



CONGRESO NACIONAL  
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

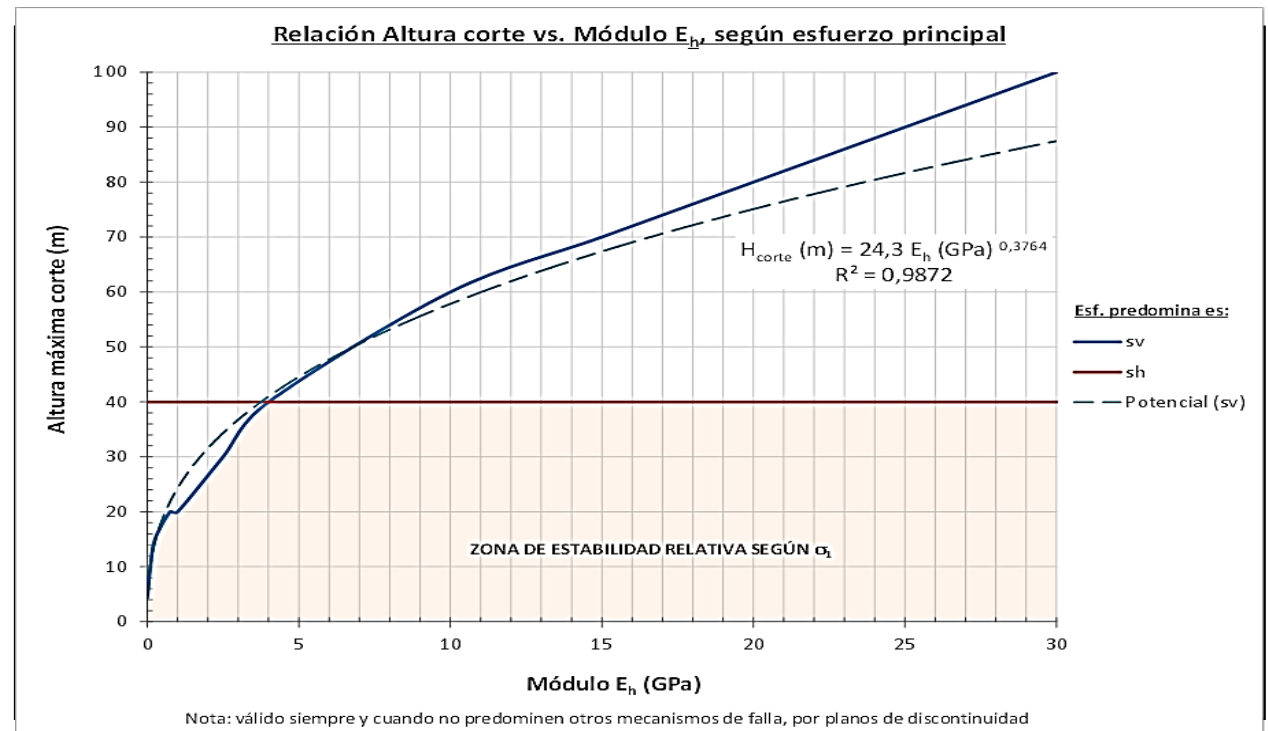
# Las decisiones de Ingeniería deben ser tomadas técnicamente por ingenieros

Dr.-Ing. Mario Camilo Torres Suárez

Ing. Rafael Fonseca

Ing. Guillermo González

**Sociedad Colombiana  
de Ingenieros**



# FLUJOGRAMA DE APLICACIÓN DEL PROCESO DE EVALUACIÓN GEOTÉCNICA



## ELEMENTOS GENERALES INCLUIDOS EN LA EVALUACIÓN

ASPECTOS GENERALES A EVALUAR: UGS; Fallas, Régimen tectónico, Litologías dominantes, Cortes geológicos, GSI

RELACIONES TEÓRICAS ENTRE: GSI y  $E_s$ ,  $E_b$  y  $\sigma_c^m$  con esfuerzos,  $E_s$  y altura cortes,  $E_b$  y exc. profundas

SUPERPOSICIÓN DE LA RUTA SOBRE LA TOPOGRAFÍA DISPONIBLE: Planta y Alzado, identificación de zonas de corte y relleno

SUPERPOSICIÓN DE LA RUTA SOBRE LA GEOLOGÍA DISPONIBLE: tramos por UGS, cruce de fallas, cortes geológicos, etc.

SECTORIZACIÓN DEL CORREDOR VIAL: mediante UGS, longitudes y porcentajes de cada tramo respecto del total

ASIGNACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA: por sectores y tipos de terrenos; mínimo GSI

ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES  $\sigma / \epsilon$ : resistencia índice ( $\sigma_c$ ) y módulo de deformación ( $E_s$ )

## ELEMENTOS PARTICULARES INCLUIDOS EN LA EVALUACIÓN

## ELEMENTOS COMPARATIVOS INCLUIDOS EN LA EVALUACIÓN

CALIFICACIÓN DE EVENTOS SEGÚN MATRIZ DE PELIGROS: de acuerdo con la naturaleza de los fenómenos que pueden presentarse

SEVERIDAD DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN CORTES ABIERTOS: según clasificación geomecánica de macizos

SEVERIDAD DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN TÚNELES: según clasificación geomecánica de tipos de terrenos

VALORACIÓN DE RIESGOS MEDIANTE COSTOS ÍNDICE: de conformidad con la base presupuestal del Estudio

