realizadas por

el software, lo que representa un gran avance considerando que está analizando la sección más crítica o con menor FS. Así mismo, en el histograma de factor de seguridad se puede observar barras de color rojo y azul, las barras de color rojo representan aquellos factores de seguridad menores a 1.00, también se observa el histograma de cohesión que muestra de forma más concisa la variación de los FS menores a 1 según los parámetros del suelo, así mismo en el gráfico de la curva acumulativa del factor de seguridad se puede ver su crecimiento desde el menor valor; por último en el gráfico de dispersión se observa la correspondencia entre el ángulo de fricción y el F.S., identificando así que existen puntos de color azul y de color rojo, los de color azul representa aquellos factores de seguridad estáticos mayores a la unidad, y los de color rojo son aquellos que son menores, por tanto se observa una gran mejora en la estabilidad del talud mejorado con cemento al 8% y estabilizado con anclajes, respecto al talud natural sin proceso de estabilización.

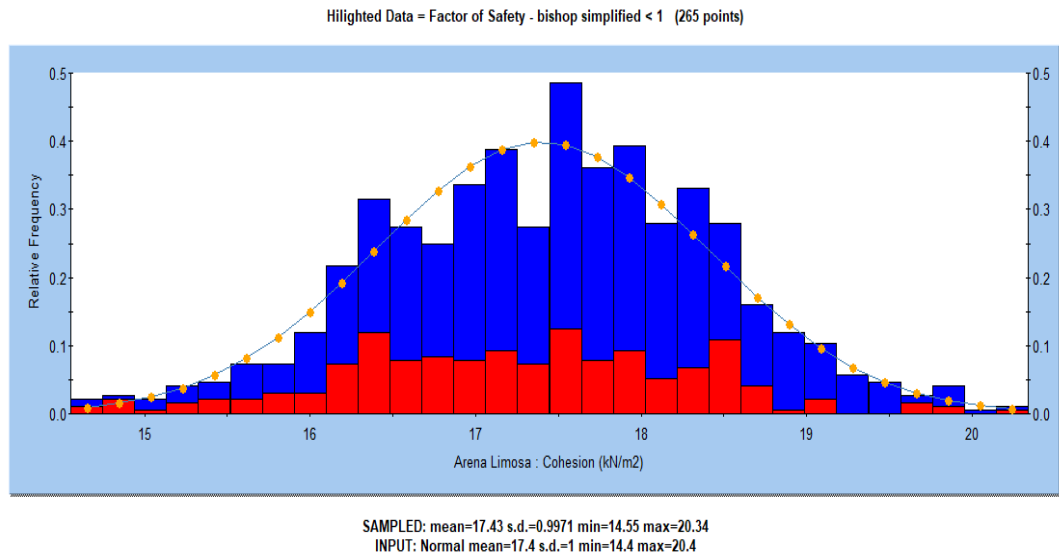
**Figura 249.**

*Histograma de factor de seguridad del talud estabilidad*



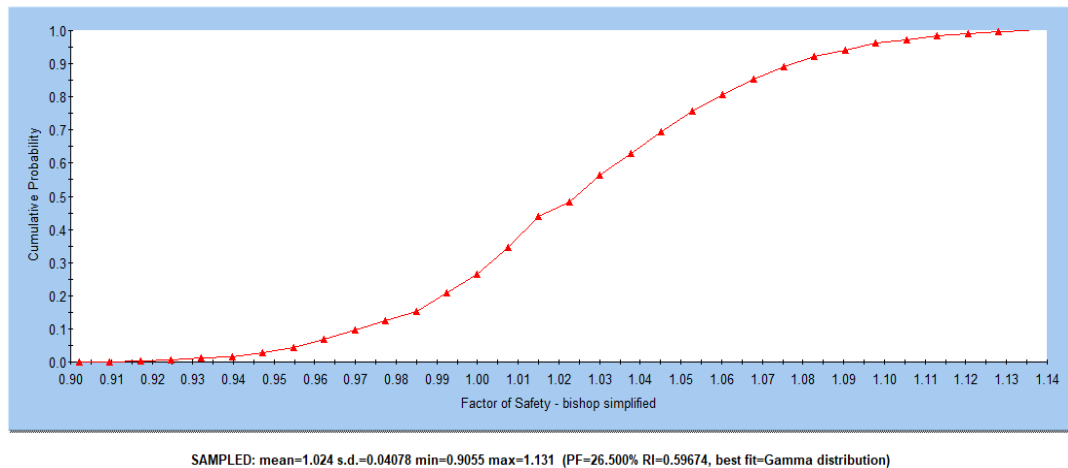
**Figura 250.**

*Histograma de cohesión del talud estabilizado*



**Figura 251.**

*Curva acumulativa del F.S. del talud estabilizado*



Si bien con la propuesta de estabilización del suelo con cemento al 8% + anclajes de fuerza de tensado de 25 kN/m, se logra una mejora significativa en el factor de seguridad del talud Peña de los Loros, no se consigue alcanzar el factor de seguridad normado de 1.50 en la norma CE.020 (MVCS, 2018), por lo que se recomienda realizar un estudio especializado tomando como base los resultados de la presente investigación para encontrar el método idóneo que logre estabilizar el suelo del talud Peña de los Loros.

## **6.2. Beneficios que aporta la propuesta**

- La estabilización química inicial del suelo ayuda a incrementar sus parámetros de resistencia evitando así deslizamientos durante la aplicación del método estructural de estabilización.
- Existen diversos métodos de estabilización química normados por el MTC (2014) y el MVCS (2018), por lo que se pueden corroborar todos estos a fin de escoger el método que logre mayores resistencias, en el caso del presente estudio se tomó como base las recomendaciones dadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones y el Manual de Suelos, geología y geotécnica sección suelos y pavimentos para la elección del cemento diluido con un porcentaje de adición de 8%.
- Los anclajes son un método práctico que cada vez cobra mayor importancia por permitir incrementar de forma rápida el factor de seguridad, por lo que representa un método idóneo que podría contribuir a eludir el riesgo de deslizamiento en la Peña de los Loros.
- Lograr estabilizar la Peña de los Loros representará un beneficio económico y social ya que debido a los constantes deslizamientos las entidades municipales gastan ingresos en la rehabilitación de la carretera 3N tramo Lajas – Cochabamba, así mismo el proyecto de la longitudinal de la sierra 3N se encuentra paralizado en estas zonas debido a que no se encuentra hasta el momento un método idóneo de estabilización, así que se espera estos datos sirvan para lograr encontrar dicho método.



## CONCLUSIONES

Al realizar la investigación, se ha determinado que el nivel de riesgo del talud es muy alto, con una probabilidad de falla del 100% frente a precipitaciones o sismo, siendo así se ha concluido, que:

- 1) En el talud Peña de los Loros, en el tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, se han analizado las muestras de suelo de tres calicatas (C1, C2 y C3). Según la granulometría y plasticidad el suelo de la calicata C1 se clasifica como arena limosa (SM), en cambio el suelo de las calicatas C2 y C3, se clasifican como limos de alta plasticidad (MH) con poca cantidad de arena. La cohesión y ángulo de fricción es mayor para la calicata C1 con 0.26 kg/cm<sup>2</sup> y 18° respectivamente, mientras que la calicata C2 y C3 presentan iguales características mecánicas con 0.24 kg/cm<sup>2</sup> de cohesión y 16.50° de ángulo de fricción, pero diferente peso específico siendo 2.57 g/cm<sup>3</sup> para la calicata C2 y 2.54 g/cm<sup>3</sup> para la calicata C3.
- 2) En el talud Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, por la metodología determinística de Taylor, se ha concluido que, el promedio del factor de seguridad estático y con infiltración es 0.556 y 0.460, respectivamente, valores menores a 1.50, por lo que se asevera que el talud es inestable en condiciones estáticas por su propia gravedad y las precipitaciones pluviales constantes son un factor detonante. El factor dinámico y con infiltración, asciende a 0.427 y 0.346 respectivamente, valores menores a 1.25, por lo que el talud también es inestable frente a un evento sísmico
- 3) En el talud Peña de los Loros, tramo Lajas – Cochabamba de la carretera 3N, por la metodología probabilística de Monte Carlo, se ha concluido que, el promedio del factor de seguridad estático y con infiltración es 0.557 y 0.460, y el factor de seguridad dinámico y con infiltración es 0.428 y 0.347, respectivamente, por tanto

los factores de seguridad estático y pseudo estático son menores al mínimo exigido por la normatividad (1.50 y 1.25, respectivamente) por lo que se puede aseverar que el talud es inestable en condiciones estáticas por su gravedad siendo el factor detonante o que genera el movimiento de masa, las precipitaciones pluviales, así mismo, en condiciones dinámicas el talud también es inestable frente a un evento sísmico, aún más si este se acrecienta con un evento pluvial simultaneo.

- 4) Si se compara los factores de seguridad estimados al realizar el análisis de estabilidad del Talud Peña de los Loros, con la metodología determinística de Taylor y probabilística de Monte Carlo, se encuentra similitud en los resultados, con variaciones en el milésimo decimal, por tanto, ambos métodos son buenas herramientas para la determinación de los F.S., pero Monte Carlo brinda además el porcentaje de falla del talud, sin necesidad de realizar algún cálculo adicional.

## RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

- 1) Se sugiere al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) utilizar los datos de la investigación, como base técnica y científica para encontrar una solución a la inestabilidad del talud Peña de los Loros, ya que es un área de constantes deslizamientos que a la fecha no ha recibido atención por parte de los entes gubernamentales.
- 2) Si bien con la propuesta de estabilización del suelo con cemento al 8% + anclajes de fuerza de tensado de 25 kN/m, se logra una mejora significativa en el F.S. del talud Peña de los Loros, no se consigue alcanzar el factor de seguridad normado de 1.50, por lo que se recomienda realizar un estudio especializado tomando como base los resultados de la presente investigación para encontrar el método idóneo que logre estabilizar el suelo del talud.
- 3) Se exhorta a los ingenieros civiles, consultores, docentes, investigadores y alumnos, utilizar el método probabilístico de Monte Carlo para el análisis de estabilidad de taludes, considerando que, si bien no es uno de los métodos de mayor aplicación en el país, en base a la bibliografía y los resultados encontrados en la presente investigación, este método logra mayor precisión, exactitud y nuevas formas de representar los resultados en gráficos estadísticos.
- 4) Se aconseja plantear nuevas y numerosas investigaciones en el campo de la estabilidad de taludes en carreteras o áreas urbanas de la provincia de Chota, a fin de lograr determinar las áreas de susceptibilidad frente a movimientos de masa y así la Municipalidad Provincial de Chota pueda plantear alternativas de estabilización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alave, D. E. (2018). *Propuesta de estabilización de taludes empleando el Método de dovelas en la Carretera Lampa–Caracara de la Región Puno*. [Tesis de grado para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1461>
- Alcántara, E.R. (2017). *Aplicación de los métodos de equilibrio límite, elementos finitos y diferencias finitas en el comportamiento de laderas y taludes sector Calispuquio-Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Alcántara, G.H. (2011). *Geomorfología, departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca.
- Alcántara, I., Echavarría, A., Gutiérrez, C. (2001). *Inestabilidad de laderas*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED.
- Arteaga, N.M. (2017) *Análisis geológico –geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa –Magdalena- Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Ayala, S. J. (2017) *Análisis de los taludes de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca (km 0+000 - km 6+635), y alternativas de solución Dto. Yauyucan - Prov. Santa Cruz - Dpto. Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1825>
- Ayensa, J. (2016). *Un modelo probabilístico para el cálculo estructural de sistemas mecánicos y la aplicación a la optimización de sistemas*. [Tesis de maestría en Diseño Avanzado en Ingeniería Mecánica, Universidad de Sevilla].
- Bernal, D. A., Roper, A., & Valencia, A. A. (2020). *Evaluación del riesgo por deslizamiento en la ladera ubicado en Calambeo municipio de Ibagué (98° 45'72" N 87° 33'49" E)*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia].
- Blanco, I. (2017). *Estudio numérico de la estabilidad de taludes en macizos rocosos*. (Bachelor's thesis, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, canals i ports, Universitat Politècnica de Catalunya). <http://hdl.handle.net/2117/115391>
- Braja, M. Das. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, 1ª ed. International Thomson Editores.
- Braja, M. Das. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, 4ª ed. MX. Cengage Learning.

- Bravo, D. L., & Lumbi, W. J. (2020). *Análisis de la estabilidad de Talud en la carretera Guanujo-Echeandía en el sector agua blanca* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil).
- Bonachea, J. (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debido a procesos geomorfológicos*. [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria].
- Caja, N.C. (2017). *Correlación litoestratigráfica de la formación Yumagual comprendida en los sectores de Ronquillo, Puyllucana y La Encañada, 2017*. [Tesis de grado para optar el título profesional de ingeniero geólogo, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Cajamarca Noticias. (2020, 8 de julio). *Carretera Chota - Chiclayo interrumpido en el sector peña de los Loros*. Cajamarca Noticias. <https://afly.co/xkc5>
- Castro, E. E. y Azogue, F. E. (2020). *Estudio de la vulnerabilidad ante riesgo por deslizamiento con el empleo de la herramienta sentinel 2 en el sector el Rodeo Rio Mancarron, recinto Marcopamba parroquia San Lorenzo*. [Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero en administración para desastres y gestión del riesgo, Universidad Estatal de Bolívar].
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, 02 versión*. CENEPRED.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5ª ed. Editorial Limusa.
- Crisólogo, M.E. (2009). *Estudio de geología*. ZEE Gobierno Regional de Cajamarca.
- Díaz, J; Chuquisengo, O; Ferradad; P. (2005). *Gestión de Riesgo en los gobiernos locales. Forma e Imagen*. 109 p (Serie manuales N° 30).
- Espinoza, I. I., y Rivera, R. (2018). *Análisis retrospectivo y prospectivo secuencial de deslizamiento de laderas en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica*. [Tesis de grado para optar por el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Huancavelica].
- Escalante, D. A., y Vargas, J. A. (2018). *Grado de vulnerabilidad socioeconómica ante riesgo de movimientos en masa, en la ciudadela Siete de Agosto de la parroquia Guayas, cantón El Empalme* (Bachelor's thesis, Universidad Estatal de Bolívar).
- Estabilidad de Taludes. (2013, 01 de abril). *Grieta de tensión. Análisis retrospectivo del deslizamiento del Barrio La Sultana*. Estabilidad de Taludes. <https://afly.co/znr6>

- Falconí, A. E. (2017). *Análisis geotécnico de los taludes en la carretera Bambamarca - Paccha entre los kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Fernández, W., Villalobos, S., & King, R. (2018). Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto. *Revista ingeniería de construcción*, 33(1), 5-14.
- Freeman, P. K., Martin, L. A., Linnerooth-Bayer, J., Warner, K., & Pflug, G. (2009). Gestión de riesgo de desastres naturales. *Banco Interamericano de Desarrollo de Desarrollo (BID)*. *sfsl*.
- Gesenhues, L. G. (2020). *Advanced Methods for Finite Element Simulation of Rheology Models for Geophysical Flows*. (Doctoral dissertation, Aachen University). <https://d-nb.info/1217789847/34>
- Gómez, J. C. (2017). *Evaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de madrigal–Arequipa*. [Tesis para optar por el grado académico de magister en Geología con mención en Geotecnia, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- González, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson educación.
- He, J. H., & Ji, F. Y. (2019). Taylor series solution for Lane–Emden equation. *Journal of Mathematical Chemistry*, 57(8), 1932-1934.
- Hernández, J. T., Mendoza, L., & Sanz, J. C. (2021). *Análisis comparativo de métodos de evaluación de riesgo por deslizamiento de un talud en la vereda la helena de ibagué-tolima*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia].
- Hernández, L. (2017). *Análisis probabilístico de estabilidad de taludes en el relleno sanitario Parque Ecoindustrial Miramar*. [Tesis de grado de licenciatura en ingeniería civil, Universidad de Costa Rica].
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.128. *Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico*. 1ª ed. INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.129. *Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*. 1ª ed. INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.131. *Suelos. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo*, 1ª ed. INACAL.