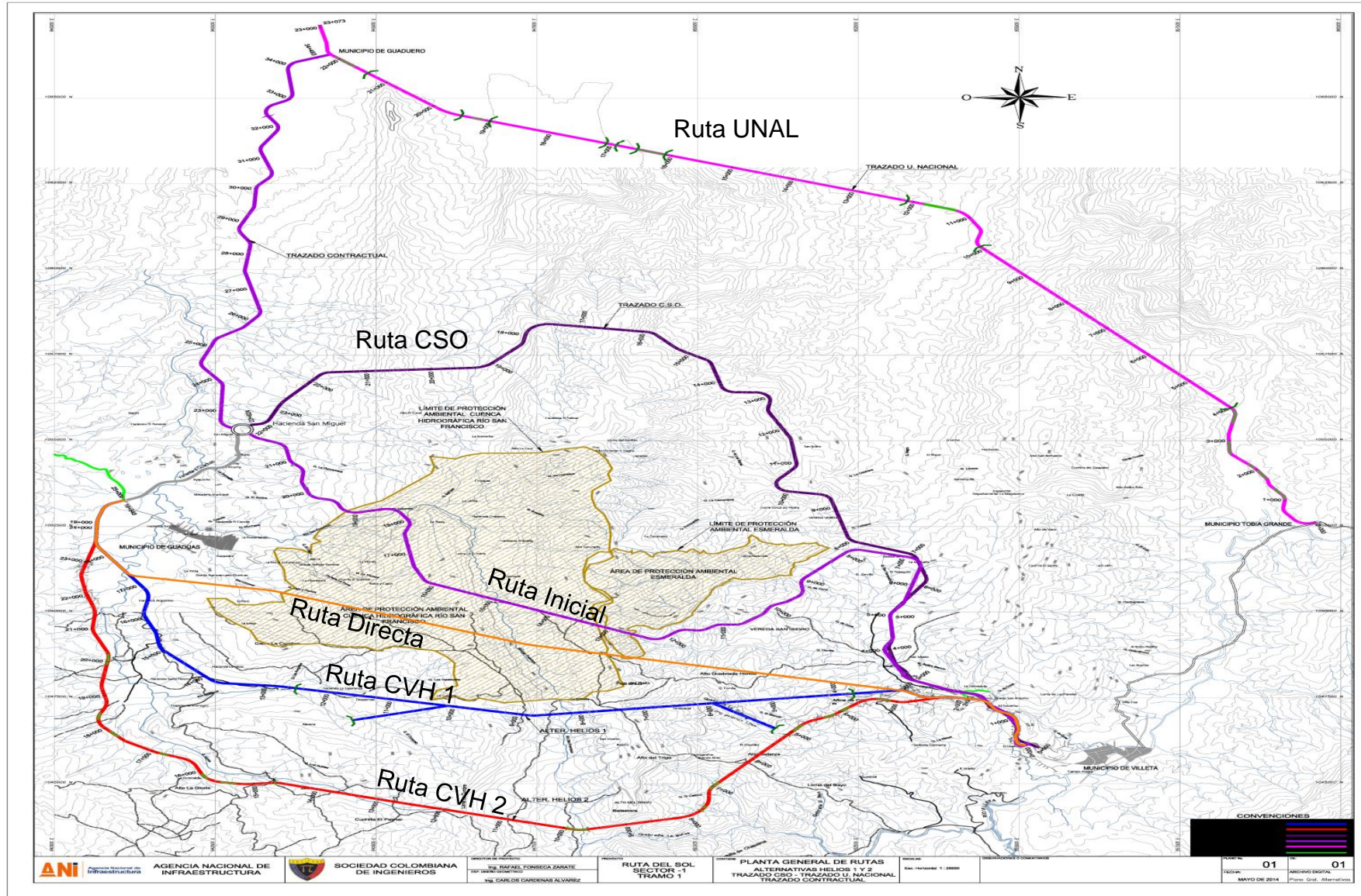
ESCENARIOS DE EVALUACIÓN: ANTES (susceptibilidad actual) – DURANTE (construcción) – DESPUÉS (operación) → f (INFORMACIÓN)

CONGRESO NACIONAL DE INGENIEROS DE BARRANQUILLA  
RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA



BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

# SUPERPOSICIÓN DE LAS RUTAS SOBRE LA TOPOGRAFÍA





Agencia Nacional de Infraestructura

# SUPERPOSICIÓN DE LAS RUTAS SOBRE LA GEOLOGÍA



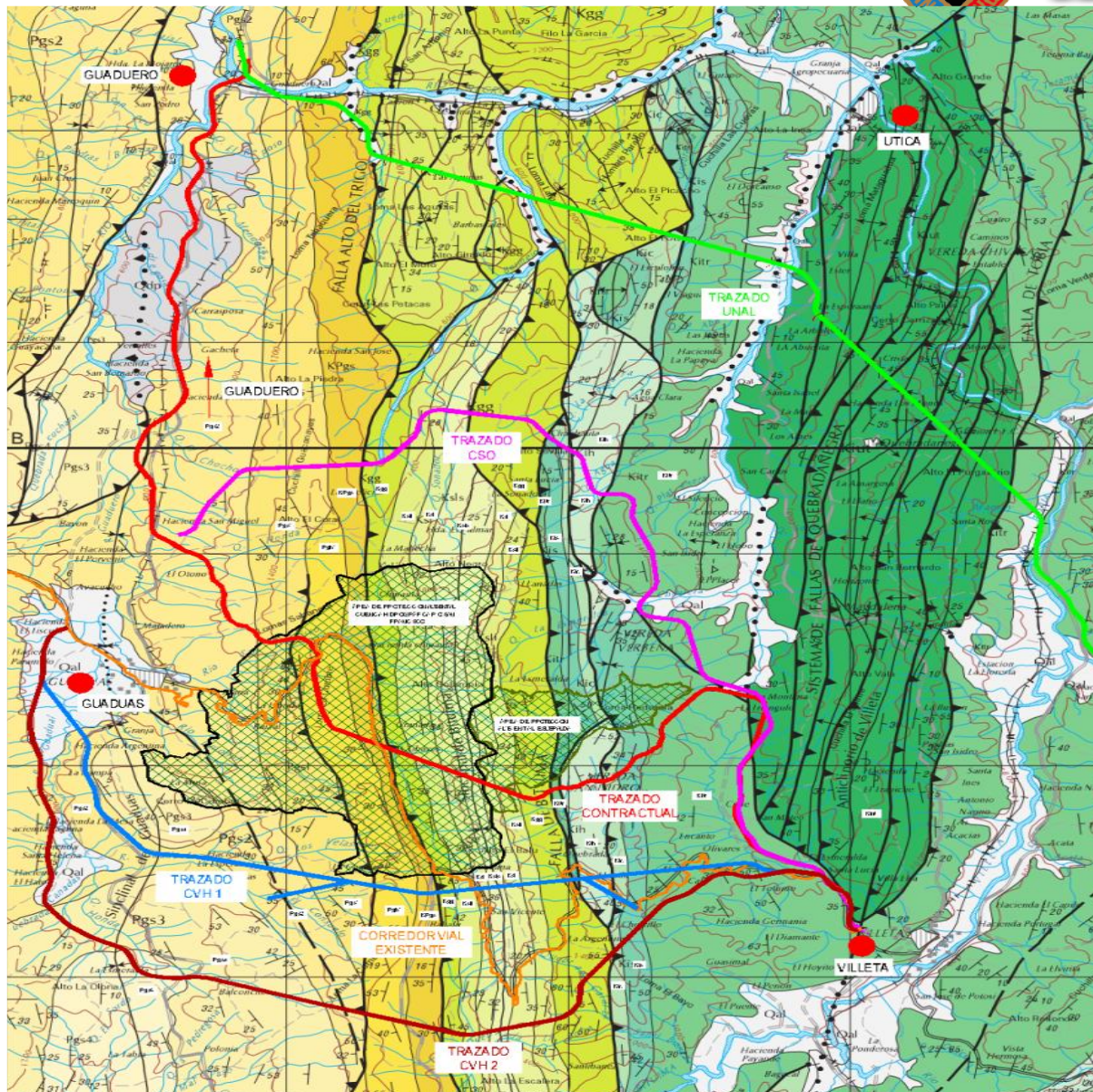
CONGRESO NACIONAL DE INGENIEROS



RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

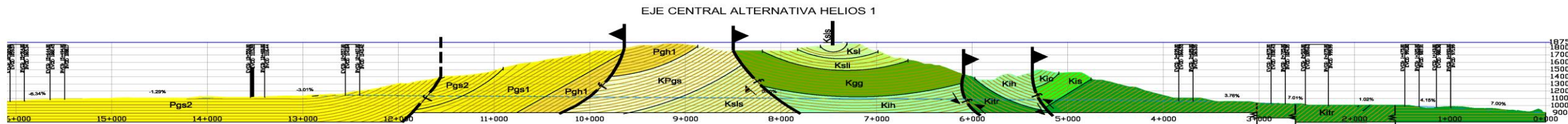
BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