- Instituto Nacional de Calidad. (2017). NTP 339.171. *Suelos. Método de ensayo normalizado para el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas. 1ª ed.* INACAL.
- Kalantar, B., Pradhan, B., Naghibi, S. A., Motevalli, A., & Mansor, S. (2018). Assessment of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: a comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 49-69.
- La República. (2018, 02 de septiembre). *El 80% del territorio peruano tiene alto riesgo de huaicos y deslizamientos*. La República. <https://afly.co/swc5>
- La República. (2021, 05 de marzo). *Cajamarca: lluvias provocan deslizamientos en la carretera Chiclayo-Chota*. La República. <https://afly.co/swf5>
- Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS*, 4, 1-22.
- Liu, J., Qi, Y., Meng, Z. Y., & Fu, L. (2017). Self-learning monte carlo method. *Physical Review B*, 95(4), 041101.
- Li, L., & Wang, Y. (2020). Identification of failure slip surfaces for landslide risk assessment using smoothed particle hydrodynamics. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 14(2), 91-111.
- Li, P., Dong, L., Gao, X., Li, T., & Hou, X. (2020). An Extension of Taylor's  $\phi$ -Circle Method and Some Stability Charts for Submerged Slopes. *Advances in Civil Engineering*, 2020.
- Marín, R. J., Guzmán-Martínez, J. C., Carvajal, H. E. M., García-Aristizábal, E. F., Cadavid-Arango, J. D., & Agudelo-Vallejo, P. (2018). Evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales para proyectos de infraestructura: caso de análisis en vereda El Cabuyal. *Ingeniería y Ciencia*, 14(27), 153-177. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.7>
- Mergili, M., Frank, B., Fischer, J. T., Huggel, C., & Pudasaini, S. P. (2018). Computational experiments on the 1962 and 1970 landslide events at Huascarán (Peru) with r. avaflow: Lessons learned for predictive mass flow simulations. *Geomorphology*, 322, 15-28.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (MVCS, 2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima – Perú. <https://n9.cl/pdm9r>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (MTC, 2014) *Manual de carreteras: Suelos, geología, y geotecnia, sección suelos y pavimentos*. MTC.
- Miranda, R. A. (2017). *Diseño del muro rígido para la estabilización de taludes en tramos de constante deslizamiento de la carretera Shapaja–Chazuta, 2017*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/31695>
- Morales, K. L. (2019). *Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos y capacidad portante para la construcción de viviendas unifamiliares en la Ciudad Satelite-Huacho 2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].
- Morales, D. A. (2018). *Comparación entre el sistema pario y un procedimiento tradicional para obtener la granulometría en suelos finos*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].
- Muñoz, M.J. (2017). *Evaluación de soluciones de estabilidad para deslizamientos en tres tramos críticos de la carretera Ilabaya – Cambaya – Camilaca, distrito de Ilabaya – Jorge Basadre – Tacna*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/621939>
- Narváez, L., Lavell, A., Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres un enfoque basado en procesos*. Comunidad Andina. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19759>
- Núñez, S., Torres, D., Lara, J., Soberón, D. (2017). *Informe técnico N° A6766. Evaluación geológica de las zonas afectadas por el niño costero 2017 en las regiones Lambayeque – Cajamarca*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, INGEMMET.
- Parra, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/22856>
- Pérez, D.E. (2018). *Análisis de la tipología del suelo del distribuidor de tráfico bella india aplicando el sistema unificado de clasificación de suelos*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala].
- Pham, B. T., Phong, T. V., Nguyen-Thoi, T., Parial, K., K. Singh, S., Ly, H. B., ... & Prakash, I. (2020). Ensemble modeling of landslide susceptibility using random subspace learner and different decision tree classifiers. *Geocarto International*, 1-23.
- Phong, T. V., Phan, T. T., Prakash, I., Singh, S. K., Shirzadi, A., Chapi, K., ... & Pham, B. T. (2019). Landslide susceptibility modeling using different artificial



- intelligence methods: A case study at Muong Lay district, Vietnam. *Geocarto International*, 1-24.
- Pincay, R. A. (2020). *Propuesta para evaluación de estabilidad de taludes en rellenos sanitarios, según la clasificación de suelos ASTM-D 2487*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
- Ponce, J. D. (2018). *PSusceptibilidad a deslizamientos en la carretera Jipijapa–Puerto Cayo*. [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1052>
- Puentes, L. A. (2020). *Generación de dos cartillas prácticas-aplicativas para la clasificación de suelos por método AASHTO y sistema unificado a partir de la recopilación de información lograda en el ámbito de pregrado de la universidad cooperativa de Colombia, sede Villavicencio*. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/18424>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO, 2021). *Permeabilidad del suelo*. FAO. <https://afly.co/gdd4jfjghi>
- Robert, E.J. (2002). La transgresión albiana en la cuenca andina (Perú central – Ecuador): modelo general y diacronismo de los depósitos marinos. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 94(2002), 7-8.
- Rodrigo, L. R. (2017). *Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Lajas–Ajipampa*. [Tesis de grado para optar por el título de ingeniero geológico, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1411>
- Rojas, C. M. (2018). *Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – el Tayal provincia de Chota –Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2069>
- Ros, A. (2006). *Manual de anclajes para minería y obra civil*. [Proyecto fin de especialización en minas, Universidad Politécnica de Cartagena].
- Santa Mónica radio. (2019, 27 de febrero). *Las lluvias causan el retraso de hasta medio día en el tránsito Chota – Chiclayo*. Santa Mónica Radio. <https://afly.co/swg5>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2021). Pronóstico del tiempo para CHOTA (Cajamarca). Senamhi. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0033>
- Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2021). *Visita la versión ACTUAL del visor de mapas. Cartografía de peligros. Movimientos en masa*. SIGRID. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa>

- Stefanelli, C. T., Vilímek, V., Emmer, A., & Catani, F. (2018). Morphological analysis and features of the landslide dams in the Cordillera Blanca, Peru. *Landslides*, 15(3), 507-521.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*. ES. Universidad Industrial de Santander.
- Tacilla, R. (2019). *Estimación de áreas susceptibles por movimientos de masa en la cuenca hidrográfica del río Chonta – Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Tafur, C.F. (2019). Estudio para la estabilización del talud del tramo km-318+000 hasta km-318+300 de la carretera Cajamarca – Chachapoyas. *Revista científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 55-62. ISSN(e) 2520-0356 <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v2i3.604>
- Tirado, M. K. (2020). *Evaluación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física por laderas inestables en el tramo de carretera Cajamarca-Gavilán, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Torres, C.R. (2020). Evaluación de riesgo de deslizamientos y propuesta geotécnica de la trocha Ayash-Huaripampa tramo km 3+ 260 al km 3+300. *Perfiles de Ingeniería*, 16(16), 13-22.
- Torres, J. A. (2017a). *Estabilización de Taludes para el Mantenimiento de la Carretera “Huancayo-El Tambo-San Agustín de Cajás-Hualhuas-Saño-Quilcas-San Jerónimo de Tunan-Ingenio, Provincia de Huancayo-Junin-2016”*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes].
- Torres, K. J. (2017b). *Análisis del deslizamiento el Naranjo mediante el método de equilibrio límite con el software slide Magdalena-Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Torres, C. R. (2007). *Valoración del riesgo en deslizamientos*. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma]. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/52>
- Ttito, D.C. (2018). Análisis de estabilidad de taludes de la zona “Los baluartes” en el parque arqueológico de Saqsahuamán. *Yachay – Revista científico cultural*, 7(1), 322-333. <https://doi.org/10.36881/yachay.v7i01.80>
- USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2004). Landslide Types and Processes. Publications Warehouse. Recuperado de <http://pubs.usgs.gov>
- Valiente, R., Sobrecases, S., y Díaz, A. (2015). Estabilidad de taludes: Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista CIVILIZATE*, 7(1), 50-54.

- Vílchez, M.S. (2018). Casos históricos de movimientos en masa que causaron grandes daños en Perú. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET*, 18(1), 57-60. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2590>
- Wang, M. Y., Liu, Y., Ding, Y. N., & Yi, B. L. (2020). Probabilistic stability analyses of multi-stage soil slopes by bivariate random fields and finite element methods. *Computers and Geotechnics*, 122, 103529. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103529>
- Wilde, M., Günther, A., Reichenbach, P., Malet, J. P., & Hervás, J. (2018). Pan-European landslide susceptibility mapping: ELSUS Version 2. *Journal of maps*, 14(2), 97-104.
- Yepes, V. (2014). *Equipos de compactación superficial*. Universitat Politècnica de València, 113 pp.
- Zamora, A.I.M. (2019). *Riesgo geotécnico de deslizamiento en los taludes del terreno del Colegio "San Carlos" - Bambamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2903>
- Zheng, H., Shi, Z., Shen, D., Peng, M., Hanley, KJ, Ma, C. y Zhang, L. (2021). Avances recientes en estabilidad y mecanismos de falla de presas de deslizamiento de tierra. *Frontiers in Earth Science* , 9 , 201.

## ANEXOS

### *Anexo N° 1. Matriz de consistencia*

**Tesis:** Evaluación del nivel de riesgo a deslizamiento de taludes mediante los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota

**Tesista:** Alex Fernández Irigoín

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología	
¿Cuál es el nivel de riesgo evaluado según el factor de seguridad determinado por el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de Los Loros Carretera 3N, Chota?	<p><b>Objetivo general</b> Determinar el nivel de riesgo a deslizamiento de taludes mediante los métodos de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.</p>	Existe diferencia significativa entre el riesgo a deslizamiento de taludes estimado mediante el método de Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.	Variable independiente Talud	Topografía	Área	La investigación es de enfoque cuantitativo de tipo correlacional, en el que se determinara el factor de seguridad para plantear su nivel de riesgo a deslizamiento.	
	<p><b>Objetivos específicos</b> Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo del talud del tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.</p>				Caracterización del suelo		Pendiente
							Perfil topográfico
				Peso específico			
	<p>Aplicar la metodología Taylor para determinar el factor de seguridad estático y dinámico, frente al deslizamiento de taludes en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.</p>			<p>Aplicar la metodología Monte Carlo para determinar el factor de seguridad estático y dinámico, frente al deslizamiento de taludes en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.</p>	<p>Deslizamiento por el método Taylor</p>		Modelo Bishop
<p>Comparar los factores de seguridad frente a deslizamientos según el método Taylor y Monte Carlo en el tramo Peña de los Loros, carretera 3N, Chota.</p>							



## *Anexo N° 2. Panel fotográfico*

**Fotografía 1. Vista del talud Peña de los Loros**



**Fotografía 2. Realización del levantamiento topográfico en la Peña de los Loros**





Fotografía 3. Toma de puntos para la realización del levantamiento topográfico



Fotografía 4. Calicata 1 en el talud Peña de los Loros





Fotografía 5. Calicata 2, en el talud Peña de los Loros



Fotografía 6. Calicata 3, en el talud Peña de los Loros





Fotografía 7. Ensayo de contenido de humedad del suelo



Fotografía 8. Ensayo de análisis granulométrico





Fotografía 9. Ensayo de límites de consistencia



Fotografía 10. Ensayo de corte directo



Fotografía 11. Ensayo de peso específico del suelo




*Anexo N° 3. Estudio de mecánica de suelos*





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## CALIATA N° 01

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID CLAVES MARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 71267

---


DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID CLAY MARACHIN  
INGENIERO  
Reg. CIP N° 1267

---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

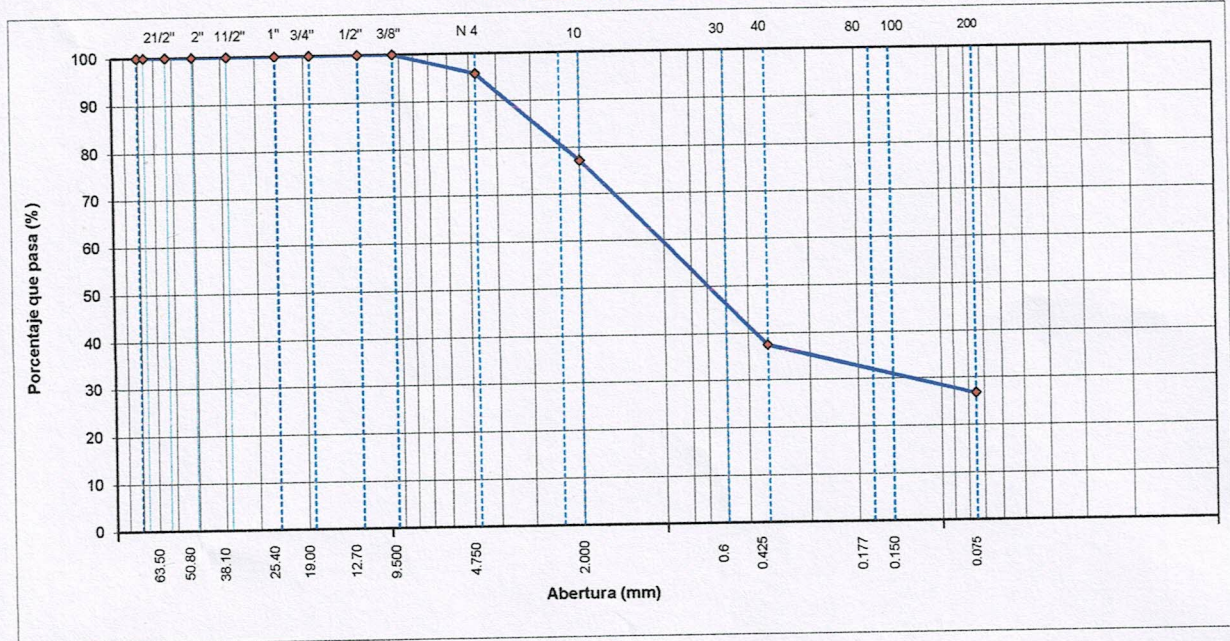
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

ESTRUCTURA :	EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	HECHO POR :	G.R.R
SOLICITANTE :	ALEX FERNANDEZ IRIGOIN	ING. RESP. :	H.C.R
ESTRATO :	MUESTREO DE TALUD	FECHA :	21/01/2021

MATERIAL :	EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	TAMAÑO MÁXIMO :	
CALICATA :	1	PESO INICIAL :	1000.0 g
MUESTRA :	M - 1	FRACCIÓN SECA :	1000.0 g
COORDENADAS :	-	PROFUND. (M.) :	-

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES A	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3 1/2"	80.89						
3"	76.200						%Peso Material >4: 4.2%
2 1/2"	63.500						% Peso Material <4 95.8%
2"	50.800						Límite Líquido (LL) : 50.5
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP) : 31.6
1"	25.400						Índice Plástico (IP) : 18.9
3/4"	19.000						Clasificación(SUCS) : SM
1/2"	12.700						Clasific.(AASHTO) : A-2-7 (1)
3/8"	9.500				100.0		
Nº 4	4.750	42.0	4.2	4.2	95.8		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	195.0	18.7	22.9	77.1		Contenido de Humedad (%) : 9.44
Nº 16	1.190						Materia Orgánica :
Nº 20	0.840						Índice de Consistencia :
Nº 30	0.600						Índice de Liquidez :
Nº 40	0.425	414.00	39.7	62.5	37.5		Descripción del (IC) :
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	79.00	7.6	70.1	29.9		OBSERVACIONES :
Nº 200	0.075	33.00	3.2	73.3	26.7		
< Nº 200	FONDO	279.00	26.7	100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones:

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
Geremias Rimarachin Rimarachin

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
HENRY DAVID C. RIMARACHIN





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

### CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

<b>ESTRUCTURA</b> : EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR</b> : G.R.R
<b>SOLICITANTE</b> : ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP.</b> : H.C.R
<b>ESTRATO</b> : MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA</b> : 21-ene.-21

<b>MATERIAL</b> : EXTRAIDO Y MUESTREO DE CALICATA	<b>CALICATA</b> : 1.00
<b>CALICATA</b> : 1.00	<b>MUESTRA</b> : M-1
<b>COORDENADAS</b> : -	<b>PROF. (M.)</b> : -

MUESTRA	1			
SUELO HUMEDO + CAPSULA	2700.0			
PESO SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	2467.0			
PESO DE CAPSULA (gr.)	0.0			
PESO DEL AGUA	233.0			
PESO DE SUELO SECO	2467.0			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.44			

**PROMEDIO % DE HUMEDAD : 9.4**

Observaciones: -

LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
Geremas Rimarachin Rimarachin  
LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO

LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
HENRY DAVID GEREMAS RIMARACHIN  
INGENIERO CIVIL





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

### LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA MTC E 110, ASTM D4318, AASHTO T89; MTC E 111, ASTM D4318, AASHTO T90)

<b>ESTRUCTURA :</b> EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR :</b> G.R.R
<b>SOLICITANTE :</b> ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP. :</b> H.C.R
<b>ESTRATO :</b> MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA :</b> 21-ene.-21

<b>MATERIAL :</b> EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	<b>CALICATA :</b> + 0
<b>CALICATA :</b> 1	<b>MUESTRA :</b> -
<b>COORDENADAS :</b> -	<b>PROFUNDIDAD :</b> -

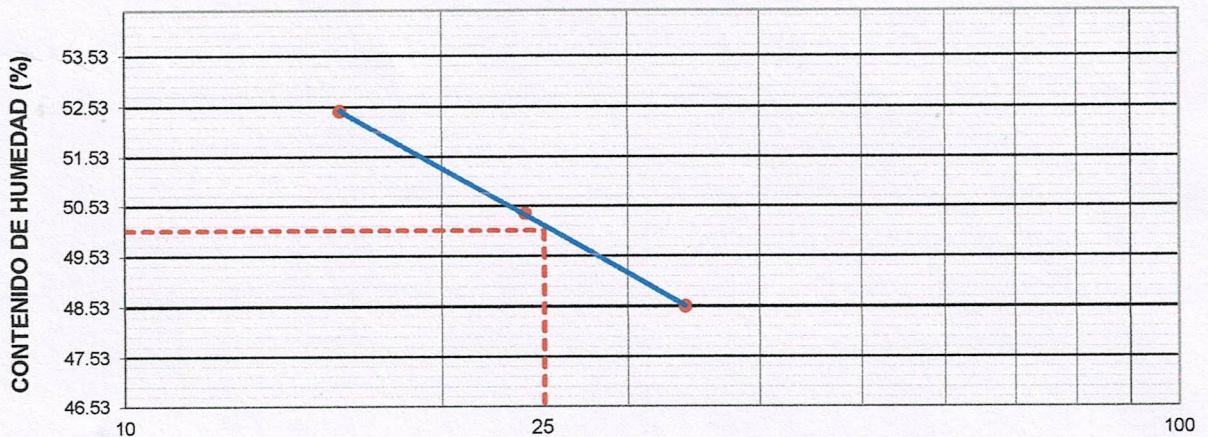
#### LIMITE LIQUIDO

Nº TARRO		1	2	3	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	57.38	59.78	61.89	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	45.20	46.52	47.48	
PESO DE AGUA	(g)	12.18	13.26	14.41	
PESO DEL TARRO	(g)	20.10	20.20	20.00	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	25.10	26.32	27.48	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	48.53	50.38	52.44	50.45
NUMERO DE GOLPES		34	24	16	24.67

#### LIMITE PLASTICO

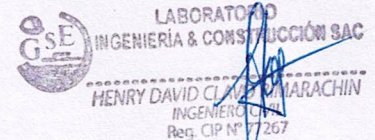
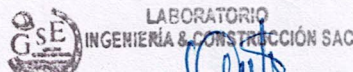
Nº TARRO		4	5		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	20.62	21.28		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.63	20.30		
PESO DE AGUA	(g)	0.99	0.98		
PESO DEL TARRO	(g)	16.50	17.20		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.13	3.10		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	31.63	31.61		

#### CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	50.5
LIMITE PLASTICO	31.6
INDICE DE PLASTICIDAD	18.9

Observaciones:








"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID RAMARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. C.O.P. 77267

---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN	: PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA	RESP. DE LAB :	H.C.R
CALICATA	: 01	HECHO POR:	G.R.R
ESTRUCTURA	: EVALUACIÓN DE TALUDES	FECHA :	21/01/2021
PROFUNDIDAD	: -	ESTADO :	REMOLDEADA
COORDENADAS	: -		
SOLICITANTE	: ALEX FERNANEZ IRIGOIN		

Densidad Húmeda gr/cm3 =	1.73	Profundidad de Cimentacion, Df =	2.50 m
Cohesion del Suelo ,kg/cm2 =	0.26	Ancho de Cimentacion, B, m =	3.00 m
Angulo de Friccion, f, ° =	18.00		

SEGÚN FORMULA DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI (1943)

Formulas de capacidad de Carga

	Para falla General	Para falla Local
Cimentacion corrida	$q_u = c'N_c + gDN_q + 0.5gBN_g$	$q_u = 2/3 c'N'_c + gDN'_q + 0.5gBN'_g$
Cimentacion cuadrada	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.4gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.4gBN'_g$
Cimentacion circular	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.3gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.3gBN'_g$

Factores de Capacidad de Carga Factor de Seguridad = 3

	General	Local
Nc =	15.52	10.91
Nq =	6.05	3.36
Ng =	3.32	1.45

Capacidad de Carga

	Falla Local (kg/cm2)	
	q <sub>u</sub>	q <sub>adm</sub>
Cimentacion corrida	3.09	1.03
Cimentacion cuadrada	3.39	1.13

Observaciones





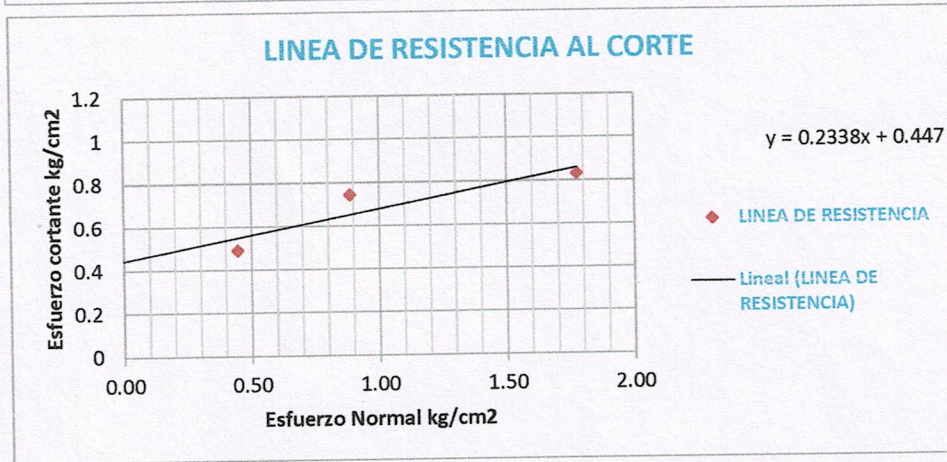
**ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS**

**PROYECTO: " EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN : PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA  
 CALICATA : 01  
 ESTRUCTURA : EVALUACIÓN DE TALUDES  
 PROFUNDIDAD :-  
 COORDENADAS :-  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANEZ IRIGOIN

RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 21/01/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA  
 VEL. ENSAYO : 0.5mm/min



Parámetros de Resistencia al Corte		
Cohesion	=	0.26 kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de Fricción Interna	=	18.0 °





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
(Norma NTP 339.171)


UBICACIÓN : PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA  
 CALICATA : 01  
 ESTRUCTURA : EVALUACIÓN DE TALUDES  
 PROFUNDIDAD : -  
 COORDENADAS : -  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANDEZ IRIGOIN

RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 21/01/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA

DATOS	(kg/cm <sup>2</sup> )	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		0.50		1.00		1.50	
Esfuerzo Normal		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Etapa		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Altura	(cm)	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75
Area	(cm <sup>2</sup> )	1.75	1.70	1.69	1.72	1.80	1.70
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	11.34	10.11	10.23	12.24	12.52	11.49
Humedad	(%)	1.57	1.55	1.53	1.53	1.60	1.53
Densidad Seca	(g/cm <sup>3</sup> )						

Deform. Tangencial	ESPECIMEN 01		Deform. Tangencial (mm)	ESPECIMEN 02		Deform. Tangencial (mm)	ESPECIMEN 03	
	Esfuerzo de Corte			Esfuerzo de Corte			Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	0.080	0.180	0.10	0.154	0.173	0.10	0.199	0.112
0.20	0.095	0.214	0.20	0.172	0.194	0.20	0.240	0.136
0.30	0.100	0.225	0.30	0.178	0.201	0.30	0.290	0.164
0.40	0.116	0.262	0.40	0.193	0.218	0.40	0.315	0.178
0.50	0.138	0.311	0.50	0.208	0.235	0.50	0.335	0.189
0.60	0.162	0.365	0.60	0.223	0.252	0.60	0.358	0.202
0.70	0.186	0.420	0.70	0.245	0.276	0.70	0.380	0.214
0.80	0.194	0.437	0.80	0.287	0.324	0.80	0.397	0.224
0.90	0.204	0.459	0.90	0.335	0.378	0.90	0.415	0.234
1.00	0.216	0.487	1.00	0.354	0.399	1.00	0.429	0.242
1.10	0.228	0.515	1.10	0.367	0.413	1.10	0.444	0.250
1.20	0.241	0.543	1.20	0.376	0.424	1.20	0.458	0.258
1.30	0.260	0.587	1.30	0.392	0.442	1.30	0.473	0.267
1.40	0.271	0.610	1.40	0.408	0.460	1.40	0.488	0.275
1.50	0.286	0.644	1.50	0.417	0.471	1.50	0.503	0.283
1.60	0.303	0.683	1.60	0.430	0.485	1.60	0.517	0.292
1.70	0.316	0.712	1.70	0.440	0.496	1.70	0.527	0.297
1.80	0.328	0.740	1.80	0.459	0.517	1.80	0.539	0.304
1.90	0.341	0.769	1.90	0.472	0.532	1.90	0.551	0.311
2.00	0.354	0.798	2.00	0.494	0.557	2.00	0.569	0.321
2.10	0.367	0.827	2.10	0.513	0.579	2.10	0.587	0.331
2.20	0.397	0.894	2.20	0.520	0.586	2.20	0.627	0.353
2.30	0.405	0.912	2.30	0.536	0.605	2.30	0.645	0.364
2.40	0.418	0.942	2.40	0.547	0.616	2.40	0.660	0.372
2.50	0.431	0.971	2.50	0.560	0.631	2.50	0.681	0.384
2.60	0.444	1.000	2.60	0.585	0.660	2.60	0.697	0.393
2.70	0.449	1.013	2.70	0.602	0.678	2.70	0.709	0.400
2.80	0.448	1.009	2.80	0.624	0.704	2.80	0.719	0.405
2.90	0.446	1.005	2.90	0.644	0.726	2.90	0.737	0.416
3.00	0.454	1.024	3.00	0.658	0.741	3.00	0.753	0.424
3.10	0.460	1.037	3.10	0.684	0.771	3.10	0.769	0.433
3.20	0.473	1.067	3.20	0.700	0.789	3.20	0.784	0.442
3.30	0.479	1.080	3.30	0.717	0.808	3.30	0.803	0.453
3.40	0.482	1.087	3.40	0.734	0.827	3.40	0.819	0.461
3.50	0.491	1.106	3.50	0.745	0.839	3.50	0.832	0.469



	<b>FORMATO</b>	Código	AE-FO-11
	<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO</b>	Versión	01
		Fecha	10-09-2020
		Página	1 de 1

PROYECTO	: PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"	
SOLICITANTE	: ALEX FERNÁNDEZ IRIGOIN	
CÓDIGO DE PROYECTO	: ---	
UBICACIÓN DE PROYECTO	: PEÑA DE LOS LOROS	
ATENCIÓN	: TERRENO NATURAL	
MUESTREO POR	: Solicitante	
ENSAYADO POR	: G.R.R	
FECHA DE ENSAYO	: 21/01/2021	
TURNOS	: Diurno	

Material	: Propio
Sondaje	: C-1
N° de Muestra	: M-1
Progresiva	: ---

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
ASTM D854**

MÉTODO DE ENSAYO "B"

DATOS		
Número de fiola	A	
Masa de suelo seco	110.00	110.00
Masa de fiola + agua destilada	652.00	652.00
Masa de fiola + agua destilada + suelo	719.00	718.90
Temperatura del agua	23.8	23.8
Coefficiente de corrección a 20°C (K)	0.99914	0.99914
Peso específico de sólidos	2.56	2.55
Gravedad específica de los sólidos	2.56	2.55
		2.55


**OBSERVACIONES:**

- Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCION

EQUIPO UTILIZADO			
EQUIPO	CÓDIGO	F. CALIBRACIÓN	N° CERT. CALIBRACIÓN
Balanza digital Ohaus 6000g x 0.1g	GSE-132	05/06/2020	CDR-A18-329
Balanza digital Ohaus 15000g x 1g	GSE-138	05/06/2020	CDR-A18-330
Balanza digital Sartorius 2500g x 0.01g	GSE-139	06/06/2020	CDR-A18-342
Horno digital Termocup 196L 0° a 300°C	GSE-098	06/06/2020	CDR-A18-343

**GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC**

<b>TECNICO LEM</b> D: Nombre y firma:	<b>JEFE LEM</b> D: Nombre y firma:	<b>COC - LEM</b> D: Nombre y firma:
M:	M:	M:
A:	A:	A:


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC**  
 Geremias Rimar

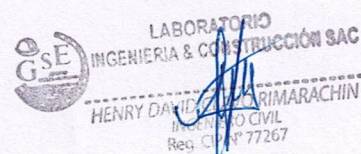

**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC**  
 HENRY DAVID CLAYTON DIMARACHIN  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP 1177207





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## CALIATA N° 02



---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID MARACHIN  
CIVIL





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

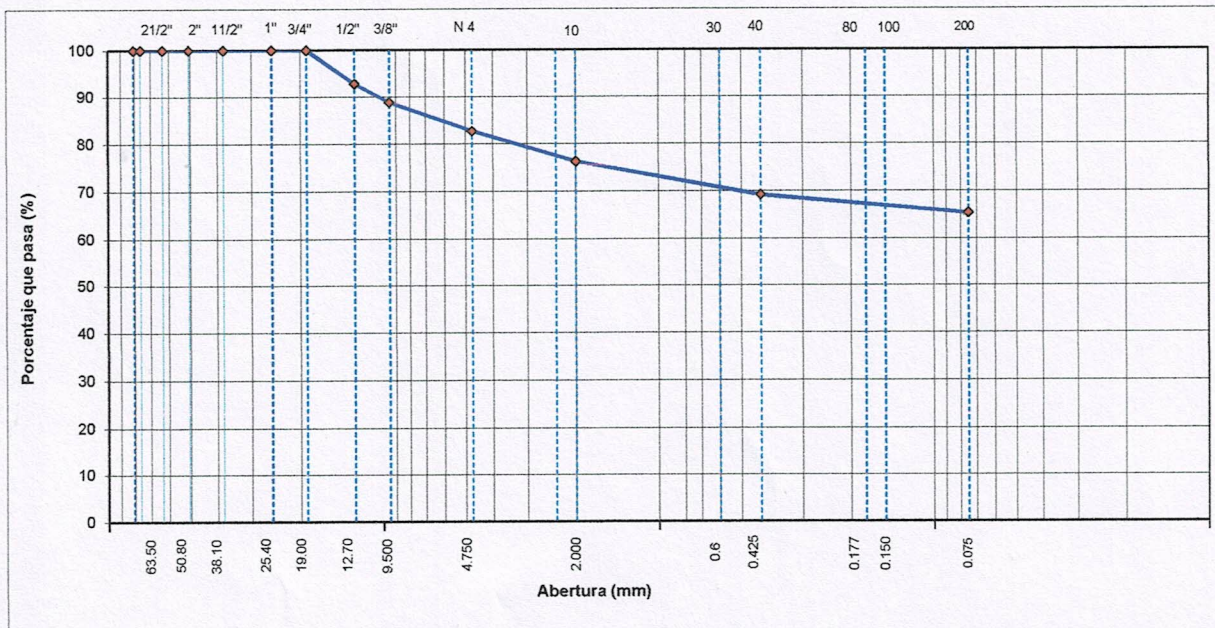
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

ESTRUCTURA :	EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	HECHO POR :	G.R.R
SOLICITANTE :	ALEX FERNANDEZ IRIGOIN	ING. RESP. :	H.C.R
ESTRATO :	MUESTREO DE TALUD	FECHA :	21/01/2021

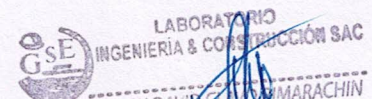
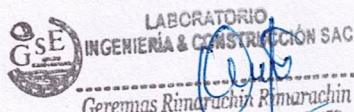
MATERIAL :	EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	TAMAÑO MÁXIMO :	
CALICATA :	C-2	PESO INICIAL :	700.0 g
MUESTRA :	M - 1	FRACCIÓN SECA :	700.0 g
COORDENADAS :	-	PROFUND. (M.) :	-

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES A	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3 1/2"	80.89						
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						%Peso Material >4: 17.3%
2"	50.800						% Peso Material <4 82.7%
1 1/2"	38.100						Límite Líquido (LL) : 53.8
1"	25.400						Límite Plástico (LP) : 32.4
3/4"	19.000				100.0		Índice Plástico (IP) : 21.4
1/2"	12.700	50.0	7.1	7.1	92.9		Clasificación(SUCS) : MH
3/8"	9.500	28.0	4.0	11.1	88.9		Clasific.(AASHTO) : A-7-5 (13)
Nº 4	4.750	43.0	6.1	17.3	82.7		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	55.0	6.5	23.8	76.2		Contenido de Humedad (%) : 11.66
Nº 16	1.190						Materia Orgánica :
Nº 20	0.840						Índice de Consistencia :
Nº 30	0.600						Índice de Líquidez :
Nº 40	0.425	59.00	7.0	30.8	69.2		Descripción del (IC) :
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	18.00	2.1	32.9	67.1		OBSERVACIONES :
Nº 200	0.075	14.00	1.7	34.5	65.5		
< Nº 200	FONDO	554.00	65.5	100.0			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Observaciones:







LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**  
(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

<b>ESTRUCTURA</b> : EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR</b> : G.R.R
<b>SOLICITANTE</b> : ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP.</b> : H.C.R
<b>ESTRATO</b> MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA</b> : 21-ene.-21

<b>MATERIAL</b> : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	<b>CALICATA</b> : C-2
<b>CALICATA</b> : C-2	<b>MUESTRA</b> : M-1
<b>COORDENADAS</b> : -	<b>PROF. (M.)</b> : MUESTREO DE TALUD

MUESTRA	1			
SUELO HUMEDO + CAPSULA	2500.0			
PESO SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	2239.0			
PESO DE CAPSULA (gr.)	0.0			
PESO DEL AGUA	261.0			
PESO DE SUELO SECO	2239.0			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	11.66			

**PROMEDIO % DE HUMEDAD : 11.7**

Observaciones: -

LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Cub*  
Geremias Rimarachin  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO  
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
HENRY DAVID CAYO RIMARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 77267





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

### LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA MTC E 110, ASTM D4318, AASHTO T89; MTC E 111, ASTM D4318, AASHTO T90)

<b>ESTRUCTURA :</b> EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR :</b> G.R.R
<b>SOLICITANTE :</b> ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP. :</b> H.C.R
<b>ESTRATO :</b> MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA :</b> 21-ene.-21

<b>MATERIAL :</b> EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	<b>CALICATA :</b> C-2
<b>CALICATA :</b> C-2	<b>MUESTRA :</b> M-1
<b>COORDENADAS :</b> -	<b>PROFUNDIDAD :</b> MUESTREO DE TALUD

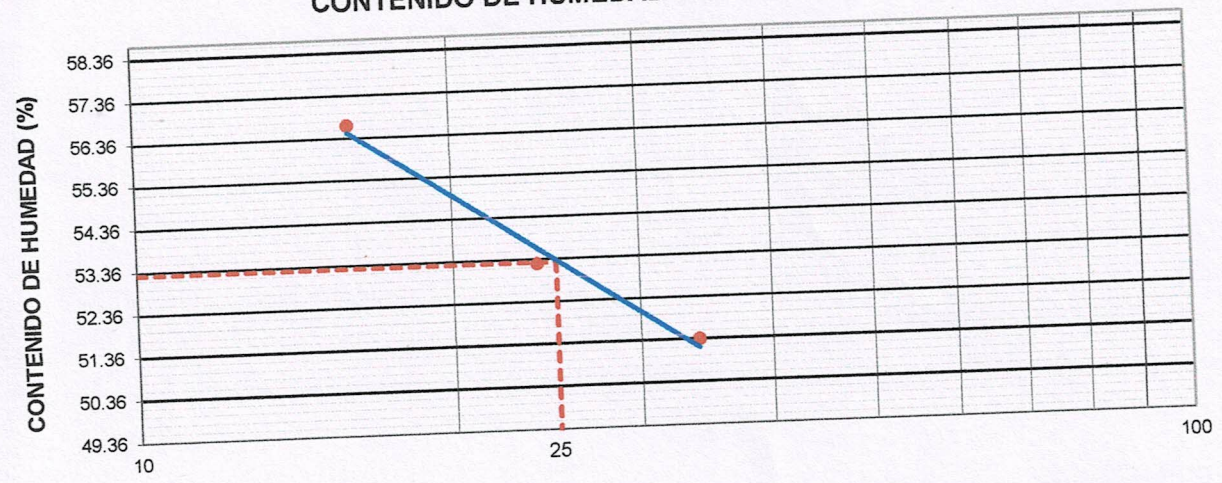
#### LIMITE LIQUIDO

Nº TARRO		1	2	3	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		58.04	60.59	62.88	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		45.20	46.52	47.48	
PESO DE AGUA (g)		12.84	14.07	15.40	
PESO DEL TARRO (g)		20.20	20.10	20.30	
PESO DEL SUELO SECO (g)		25.00	26.42	27.18	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		51.36	53.26	56.66	53.76
NUMERO DE GOLPES		34	24	16	24.67

#### LIMITE PLASTICO

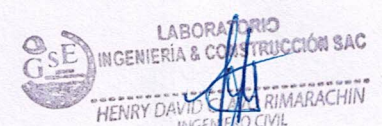
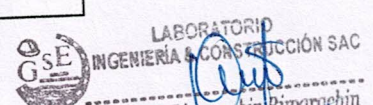
Nº TARRO		4	5	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)		20.65	21.30	
PESO TARRO + SUELO SECO (g)		19.63	20.30	
PESO DE AGUA (g)		1.02	1.00	
PESO DEL TARRO (g)		16.50	17.20	
PESO DEL SUELO SECO (g)		3.13	3.10	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)		32.59	32.26	

#### CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	53.8
LIMITE PLASTICO	32.4
INDICE DE PLASTICIDAD	21.4

Observaciones:

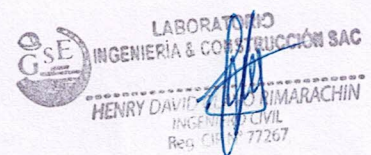






"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO



---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN	: PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA	RESP. DE LAB :	H.C.R
CALICATA	: 02	HECHO POR:	G.R.R
ESTRUCTURA	: EVALUACIÓN DE TALUDES	FECHA :	21/01/2021
PROFUNDIDAD	: -	ESTADO :	REMOLDEADA
COORDENADAS	: -		
SOLICITANTE	: ALEX FERNANEZ IRIGOIN		

Densidad Húmeda gr/cm3 =	1.72	Profundidad de Cimentacion, Df =	2.50 m
Cohesion del Suelo ,kg/cm2 =	0.24	Ancho de Cimentacion, B, m =	3.00 m
Angulo de Friccion, f, ° =	16.52		

SEGÚN FORMULA DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI (1943)

Formulas de capacidad de Carga

	Para falla General	Para falla Local
Cimentacion corrida	$q_u = c'N_c + gDN_q + 0.5gBN_g$	$q_u = 2/3 c'N'_c + gDN'_q + 0.5gBN'_g$
Cimentacion cuadrada	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.4gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.4gBN'_g$
Cimentacion circular	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.3gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.3gBN'_g$

Factores de Capacidad de Carga

Factor de Seguridad = 3

	General	Local
Nc =	14.13	10.27
Nq =	5.19	3.03
Ng =	2.69	1.24

Capacidad de Carga

	Falla Local (kg/cm2)	
	q <sub>u</sub>	q <sub>adm</sub>
Cimentacion corrida	2.72	0.91
Cimentacion cuadrada	2.98	0.99

Observaciones





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

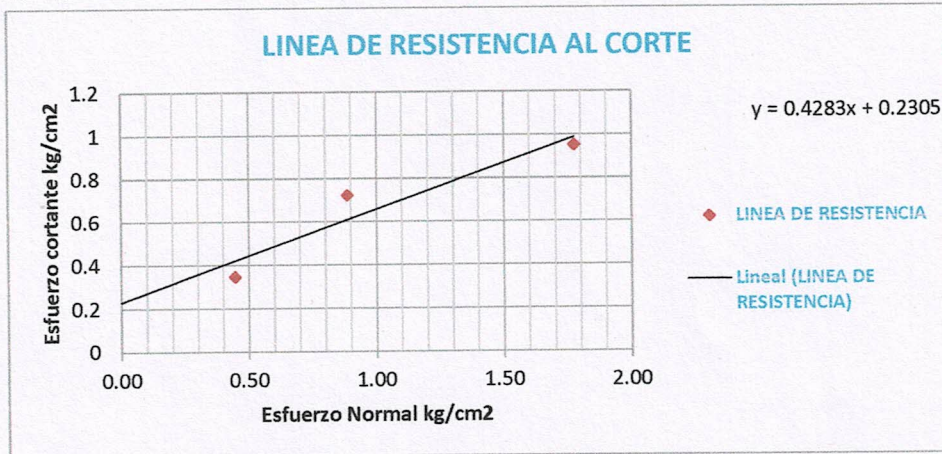
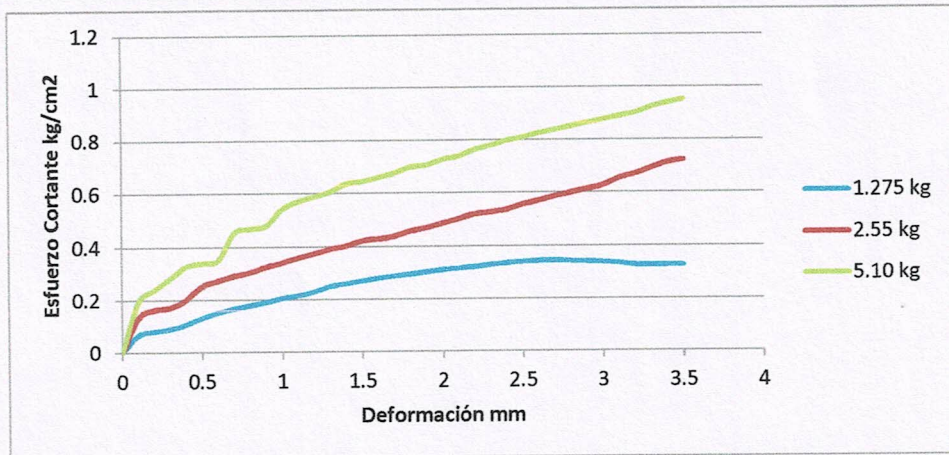
PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN : PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA  
 CALICATA : 02  
 ESTRUCTURA : EVALUACIÓN DE TALUDES  
 PROFUNDIDAD :-  
 COORDENADAS :-  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANDEZ IRIGOIN

RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 21/01/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA  
 VEL. ENSAYO : 0.5mm/min



Parámetros de Resistencia al Corte			
Cohesion	=	0.24	kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de Fricción Interna	=	16.5	°





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

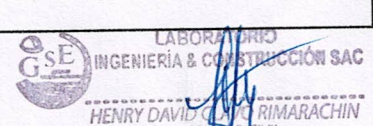
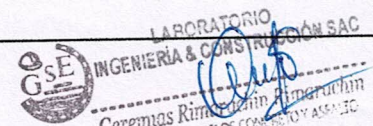
**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN : PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA  
 CALICATA : 02  
 ESTRUCTURA : EVALUACIÓN DE TALUDES  
 PROFUNDIDAD : -  
 COORDENADAS : -  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANEZ IRIGOIN


RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 21/01/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		0.50		1.00		1.50	
Esfuerzo Normal	(kg/cm <sup>2</sup> )						
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Area	(cm <sup>2</sup> )	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	1.76	1.68	1.74	1.72	1.73	1.70
Humedad	(%)	10.38	10.13	9.17	11.83	8.77	10.94
Densidad Seca	(g/cm <sup>3</sup> )	1.59	1.52	1.59	1.53	1.59	1.53

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (mm)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (mm)	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	0.066	0.150	0.10	0.133	0.150	0.10	0.194	0.109
0.20	0.081	0.182	0.20	0.163	0.184	0.20	0.240	0.136
0.30	0.090	0.203	0.30	0.172	0.194	0.30	0.285	0.160
0.40	0.107	0.241	0.40	0.202	0.228	0.40	0.329	0.185
0.50	0.131	0.295	0.50	0.253	0.285	0.50	0.340	0.192
0.60	0.153	0.344	0.60	0.274	0.309	0.60	0.352	0.198
0.70	0.167	0.377	0.70	0.292	0.330	0.70	0.455	0.256
0.80	0.179	0.404	0.80	0.305	0.344	0.80	0.469	0.264
0.90	0.192	0.432	0.90	0.326	0.368	0.90	0.481	0.271
1.00	0.206	0.465	1.00	0.342	0.385	1.00	0.543	0.306
1.10	0.216	0.488	1.10	0.361	0.406	1.10	0.571	0.322
1.20	0.231	0.521	1.20	0.376	0.424	1.20	0.589	0.332
1.30	0.251	0.565	1.30	0.392	0.442	1.30	0.607	0.342
1.40	0.261	0.588	1.40	0.405	0.456	1.40	0.635	0.358
1.50	0.271	0.611	1.50	0.423	0.477	1.50	0.645	0.364
1.60	0.281	0.634	1.60	0.430	0.485	1.60	0.660	0.372
1.70	0.289	0.651	1.70	0.440	0.496	1.70	0.675	0.381
1.80	0.297	0.669	1.80	0.459	0.517	1.80	0.699	0.394
1.90	0.304	0.687	1.90	0.472	0.532	1.90	0.705	0.398
2.00	0.312	0.704	2.00	0.488	0.550	2.00	0.726	0.409
2.10	0.318	0.716	2.10	0.504	0.568	2.10	0.739	0.416
2.20	0.323	0.729	2.20	0.520	0.586	2.20	0.763	0.430
2.30	0.331	0.746	2.30	0.527	0.594	2.30	0.778	0.439
2.40	0.337	0.759	2.40	0.537	0.606	2.40	0.796	0.449
2.50	0.342	0.771	2.50	0.557	0.628	2.50	0.809	0.456
2.60	0.345	0.778	2.60	0.570	0.643	2.60	0.825	0.465
2.70	0.346	0.779	2.70	0.586	0.661	2.70	0.838	0.472
2.80	0.344	0.775	2.80	0.600	0.676	2.80	0.850	0.479
2.90	0.342	0.771	2.90	0.613	0.691	2.90	0.863	0.487
3.00	0.340	0.767	3.00	0.627	0.706	3.00	0.876	0.494
3.10	0.336	0.757	3.10	0.652	0.736	3.10	0.889	0.501
3.20	0.329	0.741	3.20	0.669	0.754	3.20	0.902	0.508
3.30	0.327	0.737	3.30	0.692	0.780	3.30	0.924	0.521
3.40	0.327	0.738	3.40	0.712	0.803	3.40	0.940	0.530
3.50	0.328	0.739	3.50	0.723	0.815	3.50	0.953	0.537





	<b>FORMATO</b>	Código	AE-FO-11
	<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO</b>	Versión	01
		Fecha	10-09-2020
		Página	1 de 1

PROYECTO	: PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"		MUESTREADO POR :	Solicitante
SOLICITANTE	: ALEX FERNÁNDEZ IRIGOIN		ENSAYADO POR :	G.R.R
CÓDIGO DE PROYECTO	: ---		FECHA DE ENSAYO :	21/01/2021
UBICACIÓN DE PROYECTO	: PEÑA DE LOS LOROS		TURNO :	Diurno
ATENCIÓN	: TERRENO NATURAL			
Material	: Propio			
Sondaje	: C-2			
N° de Muestra	: M-1			
Progresiva	: ---			

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
ASTM D854**



MÉTODO DE ENSAYO "B"

DATOS			
Número de fiola	A		
Masa de suelo seco	110.00	110.00	
Masa de fiola + agua destilada	651.00	651.00	
Masa de fiola + agua destilada + suelo	718.00	718.40	
Temperatura del agua	23.8	23.8	
Coefficiente de corrección a 20°C (K)	0.99914	0.99914	
Peso específico de sólidos	2.56	2.58	
Gravedad específica de los sólidos	2.56	2.58	2.57

**OBSERVACIONES:**

- \* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCION

EQUIPO UTILIZADO			
EQUIPO	CÓDIGO	F. CALIBRACIÓN	N° CERT. CALIBRACIÓN
Balanza digital Ohaus 6000g x 0.1g	GSE-132	05/06/2020	CDR-A18-329
Balanza digital Ohaus 15000g x 1g	GSE-138	05/06/2020	CDR-A18-330
Balanza digital Sartorius 2500g x 0.01g	GSE-139	06/06/2020	CDR-A18-342
Horno digital Termocup 196L 0° a 300°C	GSE-098	06/06/2020	CDR-A18-343


GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC			
TECNICO LEM	D:	JEFE LEM	D:
Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:
 <b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b> <i>Geremas Rindracán Rindracán</i> LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO		 <b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b> <i>HENRY DAVID C. RINDRACAN</i> INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 77267	





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## CALIATA N° 03

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID CLAYTON MARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 177267

---

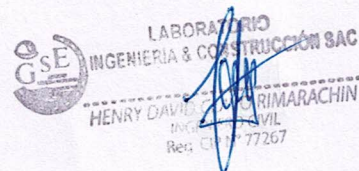
DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

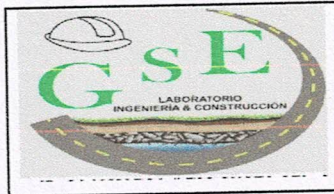
## ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN



---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

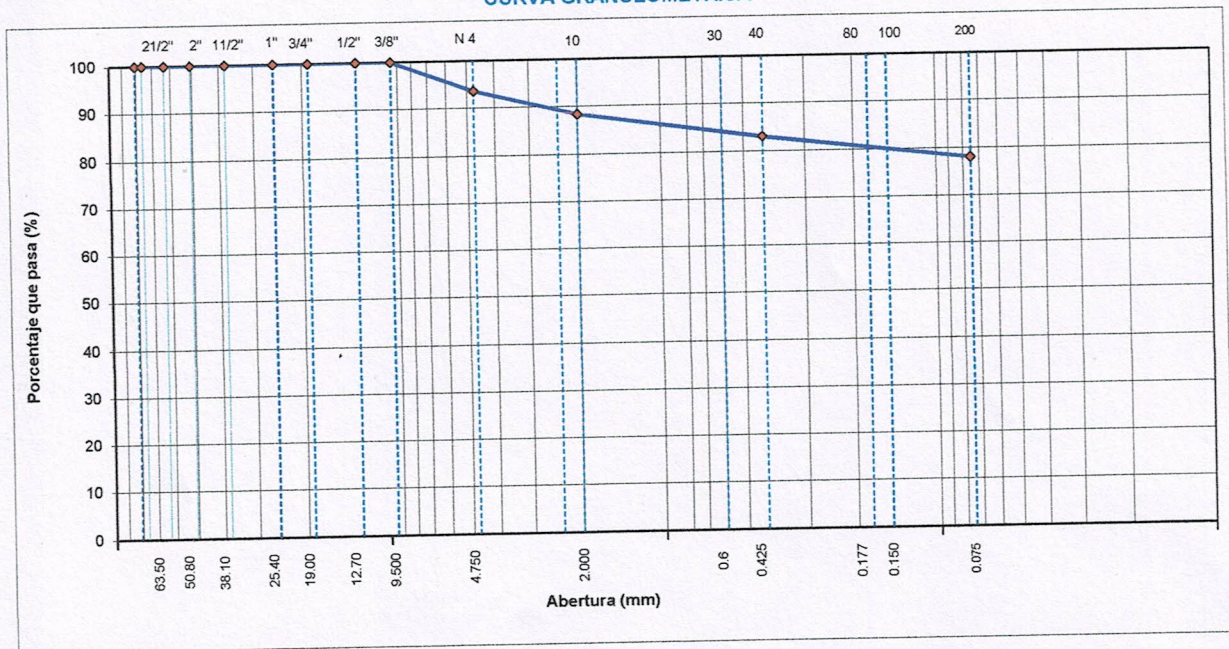
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

ESTRUCTURA :	EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	HECHO POR :	G.R.R
SOLICITANTE :	ALEX FERNÁNDEZ IRIGOIN	ING. RESP. :	H.C.R
ESTRATO :	MUESTREO DE TALUD	FECHA :	21/01/2021

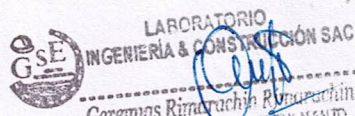
MATERIAL :	EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	TAMAÑO MÁXIMO :	
CALICATA :	3	PESO INICIAL :	700.0 g
MUESTRA :	M - 1	FRACCIÓN SECA :	700.0 g
COORDENADAS :	-	PROFUND. (M.) :	-

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES A	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3 1/2"	80.89						
3"	76.200						%Peso Material >4: 6.4%
2 1/2"	63.500						% Peso Material <4 93.6%
2"	50.800						Límite Líquido (LL) : 52.3
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP) : 30.3
1"	25.400						Índice Plástico (IP) : 22.0
3/4"	19.000						Clasificación(SUCS) : MH
1/2"	12.700						Clasific.(AASHTO) : A-7-S (15)
3/8"	9.500				100.0		
Nº 4	4.750	45.0	6.4	6.4	93.6		
Nº 8	2.360						
Nº 10	2.000	39.0	5.2	11.6	88.4		Contenido de Humedad (%) : 17.75
Nº 16	1.190						Materia Orgánica :
Nº 20	0.840						Índice de Consistencia :
Nº 30	0.600						Índice de Líquidez :
Nº 40	0.425	40.00	5.3	17.0	83.0		Descripción del (IC) :
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						
Nº 100	0.150	20.00	2.7	19.7	80.3		OBSERVACIONES :
Nº 200	0.075	17.00	2.3	21.9	78.1		
< Nº 200	FONDO	584.00	78.1	100.0			

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Observaciones:







LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

### CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

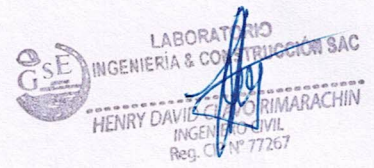
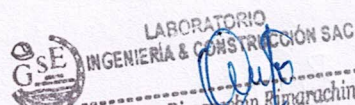
<b>ESTRUCTURA</b> :	EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR</b> :	G.R.R
<b>SOLICITANTE</b> :	ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP.</b> :	H.C.R
<b>ESTRATO</b>	MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA</b> :	21-ene.-21

<b>MATERIAL</b> :	EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	<b>CALICATA</b> :	3
<b>CALICATA</b> :	3	<b>MUESTRA</b> :	M-1
<b>COORDENADAS</b> :	-	<b>PROF. (M.)</b> :	MUESTREO DE TALUD

MUESTRA	1			
SUELO HUMEDO + CAPSULA	2800.0			
PESO SUELO SECO + CAPSULA (gr.)	2378.0			
PESO DE CAPSULA (gr.)	0.0			
PESO DEL AGUA	422.0			
PESO DE SUELO SECO	2378.0			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	17.75			