Planta General  
Esc. 1:25mil

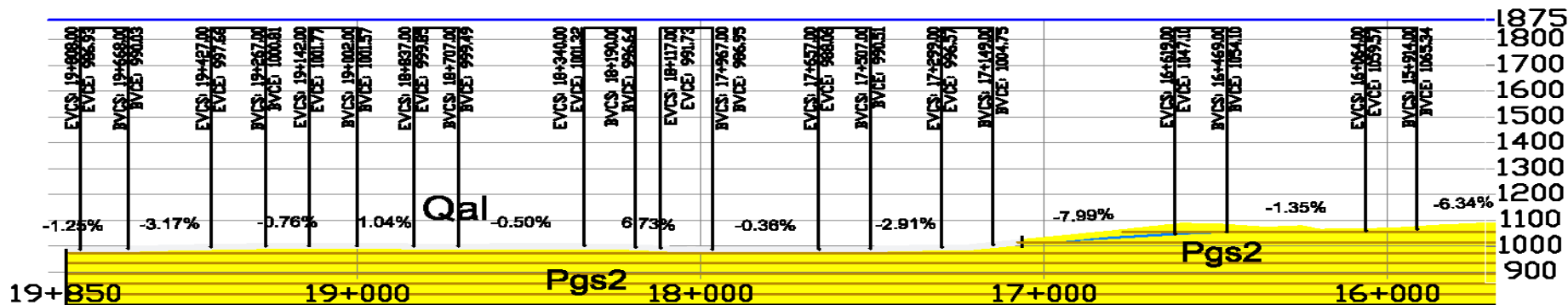


# SUPERPOSICIÓN DE LAS RUTAS SOBRE LA GEOLOGÍA

## Perfil geológico Ruta CVH 1



## EJE CENTRAL ALTERNATIVA HELIOS 1

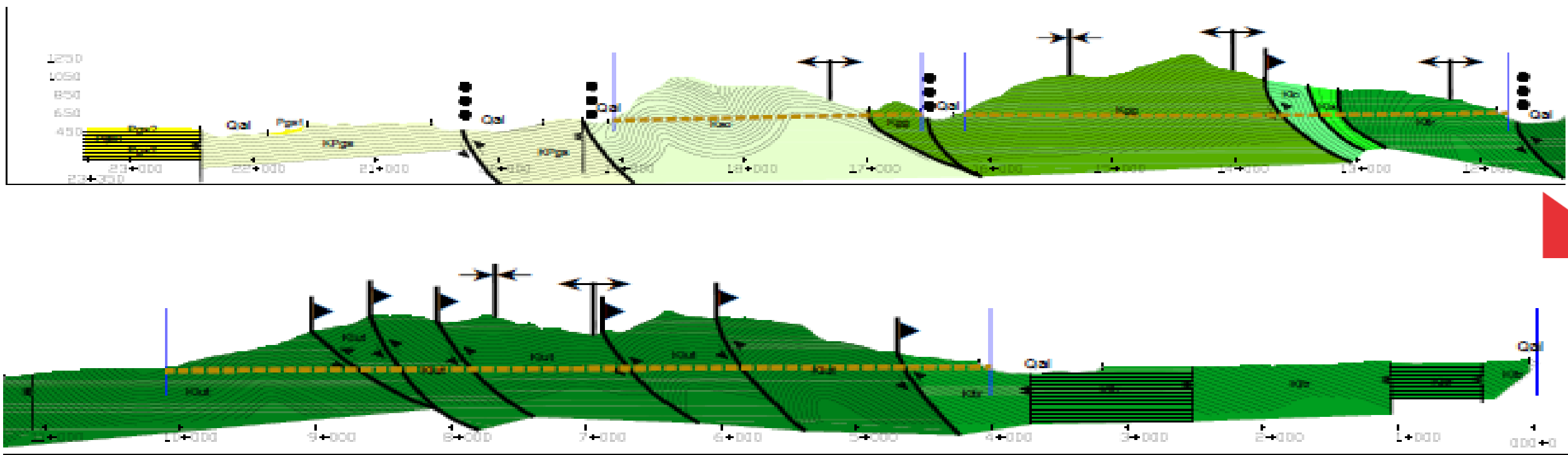






# SUPERPOSICIÓN DE LAS RUTAS SOBRE LA GEOLOGÍA

## Perfil geológico Ruta UNAL



# ASIGNACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMÉCANICA

Para la evaluación de cada una de las rutas se estimaran los siguientes características y propiedades.

1. Índice Geológico de Resistencia GSI
2. Tipo de terreno, asumiendo  $RMR = GSI$

Clasificación según RMR					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

3. Estimación de Módulo de deformación [Hoek&Diederichs, 2006]

$$E_{rm}(\text{MPa}) = 100,000 \left( \frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

4. Resistencia a la compresión de la roca (referencia)  
[Hoek, 2001]

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}$$

$$\therefore \sigma_{ci} = 100 * \left(\frac{E_m}{10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}}\right)^{1/2}$$

5. Estimación de la velocidad de onda de compresión  $V_p$  (m/s) [MCTS, 2005]

$$E_o = 4 * 10^{-18} V_p^{4.9}$$

$$\therefore V_p = \left(\frac{E_o}{4 * 10^{-18}}\right)^{1/4.9}$$

Sabiendo que:

$$0.55 * E_o < E_m < 0.65 * E_o$$

Adoptado:

$$E_m = 0.60 * E_o$$

Factor de reducción de la velocidad de onda en laboratorio a la velocidad de onda en campo

$f = 0.45 \rightarrow$  Para formaciones de rocas lodosas o predominio de estas

$f = 0.70 \rightarrow$  Para otras formaciones

[MCTS, 2011]

## 6. Estimación de la resistencia a la compresión $\sigma_c$ (MPa) [MCTS, 2005]

$$\sigma_c = 3.7681e^{0.0006V_p}$$

Factor de reducción de la resistencia a la compresión simple del material rocoso a la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso

$f = 0.40$  → Para formaciones de rocas lodosas o predominio de estas

$f = 0.60$  → Para otras formaciones [MCTS, 2011]

## 7. Clasificación de las rocas [ISRM, 1981]

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1			Suelos	
1 - 5	Muy blanda	Blanda > 1.25		
5 - 12.5	Blanda	Moderadamente blanda	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
12.5 - 25				
25 - 50	Moderadamente dura	Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra.
50 - 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100 - 200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, areniscas muy cementada, caliza, dolomía.
> 200				
> 250	Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.

Nota: La evaluación de cada una de las alternativas se presenta en el archivo de Excel adjunto al documento oficial. Se presenta un ejemplo.

# CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD ACTUAL SIN PROYECTO

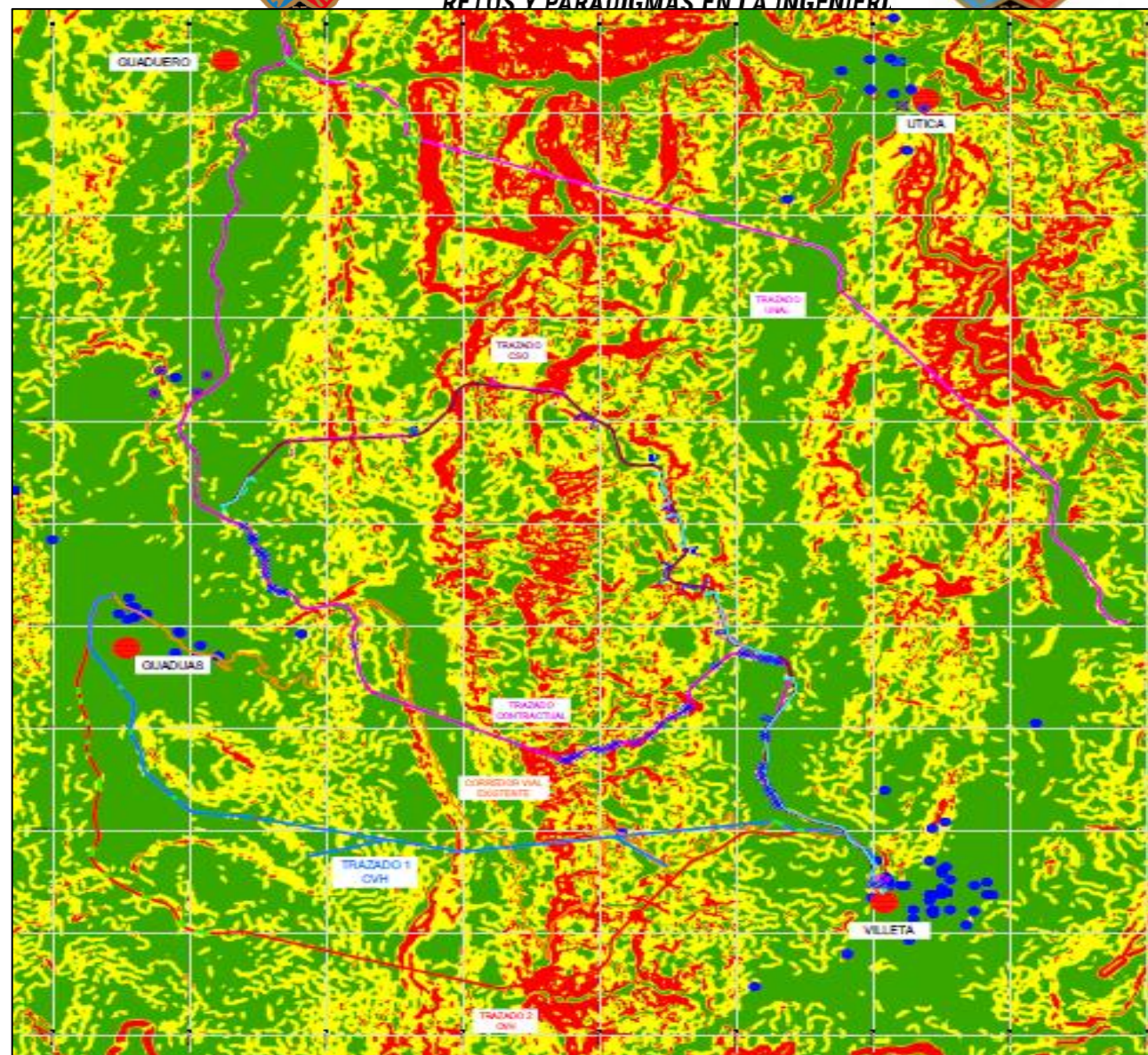
## Clasificación

Clasificación	Pendiente (ángulo de inclinación)
Muy Baja	0 a 15% (0° a 8.5°)
Baja	15 a 30% (8.5° a 16.7°)
Media	30 a 50% (16.7° a 26.6°)
Alta	50 a 100% (26.6° a 45°)
Muy Alta	> a 100% (más de 45°)

Fuente: Deslizamientos. Volumen I. Suarez, J. (1ª Edición, 2009)

## Susceptibilidad

Susceptibilidad	Criterio Pendiente (%)
Baja	0 - 30
Media	30 - 60
Alta	> 60



Univariado por pendiente del terreno

# CÁLCULO DE SUSCEPTIBILIDAD CON PROYECTO

Cálculo de susceptibilidad con proyecto	Puntaje
Litología	15
Inclinación de talud de corte (1H:4V)	25
Pendiente de ladera natural	15
Relación estratificación/corte	20
Altura del corte	25

## Ruta 1 CVH

### Cálculo de susceptibilidad

Susceptibilidad	Longitud (m)
Muy Baja (MB)	1580
Baja (B)	900
Media (M)	4100
Alta (A)	3840
Muy Alta (MA)	280

Sub-total: 10700 m

### Cálculo de volumen

Volumen total = 238.461 m<sup>3</sup>

Multi-variado por litología, inclinación talud, pendiente ladera, altura corte y estra./corte

## Ruta 2 CVH

### Cálculo de susceptibilidad

Susceptibilidad	Longitud (m)
Muy Baja (MB)	2480
Baja (B)	3280
Media (M)	2420
Alta (A)	7920
Muy Alta (MA)	620

Sub-total: 16720 m

### Cálculo de volumen

Volumen total = 415.996 m<sup>3</sup>

Multi-variado por litología, inclinación talud, pendiente ladera, altura corte y estra./corte

## Ruta CSO

### Cálculo de susceptibilidad

Susceptibilidad	Longitud (m)
Muy Baja (MB)	1240
Baja (B)	5760
Media (M)	600
Alta (A)	9880
Muy Alta (MA)	1780

Sub-total: 19260 m

### Cálculo de volumen

Volumen total = 697.104 m<sup>3</sup>

Multi-variado por litología, inclinación talud, pendiente ladera, altura corte y estra./corte

## Ruta UNAL

### Cálculo de susceptibilidad

Susceptibilidad	Longitud (m)
Muy Baja (MB)	1280
Baja (B)	1240
Media (M)	260
Alta (A)	6320
Muy Alta (MA)	740

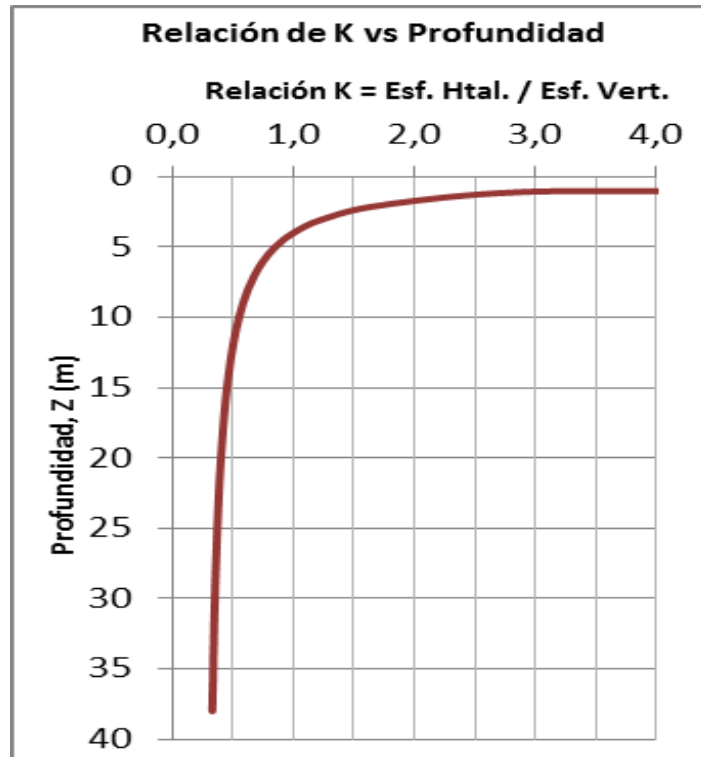
Sub-total: 9840 m

### Cálculo de volumen

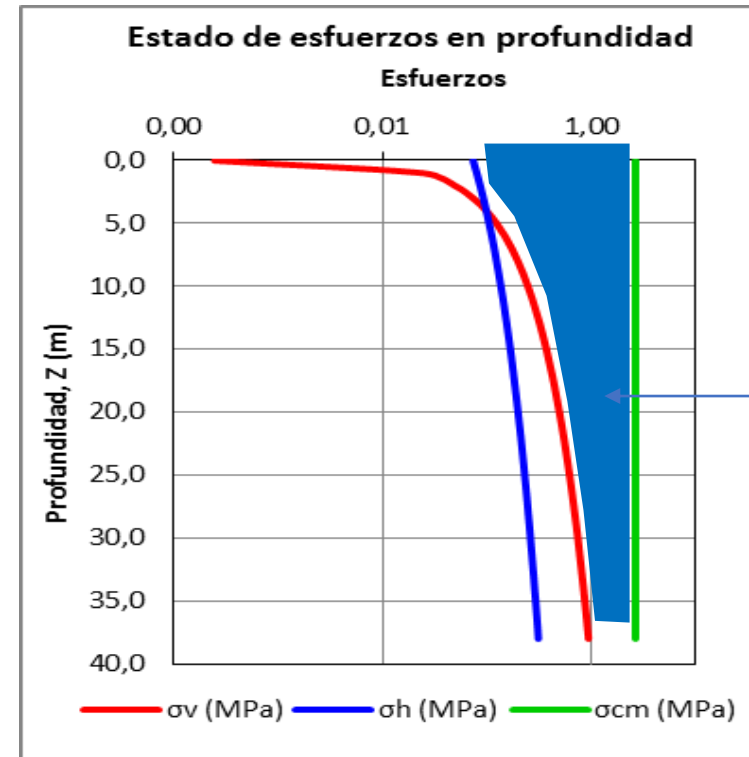
Volumen total = 395.788 m<sup>3</sup>

Multi-variado por litología, inclinación talud, pendiente ladera, altura corte y estra./corte

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO



Relación de esfuerzos Htal. / Vcal. (k) para un sector de una ruta de análisis



Esfuerzos vertical, horizontal y resistencia del macizo rocoso. Mismo sector

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO

$$FS_{C-D} = \frac{\sum Dif. actual}{\sum Dif. obras}$$

Susceptibilidad por resistencia (escenario durante construcción)	Factor de Seguridad
Baja	$\geq 2.0$
Media	1.6 – 2.0
Alta	$\leq 1.6$