**PROMEDIO % DE HUMEDAD :** 17.7

Observaciones: -







LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

### LIMITES DE CONSISTENCIA

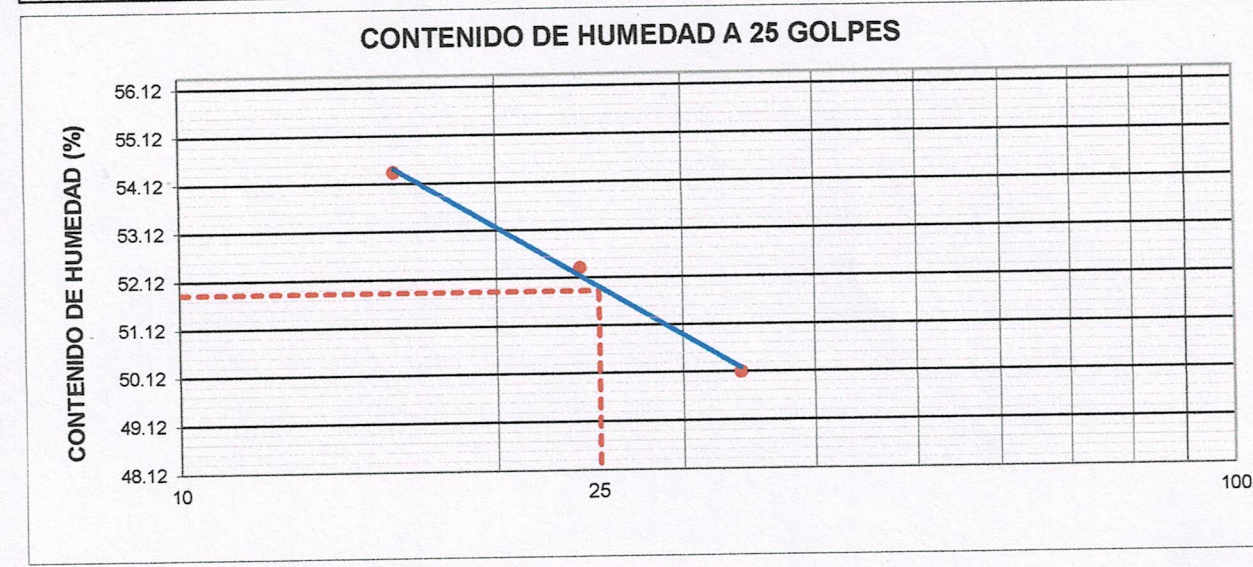
(NORMA MTC E 110, ASTM D4318, AASHTO T89; MTC E 111, ASTM D4318, AASHTO T90)

<b>ESTRUCTURA :</b> EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	<b>HECHO POR :</b> G.R.R
<b>SOLICITANTE :</b> ALEX FERNANEZ IRIGOIN	<b>ING. RESP. :</b> H.C.R
<b>ESTRATO :</b> MUESTREO DE TALUD	<b>FECHA :</b> 21-ene.-21

<b>MATERIAL :</b> EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	<b>CALICATA :</b> 3
<b>CALICATA :</b> 3	<b>MUESTRA :</b> M-1
<b>COORDENADAS :</b> -	<b>PROFUNDIDAD :</b> MUESTREO DE TALUD

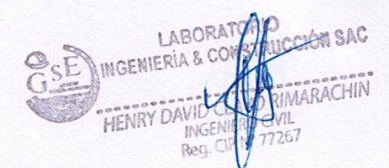
LIMITE LIQUIDO					
Nº TARRO		1	2	3	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	59.13	59.44	63.53	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	46.10	45.96	48.20	
PESO DE AGUA	(g)	13.03	13.48	15.33	
PESO DEL TARRO	(g)	20.10	20.20	20.00	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	26.00	25.76	28.20	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	50.12	52.33	54.36	52.27
NUMERO DE GOLPES		34	24	16	24.67

LIMITE PLASTICO					
Nº TARRO		4	5		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	20.58	21.24		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.63	20.30		
PESO DE AGUA	(g)	0.95	0.94		
PESO DEL TARRO	(g)	16.50	17.20		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.13	3.10		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	30.35	30.32		



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	52.3
LIMITE PLASTICO	30.3
INDICE DE PLASTICIDAD	22.0

Observaciones:

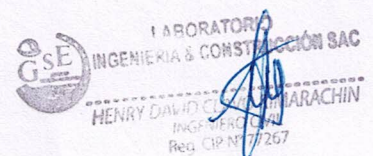






"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y  
PAVIMENTOS

## ENSAYOS DE CORTE DIRECTO



---

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 INDECOPI: N°824970-2019/OSD- S00122366  
EMAIL: [gslaboratorio2019@gmail.com](mailto:gslaboratorio2019@gmail.com)





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: " EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

(Norma NTP 339.171)

ESTRUCTURA	: EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES	RESP. DE LAB	: H.C.R
CALICATA	: 03	HECHO POR	: G.R.R
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 21/01/2021
PROFUNDIDAD	: -	ESTADO	: REMOLDEADA
COORDENADAS	: -		
SOLICITANTE	: ALEX FERNANEZ IRIGOIN		

Densidad Húmeda gr/cm <sup>3</sup>	=	1.75	Profundidad de Cimentacion, Df	=	2.50 m
Cohesion del Suelo ,kg/cm <sup>2</sup>	=	0.24	Ancho de Cimentacion, B, m	=	3.00 m
Angulo de Friccion, f, °	=	16.52			
Angulo de Friccion, f <sub>v</sub> , °	=	11.18			

SEGÚN FORMULA DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI (1943)

Formulas de capacidad de Carga

	Para falla General	Para falla Local
Cimentacion corrida	$q_u = c'N_c + gDN_q + 0.5gBN'_g$	$q_u = 2/3 c'N'_c + gDN'_q + 0.5gBN'_g$
Cimentacion cuadrada	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.4gBN'_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.4gBN'_g$
Cimentacion circular	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.3gBN'_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.3gBN'_g$

Factores de Capacidad de Carga Factor de Seguridad = 3

	General	Local
Nc =	14.13	10.27
Nq =	5.19	3.03
Ng =	2.69	1.24

Capacidad de Carga

	Falla Local (kg/cm <sup>2</sup> )	
	q <sub>u</sub>	q <sub>adm</sub>
Cimentacion corrida	2.75	0.92
Cimentacion cuadrada	3.01	1.00

Observaciones









ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO  
(Norma NTP 339.171)


ESTRUCTURA : EVALUACIÓN EL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES  
 CALICATA : 03  
 MUESTRA : M-1  
 PROFUNDIDAD : -  
 COORDENADAS : -  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANEZ IRIGOIN

RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 21/01/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA

DATOS	(kg/cm <sup>2</sup> )	ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
		0.50		1.00		1.50	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Esfuerzo Normal							
Etapa	(cm)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Altura	(cm)	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75
Area	(cm <sup>2</sup> )	1.71	1.76	1.75	1.72	1.78	1.77
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	11.47	9.66	9.64	7.61	13.67	8.97
Humedad	(%)	1.54	1.60	1.59	1.60	1.57	1.63
Densidad Seca	(g/cm <sup>3</sup> )						

Deform. Tangencial	ESPECIMEN 01		Deform. Tangencial (mm)	ESPECIMEN 02		Deform. Tangencial (mm)	ESPECIMEN 03	
	Esfuerzo de Corte			Esfuerzo de Corte			Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	0.071	0.160	0.10	0.133	0.150	0.10	0.194	0.109
0.20	0.085	0.192	0.20	0.157	0.177	0.20	0.251	0.142
0.30	0.095	0.214	0.30	0.172	0.194	0.30	0.290	0.164
0.40	0.112	0.252	0.40	0.208	0.234	0.40	0.329	0.185
0.50	0.136	0.306	0.50	0.253	0.285	0.50	0.343	0.193
0.60	0.157	0.355	0.60	0.274	0.309	0.60	0.360	0.203
0.70	0.172	0.388	0.70	0.292	0.330	0.70	0.375	0.211
0.80	0.184	0.415	0.80	0.311	0.350	0.80	0.389	0.219
0.90	0.196	0.443	0.90	0.329	0.371	0.90	0.409	0.231
1.00	0.211	0.476	1.00	0.342	0.385	1.00	0.421	0.237
1.10	0.221	0.499	1.10	0.361	0.406	1.10	0.433	0.244
1.20	0.236	0.532	1.20	0.376	0.424	1.20	0.444	0.251
1.30	0.256	0.576	1.30	0.386	0.435	1.30	0.459	0.259
1.40	0.266	0.599	1.40	0.399	0.449	1.40	0.479	0.270
1.50	0.276	0.622	1.50	0.417	0.471	1.50	0.497	0.280
1.60	0.286	0.645	1.60	0.430	0.485	1.60	0.509	0.287
1.70	0.294	0.662	1.70	0.440	0.496	1.70	0.521	0.294
1.80	0.302	0.680	1.80	0.459	0.517	1.80	0.533	0.301
1.90	0.309	0.698	1.90	0.472	0.532	1.90	0.545	0.307
2.00	0.317	0.715	2.00	0.488	0.550	2.00	0.563	0.317
2.10	0.323	0.727	2.10	0.504	0.568	2.10	0.575	0.324
2.20	0.328	0.740	2.20	0.520	0.586	2.20	0.593	0.334
2.30	0.336	0.758	2.30	0.536	0.605	2.30	0.606	0.341
2.40	0.341	0.770	2.40	0.559	0.630	2.40	0.618	0.348
2.50	0.347	0.782	2.50	0.569	0.641	2.50	0.627	0.354
2.60	0.350	0.789	2.60	0.585	0.660	2.60	0.648	0.365
2.70	0.356	0.802	2.70	0.596	0.671	2.70	0.661	0.373
2.80	0.349	0.786	2.80	0.612	0.690	2.80	0.679	0.383
2.90	0.357	0.804	2.90	0.619	0.698	2.90	0.692	0.390
3.00	0.362	0.817	3.00	0.627	0.706	3.00	0.710	0.400
3.10	0.368	0.829	3.10	0.634	0.715	3.10	0.720	0.406
3.20	0.376	0.848	3.20	0.641	0.723	3.20	0.741	0.418
3.30	0.382	0.860	3.30	0.652	0.735	3.30	0.754	0.425
3.40	0.387	0.873	3.40	0.662	0.746	3.40	0.773	0.435
3.50	0.395	0.892	3.50	0.676	0.762	3.50	0.785	0.443



	<b>FORMATO</b>	Código	AE-FO-11
	<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO</b>	Versión	01
		Fecha	10-08-2020
		Página	1 de 1

PROYECTO	: PROYECTO: " EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"	MUESTREADO POR :	Solicitante
SOLICITANTE	: ALEX FERNANDEZ IRIGOIN	ENSAYADO POR :	G.R.R
CÓDIGO DE PROYECTO	: PEÑA DE LOS LOROS	FECHA DE ENSAYO :	21/01/2021
UBICACIÓN DE PROYECTO	: TERRENO NATURAL	TURNO :	Diurno
ATENCIÓN			
Material	: Propio		
Sondaje	: C-3		
N° de Muestra	: M-1		
Progresiva	: ---		

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
ASTM D854**


MÉTODO DE ENSAYO "B"


DATOS			
Número de fiola	A		
Masa de suelo seco	110.00	110.00	
Masa de fiola + agua destilada	651.52	651.63	
Masa de fiola + agua destilada + suelo	718.25	718.40	
Temperatura del agua	23.8	23.8	
Coefficiente de corrección a 20°C (K)	0.99914	0.99914	
Peso específico de sólidos	2.54	2.54	
Gravedad específica de los sólidos	2.54	2.54	2.54

OBSERVACIONES:

- \* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCION

EQUIPO UTILIZADO			
EQUIPO	CÓDIGO	F. CALIBRACIÓN	N° CERT. CALIBRACIÓN
Balanza digital Ohaus 6000g x 0.1g	GSE-132	05/08/2020	CDR-A18-329
Balanza digital Ohaus 15000g x 1g	GSE-138	05/08/2020	CDR-A18-330
Balanza digital Sartorius 2500g x 0.01g	GSE-139	06/08/2020	CDR-A18-342
Horno digital Termocup 196L 0° a 300° C	GSE-093	06/08/2020	CDR-A18-343

GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC			
TECNICO LEM	D:	JEFE LEM	D:
Nombre y firma:	M:	Nombre y firma:	M:
	A:		A:
		 <b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b> HENRY DAVID C. RIMARACHIN INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 17267	


**LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC**  
 Geremas Rimarachin Rimarachin  
 LABORATORISTA SUELOS CONSULTOR Y ASISTENTE

*Anexo N° 4. Análisis de precipitaciones pluviales Cochabamba*





## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA



### ESTACIÓN: COCHABAMBA

#### Ubicación Política:

Región : Cajamarca  
Distrito : Cochabamba  
Periodo : 1995-2019  
Provincia : Chota

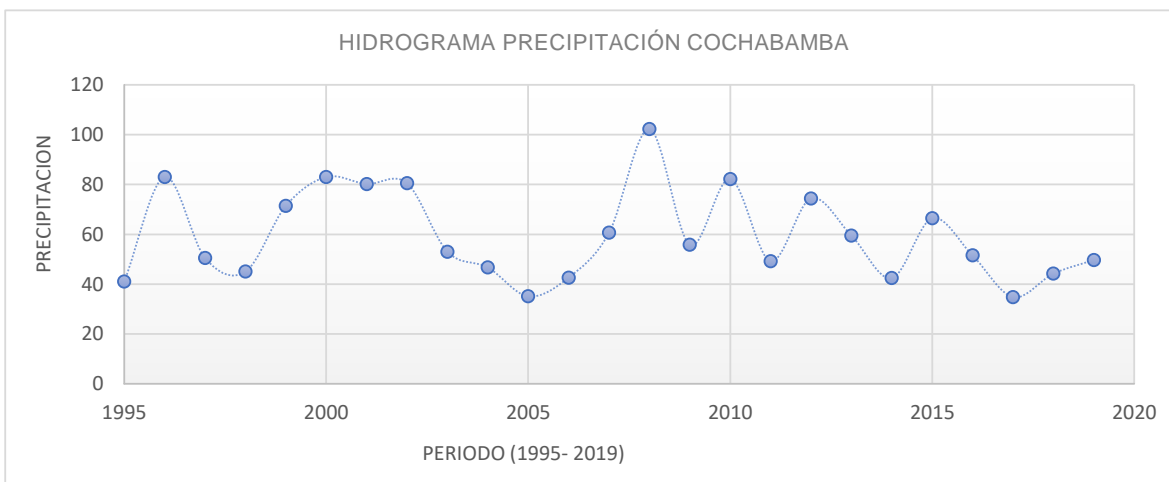
#### Ubicación Geográfica:

Latitud: 6° 27' 36.32"  
Longitud: 78° 53' 18.97"  
Altitud : 1653 msnm

### Precipitación Máxima en 24 Horas (mm).

Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
1	1995	41	20	8	12	22	0.5	13	3.8	3.5	12	27.5	12.5	41
2	1996	11	29	83	42.5	39	18	0	32	13	32	11	0.2	83
3	1997	16	50.5	11	26	6	11.5	6	0	0	5.5	11	34	50.5
4	1998	10	45	29	36	25.5	5.5	0	20	29	17	12.2	7	45
5	1999	11.5	10.5	17	0	0	71.4	11.7	8.9	63.5	31.1	9.2	26.7	71.4
6	2000	14.5	23.1	31	35.1	83	17.9	3.9	30.5	31.7	32.7	35.1	22	83
7	2001	24.5	21.1	21.3	80.2	39.9	2.3	0.8	1.4	79.3	13.8	16.3	48.8	80.2
8	2002	19.7	52.4	14.2	80.5	28.5	9.5	7.4	0	41.6	31.3	21.8	9.8	80.5
9	2003	22	53	28.2	34.2	18.5	27.5	5.4	3.5	11.7	32.8	45.4	9.6	53
10	2004	13.1	20	12.2	46.7	36.5	1.9	15	0.9	27.3	18.1	19.2	15.6	46.7
11	2005	7.9	35.1	23.3	28.7	4.7	15.4	1.3	9	15.4	30.3	22.2	16	35.1
12	2006	14.2	19	42.6	21.2	14	26.7	24.6	2.8	38.1	17.5	19.4	24	42.6
13	2007	18.2	22	26.7	25.4	60.6	0	21.8	16.7	21.2	26.8	32.6	17.2	60.6
14	2008	35.2	50.6	102.2	33.1	30.1	22.4	3.1	61.3	45.3	73.9	16.8	7.3	102.2
15	2009	25.9	23.4	55.8	10.8	16.4	8	5.8	24	1.6	15.6	16.9	41.9	55.8
16	2010	22.2	82.2	40	53.2	20.8	11.4	21	4.5	57.5	20.6	23.4	15.4	82.2
17	2011	29	19.1	14.2	28.9	20.4	3.8	2.7	10.2	49.2	13.3	12.3	36.9	49.2
18	2012	24.3	21.6	74.4	61.4	27.2	0	0	0	41.4	46.4	20.6	57.6	74.4
19	2013	24.7	8.3	59.5	25.5	38.6	7	0	9.8	3.5	44	13.2	23.3	59.5
20	2014	24	38.2	34.6	31.2	12.2	1.5	0	42.4	16.2	19.6	25.8	16.4	42.4
21	2015	36	33	35	19.6	66.4	0	1.5	0	0	56.3	35.2	0	66.4
22	2016	9.3	9.5	39.7	51.5	12.2	12	0	0	16.1	27.6	40.2	36.7	51.5
23	2017	31.8	32.2	34.8	23.3	23.5	21	0	21.7	21.3	28.8	32.2	6.8	34.8
24	2018	26.4	17	23.2	37.4	43.7	11.8	2	0	34.5	44.2	39.7	11	44.2
25	2019	14.2	43.9	49.7	34.9	19.4	8.4	8.5	0	5.7	23.2	49	23.9	49.7

Fuente : elaboración propia





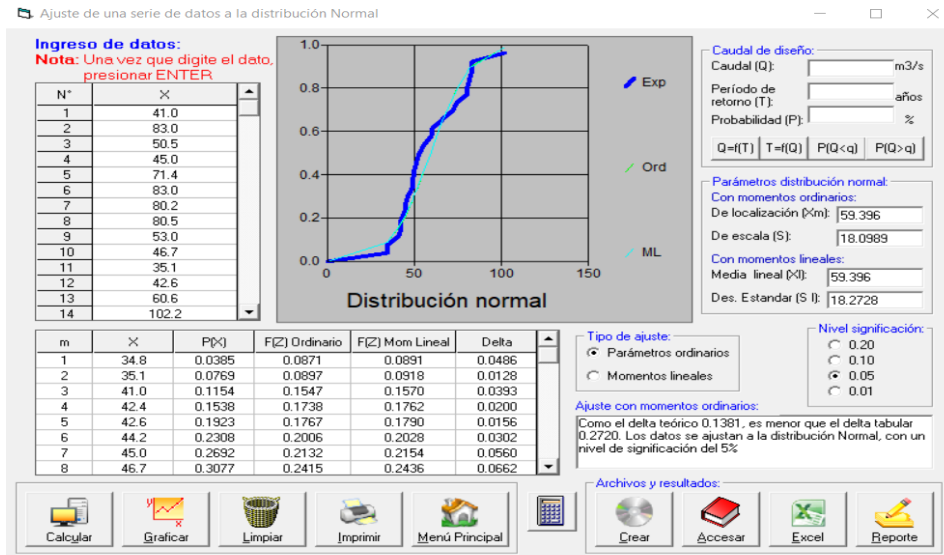
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA



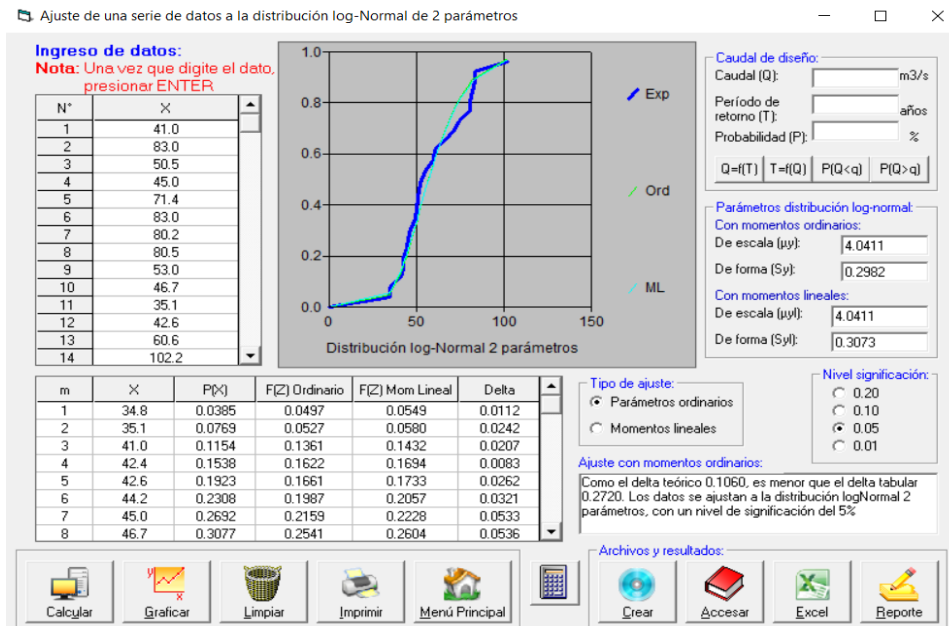
## PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV (HIDROESTA 2)

### a). Prueba de bondad de ajuste Distribución Normal - HDROESTA 2



Como el delta teórico es 0.1381, es menor que el delta tabular 0.2720. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significancia de 5%.

### b). Prueba de bondad de ajuste Distribución LogNormal 2 Parametros HIDROESTA 2.



Como el delta teórico es 0.1060, es menor que el delta tabular 0.2720, Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significancia de 5%.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE  
LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS,  
CARRETERA 3N, CHOTA



### PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

#### a). Prueba de bondad de ajuste KOLMOGOROV-SMIRNOV.

		HIDROESTA 2	
N°	Tiempo de Retorno Tr( años)	Pmax 24Hr (mm) D. Normal	Pmax 24Hr (mm) D. Log. Normal 2P
1	5	74.63	73.12
2	10	82.59	83.37
3	25	91.09	95.9
4	50	96.57	104.97
5	75	99.52	110.19
6	100	101.51	113.86
Delta	$\Delta$ Teórico	0.1381	0.1060
	$\Delta$ Tabular	0.2720	0.2720

Los datos de la estación  
COCHABAMBA, se ajustan a las  
dos distribuciones, el delta  
teórico es menor que el delta  
tabular

Descripción	HIDROESTA 2	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular
Distribución	Normal	0.1381	0.2720
	Log. Normal 2P	0.1060	0.2720

Se elige el menor  $\Delta$   
Teórico

**0.1060**

Se elige la distribución LogNormal 2P, por tener un  $\Delta$  Teórico menor con un nivel de significancia del 5% y una Probabilidad del 95%.

#### b). Elegir el periodo de retorno.

##### RESUMEN P. (mm)/24h

HIDROESTA 2	
T(AÑOS)	LOG NORMAL 2P
5	73.12
10	83.37
25	95.90
<b>50</b>	<b>104.97</b>
75	110.19
100	113.86

##### RESUMEN P. (m)/24h

HIDROESTA 2	
T(AÑOS)	LOG NORMAL 2P
5	0.07
10	0.08
25	0.10
<b>50</b>	<b>0.10</b>
75	0.11
100	0.11

Al procesar las precipitaciones máximas mensuales por el programa Hidroesta, la distribución LogNormal 2P, es la que presenta un mejor ajuste.

Se trabajara con la precipitación de un periodo de retorno de 50 años

T(AÑOS)	P. (mm)/dia	P. (m)/dia
50	104.97	<b>0.10</b>

*Anexo N° 5. Propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cemento al 8%*



"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

# ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*ns*  
Erlin Clavo Kimarachin  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*OK*  
Geremias Kimarachin Kimarachin  
GERENTE GENERAL



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*AK*  
HENRY DAVID CLAVO KIMARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 77267

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442225 EMAIL: info@gselab.com





ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN	: PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA	RESP. DE LAB	: H.C.R
CALICATA	: 01	HECHO POR	: G.R.R
ESTRUCTURA	: EVALUACIÓN DE TALUDES	FECHA	: 10/07/2021
ADICIÓN	: ADICIONANDO 8% DE CEMENTO PORTAL TIPO V	ESTADO	: REMOLDEADA
COORDENADAS	: -		
SOLICITANTE	: ALEX FERNANDEZ IRIGOIN		

Densidad Húmeda gr/cm3	=	2.60	Profundidad de Cimentacion, Df	=	2.50 m
Cohesion del Suelo ,kg/cm2	=	0.177	Ancho de Cimentacion, B, m	=	3.00 m
Angulo de Friccion, f, °	=	30.20			

SEGÚN FORMULA DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI (1943)

Formulas de capacidad de Carga

	Para falla General	Para falla Local
Cimentacion corrida	$q_u = c'N_c + gDN_q + 0.5gBN_g$	$q_u = 2/3 c'N'_c + gDN'_q + 0.5gBN'_g$
Cimentacion cuadrada	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.4gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.4gBN'_g$
Cimentacion circular	$q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.3gBN_g$	$q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.3gBN'_g$

Factores de Capacidad de Carga Factor de Seguridad = 3

	General	Local
Nc =	37.80	19.20
Nq =	23.01	8.45
Ng =	20.80	5.25

Capacidad de Carga

	Falla Local (kg/cm2)	
	$q_u$	$q_{adm}$
Cimentacion corrida	9.06	3.02
Cimentacion cuadrada	9.11	3.04

Observaciones

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*Geremias Rimarachin*  
 REPRESENTANTE GENERAL

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC  
*HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 17267



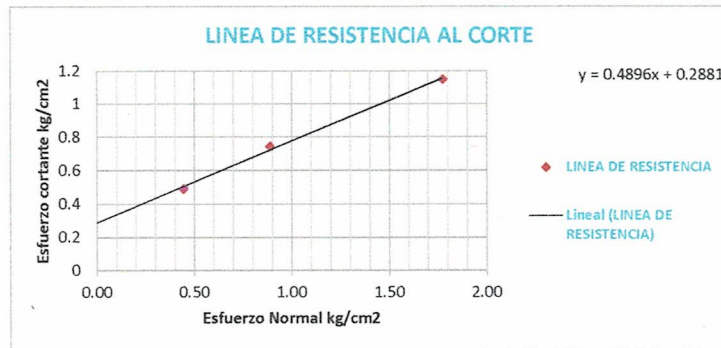
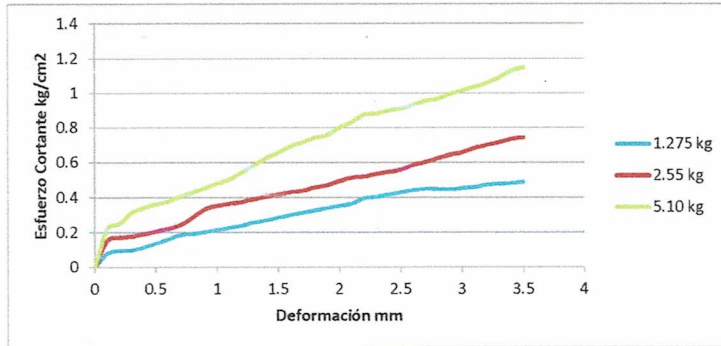
ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN	: PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA	RESP. DE LAB	: H.C.R
CALICATA	: 01	HECHO POR	: G.R.R
ESTRUCTURA	: EVALUACIÓN DE TALUDES	FECHA	: 10/07/2021
ADICIÓN	: ADICIONANDO 8% DE CEMENTO PORTAL TIPO V	ESTADO	: REMOLDEADA
COORDENADAS	: -	VEL. ENSAYO	: 0.5mm/min
SOLICITANTE	: ALEX FERNANEZ IRIGOIN		



Cohesion	=	0.177	kg/cm2
Angulo de Fricción Interna	=	30.2	°



ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
(Norma NTP 339.171)

UBICACIÓN : PEÑA DE LOS LOROS - COCHABAMBA  
 CALICATA : 01  
 ESTRUCTURA : EVALUACIÓN DE TALUDES  
 ADICIÓN : ADICIONANDO 8% DE CEMENTO PORTAL TIPO V  
 COORDENADAS : -  
 SOLICITANTE : ALEX FERNANEZ IRIGOIN

RESP. DE LAB : H.C.R  
 HECHO POR: G.R.R  
 FECHA : 10/07/2021  
 ESTADO : REMOLDEADA

DATOS		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.50		1.00		1.50	
Etapas		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Area	(cm <sup>2</sup> )	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75	28.75
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	2.63	2.58	2.57	2.66	2.61	2.59
Humedad	(%)	8.03	8.48	6.74	9.47	7.06	6.91
Densidad Seca	(g/cm <sup>3</sup> )	2.43	2.37	2.40	2.43	2.44	2.42

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (mm)	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )		Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )	Tangencial (mm)
0.10	0.080	0.180	0.10	0.154	0.173	0.10	0.222	0.125
0.20	0.095	0.214	0.20	0.172	0.194	0.20	0.251	0.142
0.30	0.100	0.225	0.30	0.178	0.201	0.30	0.315	0.177
0.40	0.116	0.262	0.40	0.193	0.218	0.40	0.343	0.193
0.50	0.138	0.311	0.50	0.208	0.235	0.50	0.362	0.204
0.60	0.162	0.365	0.60	0.223	0.252	0.60	0.380	0.214
0.70	0.186	0.420	0.70	0.245	0.276	0.70	0.408	0.230
0.80	0.194	0.437	0.80	0.287	0.324	0.80	0.430	0.243
0.90	0.204	0.459	0.90	0.335	0.378	0.90	0.456	0.257
1.00	0.216	0.487	1.00	0.354	0.399	1.00	0.482	0.272
1.10	0.228	0.515	1.10	0.367	0.413	1.10	0.505	0.285
1.20	0.241	0.543	1.20	0.376	0.424	1.20	0.544	0.307
1.30	0.260	0.587	1.30	0.392	0.442	1.30	0.584	0.329
1.40	0.271	0.610	1.40	0.408	0.460	1.40	0.627	0.353
1.50	0.286	0.644	1.50	0.417	0.471	1.50	0.659	0.371
1.60	0.303	0.683	1.60	0.430	0.485	1.60	0.694	0.391
1.70	0.316	0.712	1.70	0.440	0.496	1.70	0.717	0.404
1.80	0.328	0.740	1.80	0.459	0.517	1.80	0.744	0.419
1.90	0.341	0.769	1.90	0.472	0.532	1.90	0.759	0.428
2.00	0.354	0.798	2.00	0.494	0.557	2.00	0.802	0.452
2.10	0.367	0.827	2.10	0.513	0.579	2.10	0.835	0.471
2.20	0.397	0.894	2.20	0.520	0.586	2.20	0.876	0.494
2.30	0.405	0.912	2.30	0.536	0.605	2.30	0.883	0.498
2.40	0.418	0.942	2.40	0.547	0.616	2.40	0.901	0.508
2.50	0.431	0.971	2.50	0.560	0.631	2.50	0.914	0.515
2.60	0.444	1.000	2.60	0.585	0.660	2.60	0.933	0.526
2.70	0.449	1.013	2.70	0.602	0.678	2.70	0.954	0.538
2.80	0.448	1.009	2.80	0.624	0.704	2.80	0.967	0.545
2.90	0.446	1.005	2.90	0.644	0.726	2.90	0.995	0.561
3.00	0.454	1.024	3.00	0.658	0.741	3.00	1.016	0.573
3.10	0.460	1.037	3.10	0.684	0.771	3.10	1.038	0.585
3.20	0.473	1.067	3.20	0.700	0.789	3.20	1.060	0.598
3.30	0.479	1.080	3.30	0.717	0.808	3.30	1.091	0.615
3.40	0.482	1.087	3.40	0.734	0.827	3.40	1.130	0.637
3.50	0.491	1.106	3.50	0.745	0.839	3.50	1.149	0.648





"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC"  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

# ENSAYOS DE PESO ESPECIFICO

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO




LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Geremias Rimarachin Rimarachin*  
GERENTE GENERAL



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Henry David Clavo Rimarachin*  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP Nº 77267

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
RUC: 20605442235 EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)

	<b>FORMATO</b>	Código	AE-FO-11
	<b>MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO MODIFICADO</b>	Versión	01
		Fecha	10-09-2020
		Página	1 de 1

PROYECTO	: PROYECTO : " EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTO DE TALUDES MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N, CHOTA"		
SOLICITANTE	: ALEX FERNANDEZ IRIGOIN		
ADICIÓN	: ADICIONANDO 8% DE CEMENTO TIPO V		
UBICACIÓN DE PROYECTO	: PEÑA DE LOS LOROS		
ATENCIÓN	: TERRENO NATURAL		
MUESTREO POR :	Solicitante		
ENSAYADO POR :	G.R.R		
FECHA DE ENSAYO :	10/07/2021		
TURNO :	Diurno		
Material	: Propio		
Sondaje	: C-1		
N° de Muestra	: M-1		
Progresiva	: ---		

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA  
ASTM D854**

MÉTODO DE ENSAYO "B"

DATOS		
Número de fiola	A	
Masa de suelo seco	110.00	
Masa de fiola + agua destilada	652.00	
Masa de fiola + agua destilada + suelo	719.67	
Temperatura del agua	23.8	
Coefficiente de corrección a 20°C (K)	0.99914	
Peso específico de sólidos	2.60	
Gravedad específica de los sólidos	2.60	2.60

OBSERVACIONES:

- \* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCION

EQUIPO UTILIZADO			
EQUIPO	CÓDIGO	F. CALIBRACIÓN	N° CERT. CALIBRACIÓN
Balanza digital Ohaus 6000g x 0.1g	GSE-132	10/07/2021	CDR-A18-329
Balanza digital Ohaus 15000g x 1g	GSE-138	10/07/2021	CDR-A18-330
Balanza digital Sartorius 2500g x 0.01g	GSE-139	10/07/2021	CDR-A18-342
Horno digital Termocup 196L D° a 300°C	GSE-098	10/07/2021	CDR-A18-343

**GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC**

<p>TECNICO LEM</p> <p>D: _____</p> <p>M: _____</p> <p>A: _____</p> <p>Nombre y firma: </p> <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b></p> <p style="text-align: center;">Erlin Clavo Rimarachin</p> <p style="text-align: center;">LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</p>	<p>JEFE LEM</p> <p>D: _____</p> <p>M: _____</p> <p>A: _____</p> <p>Nombre y firma: </p> <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b></p> <p style="text-align: center;">Geremias Rimarachin</p> <p style="text-align: center;">GERENTE GENERAL</p>	<p>CCC - LEM</p> <p>D: _____</p> <p>M: _____</p> <p>A: _____</p> <p>Nombre y firma: </p> <p style="text-align: center;"><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b></p> <p style="text-align: center;">HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN</p> <p style="text-align: center;">INGENIERO CIVIL</p> <p style="text-align: center;">Reg. CIVIL 77267</p>
---	--	--

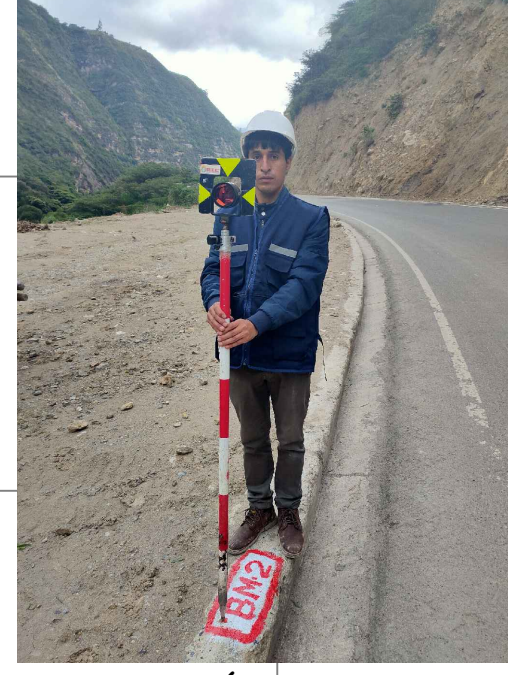
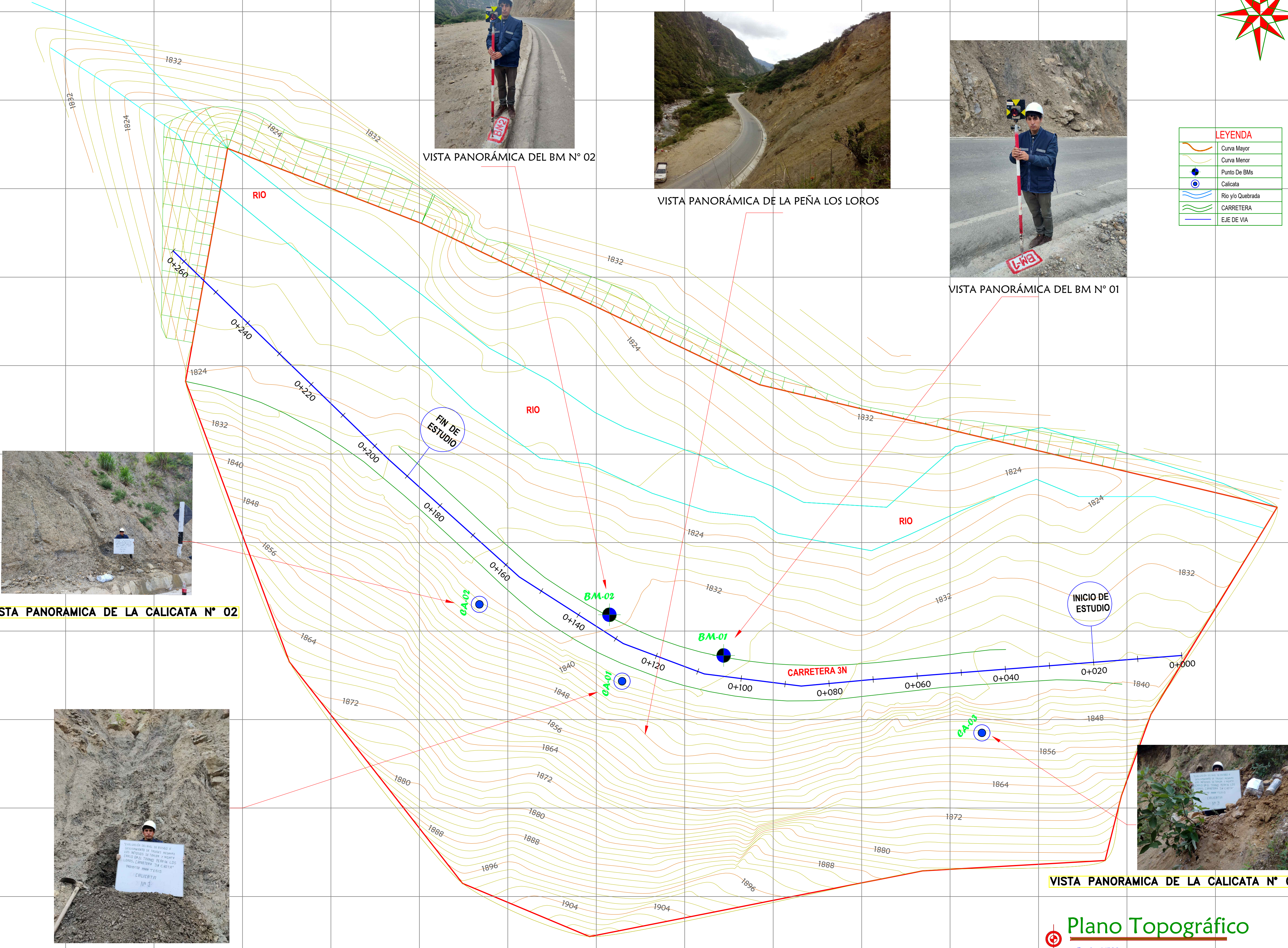
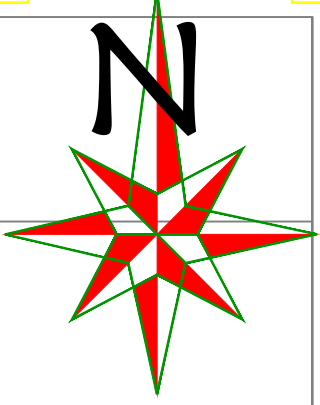