$$FS_{H-S} = \frac{\sum Dif. actual}{\sum Dif. operación}$$

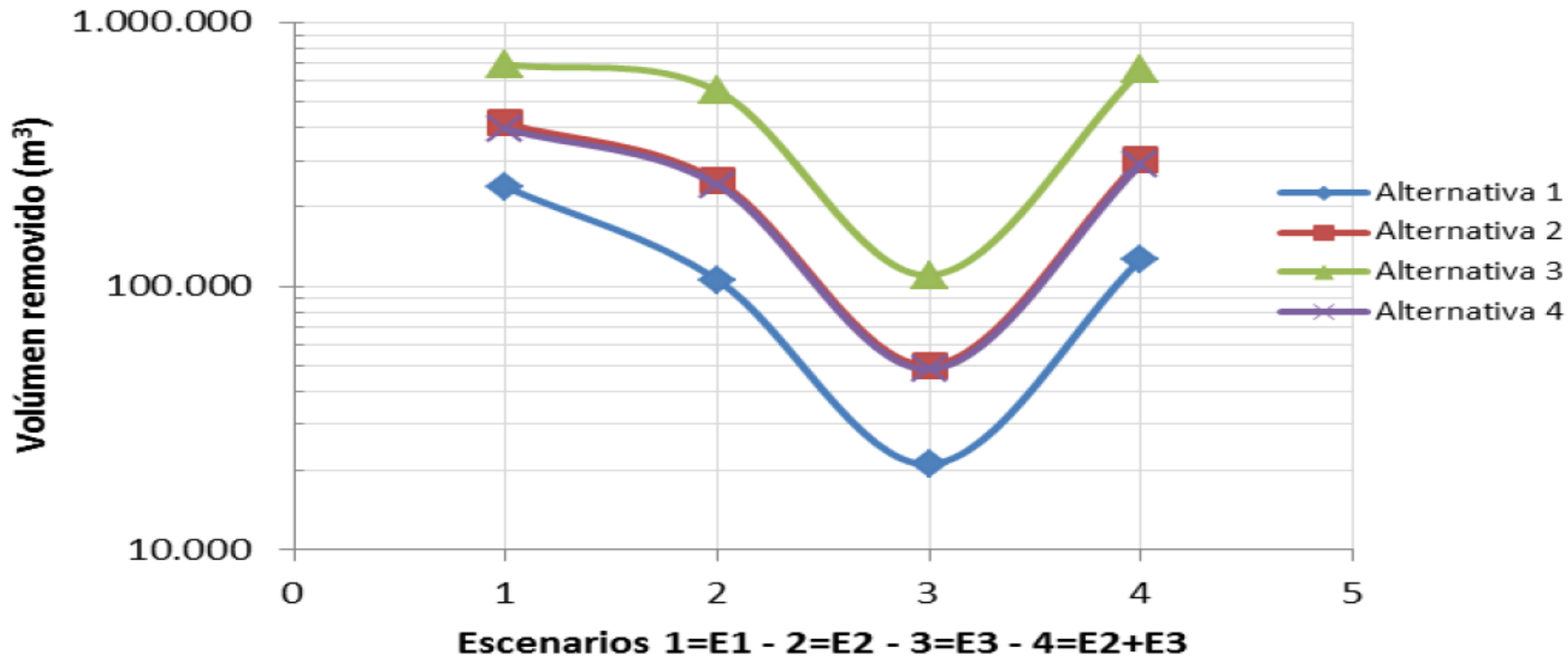
Susceptibilidad por resistencia (escenario durante operación)	Factor de Seguridad
Baja	$\geq 1.6$
Media	1.3 – 1.6
Alta	$\leq 1.3$