*Anexo N° 6. Planos*



E 739,824 E 739,844 E 739,864 E 739,884 E 739,904 E 739,924 E 739,944 E 739,964 E 739,984 E 740,004 E 740,024 E 740,044 E 740,064 E 740,084 E 740,104 E 740,124

N 9'281,506  
N 9'281,486  
N 9'281,466  
N 9'281,446  
N 9'281,426  
N 9'281,406  
N 9'281,386  
N 9'281,366  
N 9'281,346  
N 9'281,326  
N 9'281,306



VISTA PANORÁMICA DEL BM N° 02



VISTA PANORÁMICA DE LA PEÑA LOS LOROS



VISTA PANORÁMICA DEL BM N° 01



VISTA PANORÁMICA DE LA CALICATA N° 02



VISTA PANORÁMICA DE LA CALICATA N° 01



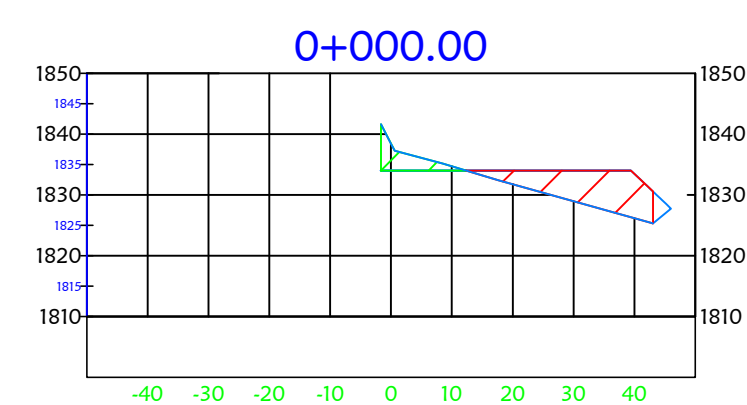
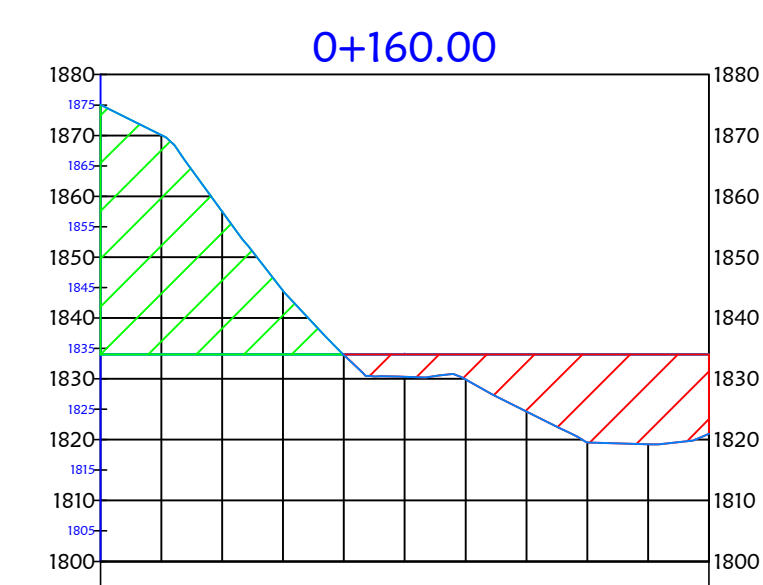
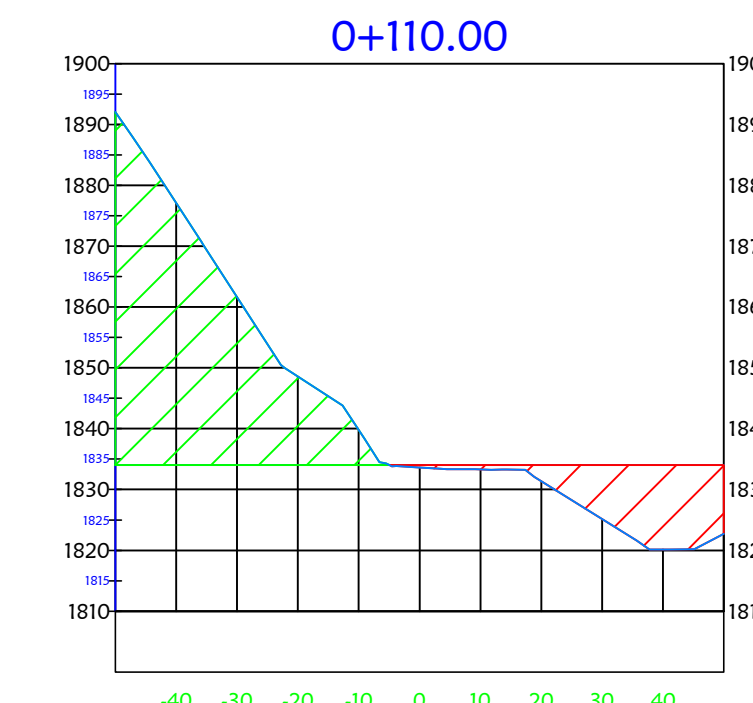
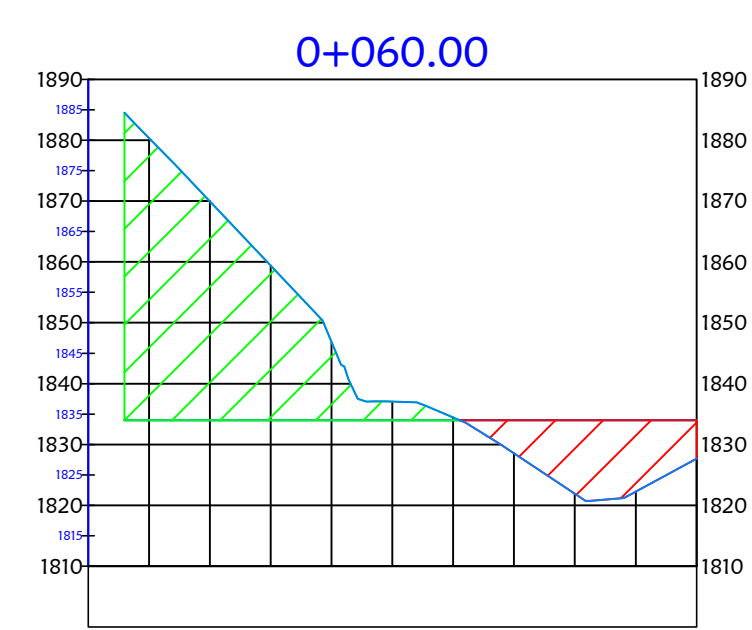
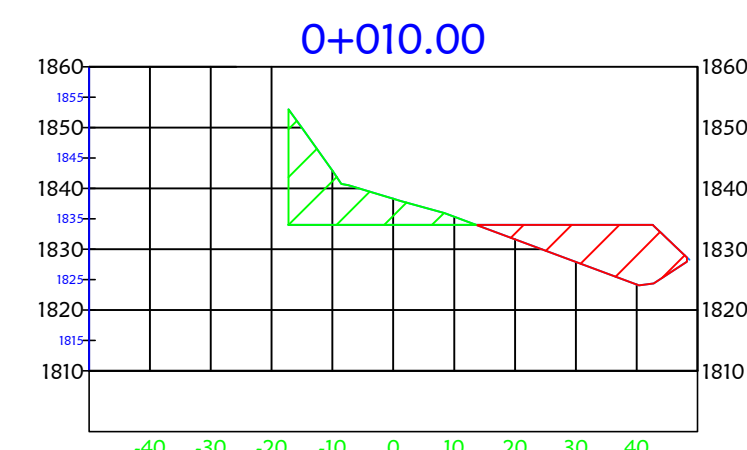
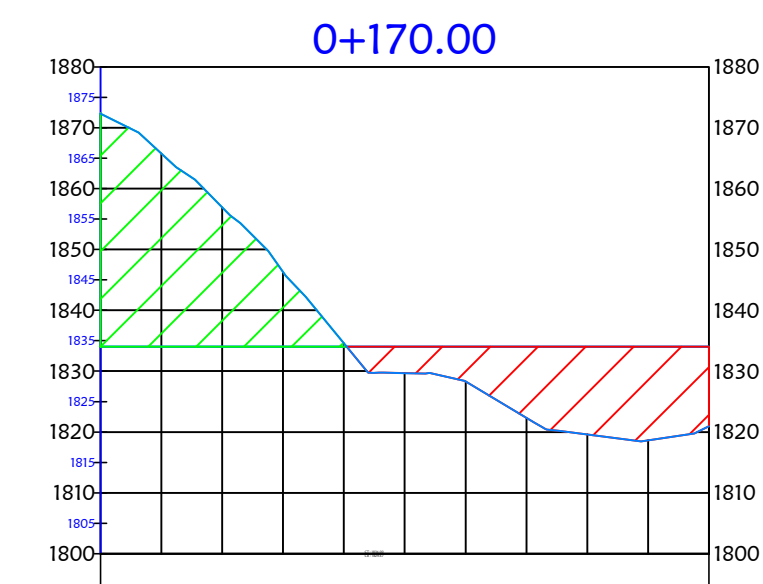
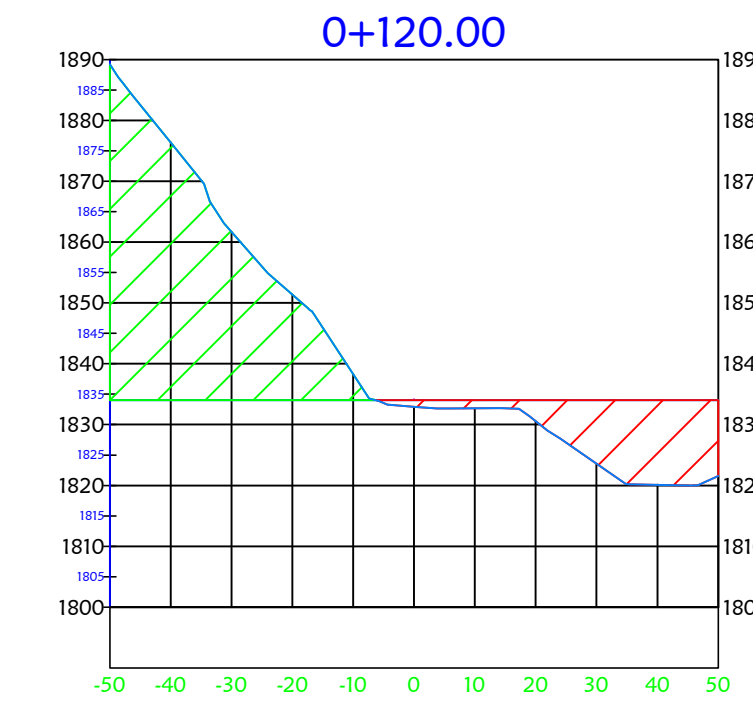
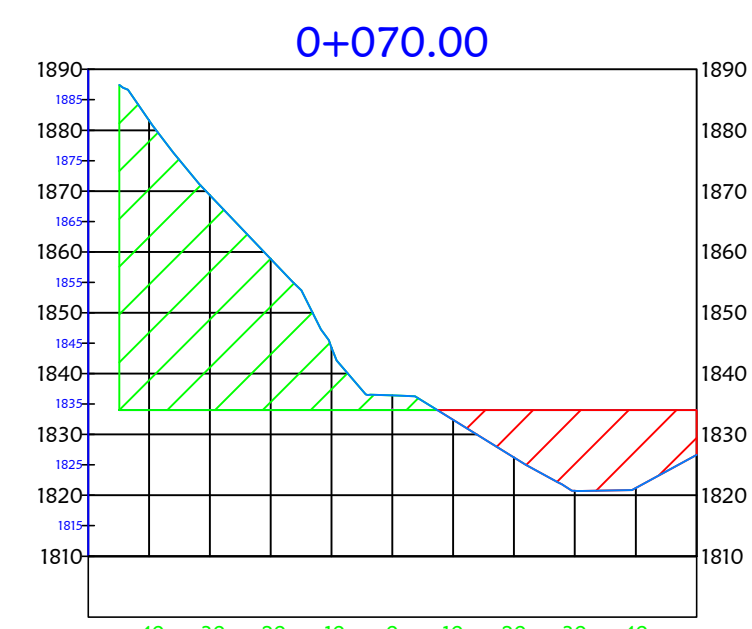
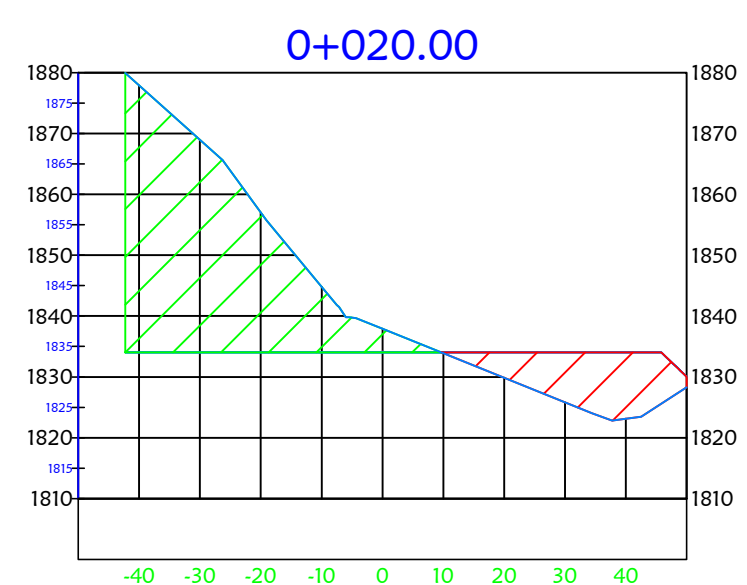
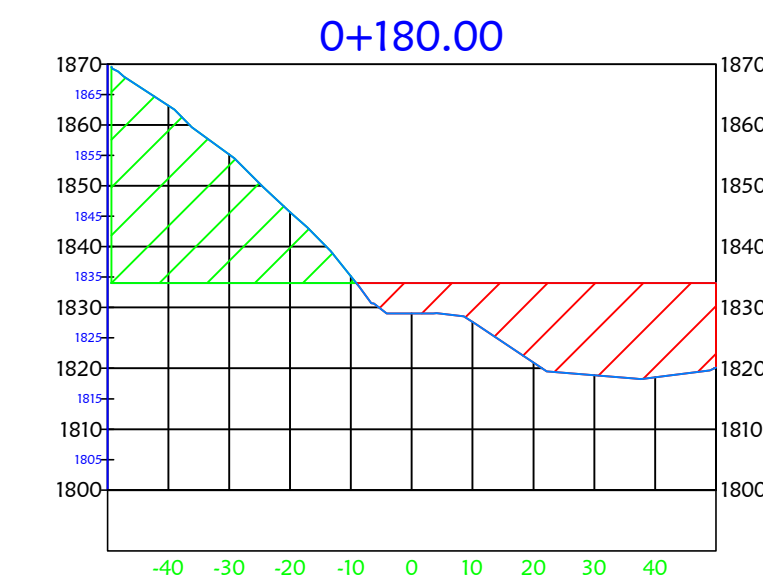
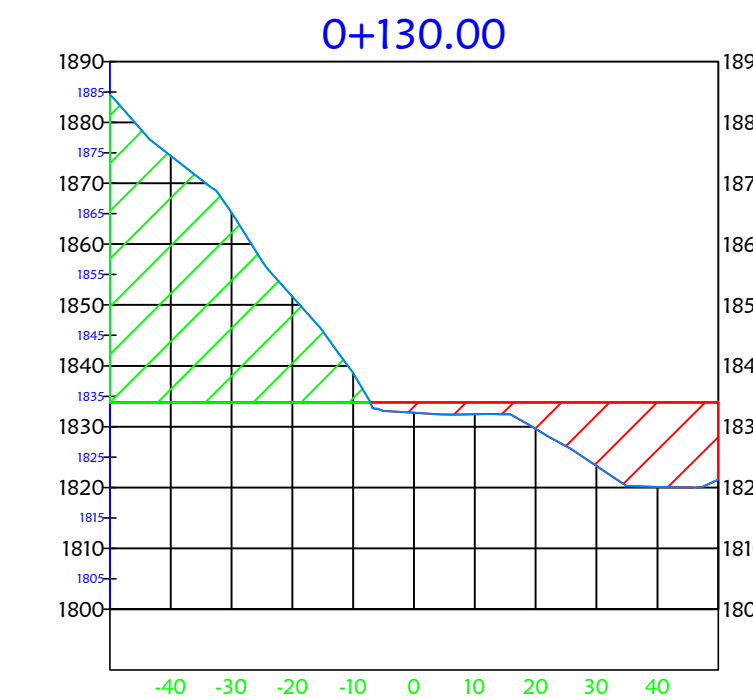
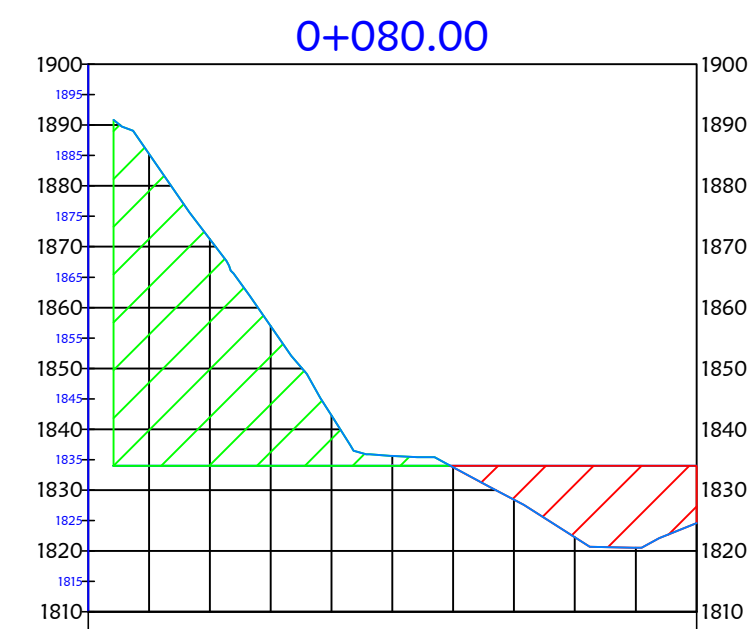
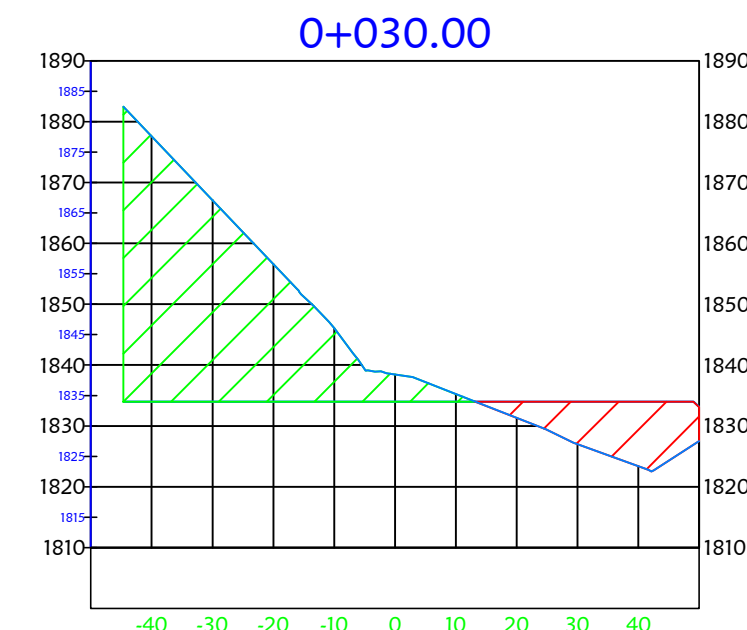
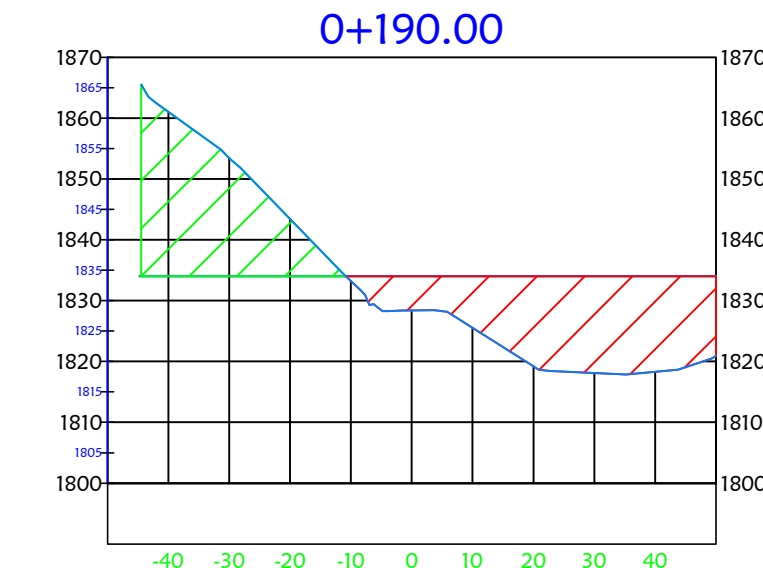
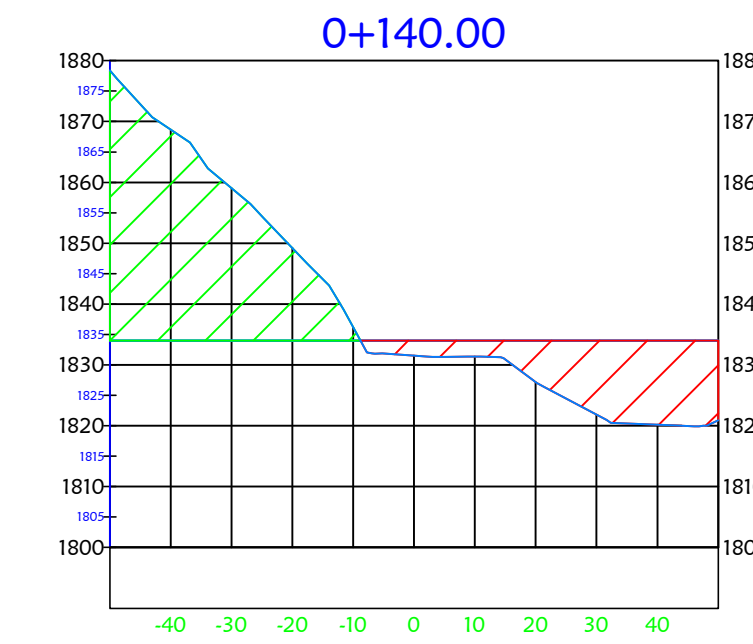
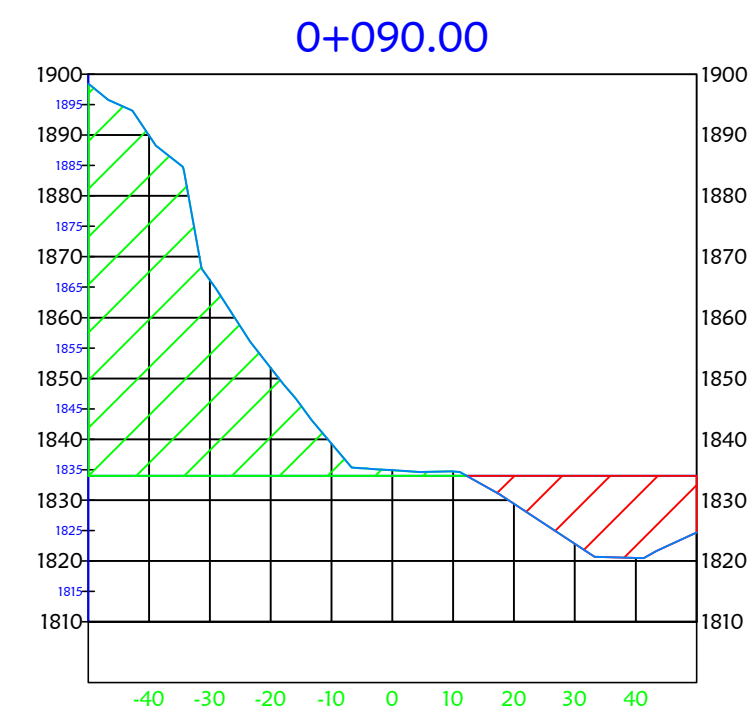
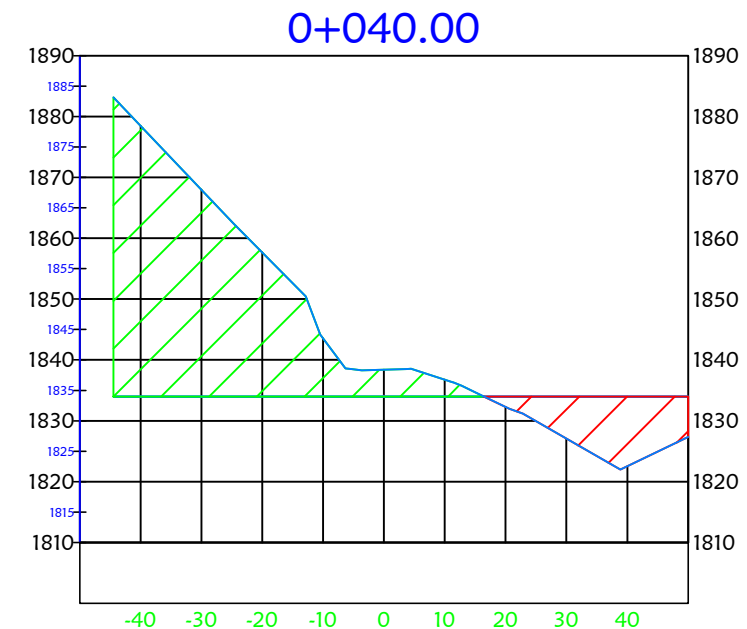
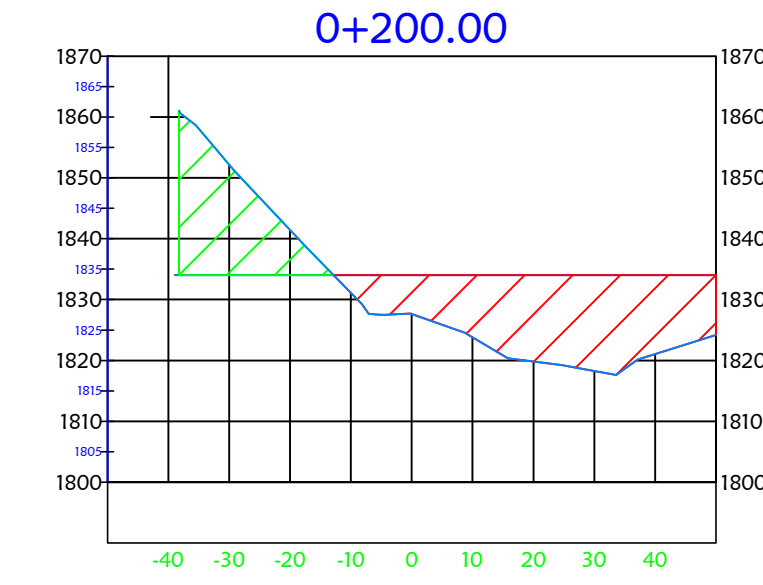
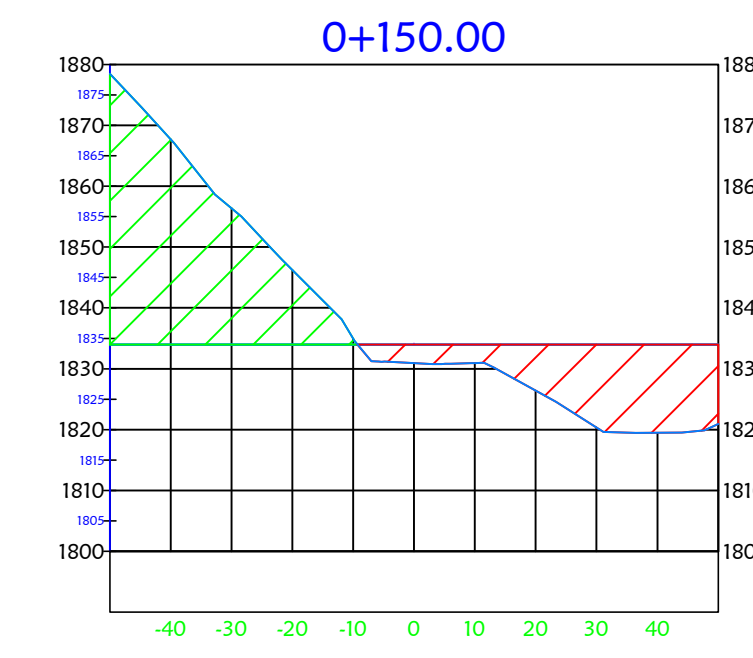
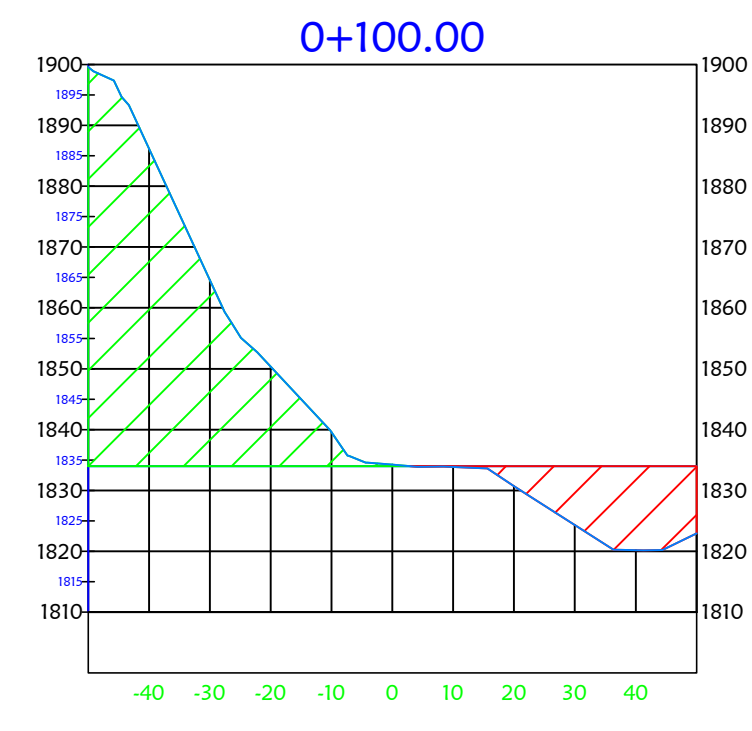
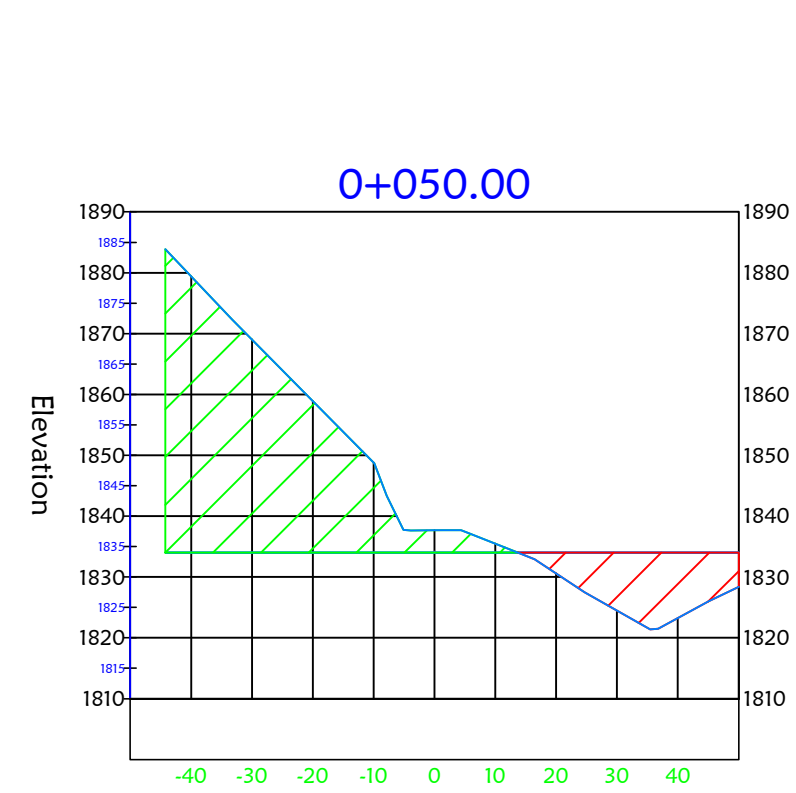
VISTA PANORÁMICA DE LA CALICATA N° 03

LEYENDA	
	Curva Mayor
	Curva Menor
	Punto De BMs
	Calicata
	Rio y/o Quebrada
	CARRETERA
	EJE DE VIA

N 9'281,486  
N 9'281,466  
N 9'281,446  
N 9'281,426  
N 9'281,406  
N 9'281,386  
N 9'281,366  
N 9'281,346  
N 9'281,326  
N 9'281,306

**Plano Topográfico**  
Escala: 1/500





Secciones Transversales  
Escala: 1/500



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO A DESLIZAMIENTOS DE TALUDES  
MEDIANTE LOS MÉTODOS DE TAYLOR Y MONTE  
CARLO EN EL TRAMO PEÑA DE LOS LOROS, CARRETERA 3N CHOTA"

REGIÓN:  
CAJAMARCA

PROVINCIA:  
CHOTA

DISTRITO:  
CHOTA

SECCIONES TRANSVERSALES

"PEÑA DE LOS LOROS"  
CHOTA - CAJAMARCA - PERÚ

REVISADO POR:

DR. ING. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ

DISEÑO:

BACH.ING. ALEX FERNÁNDEZ IRIGOÍN

ESCALA:  
1/500

FECHA:  
JULIO 2021

CÓDIGO:

PT - 01