$$V_d = H_{corte} * 1.03 * 20 m (L_{tramo}) * E_{sf}$$

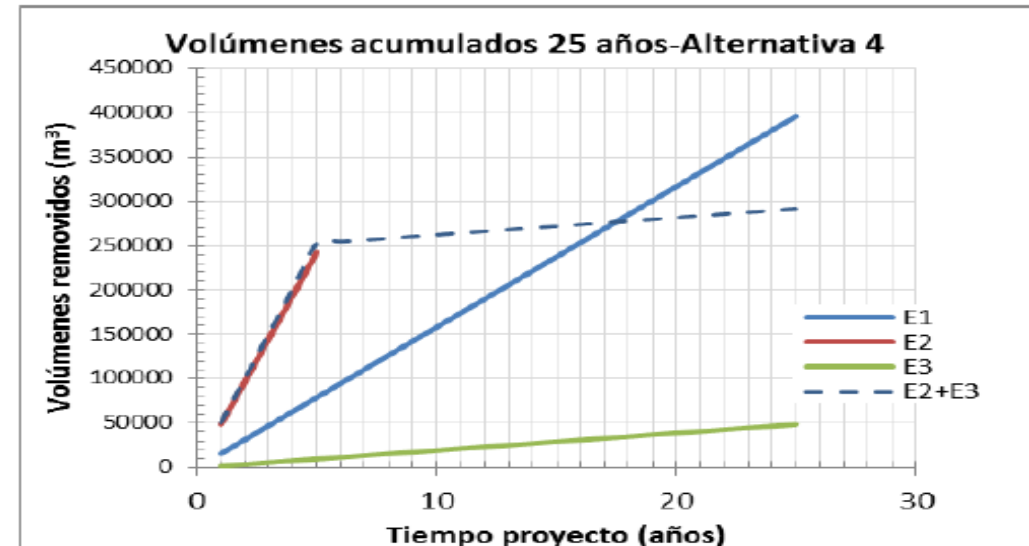
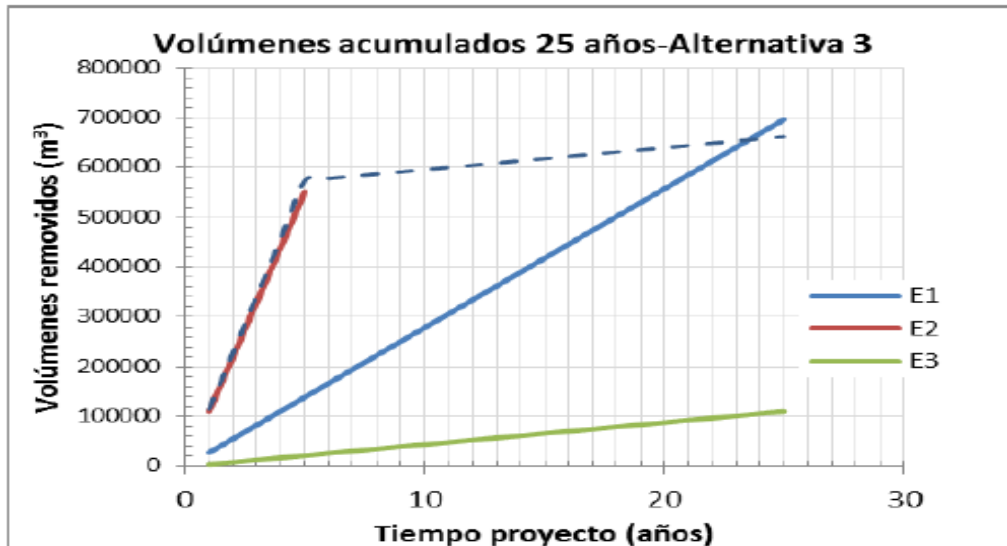
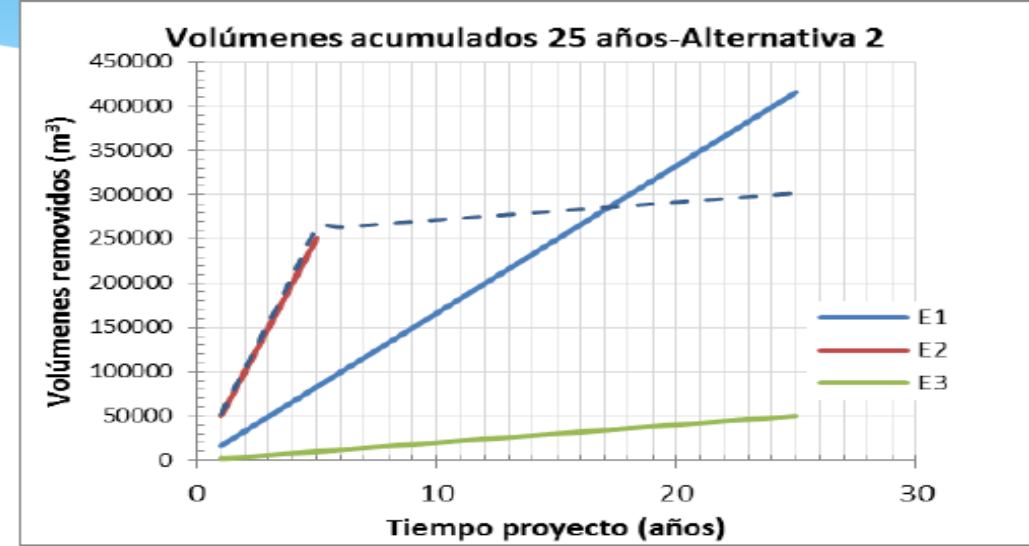
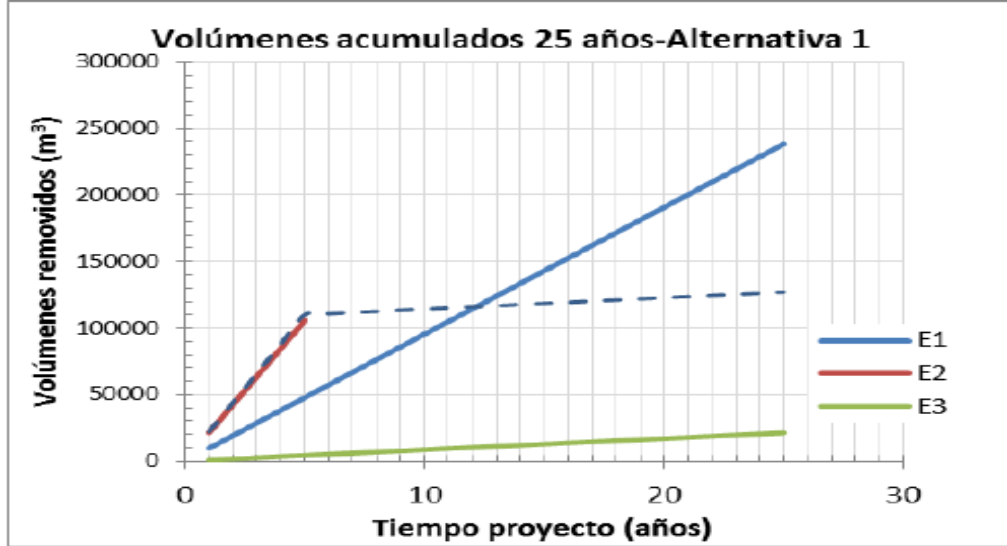


# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO

## Volúmen removido por escenario de análisis



# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO



# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO

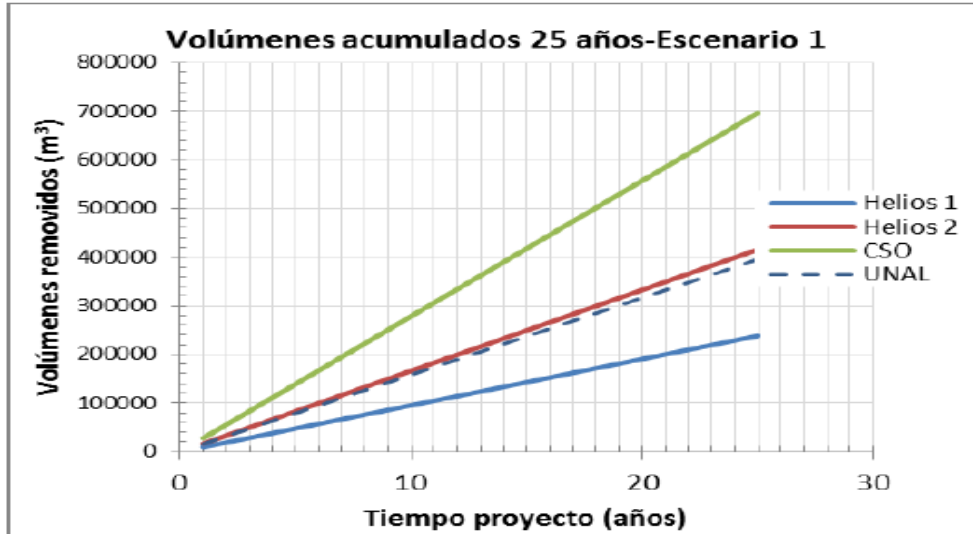


Figura 51. Volúmenes acumulados según Escenario 1

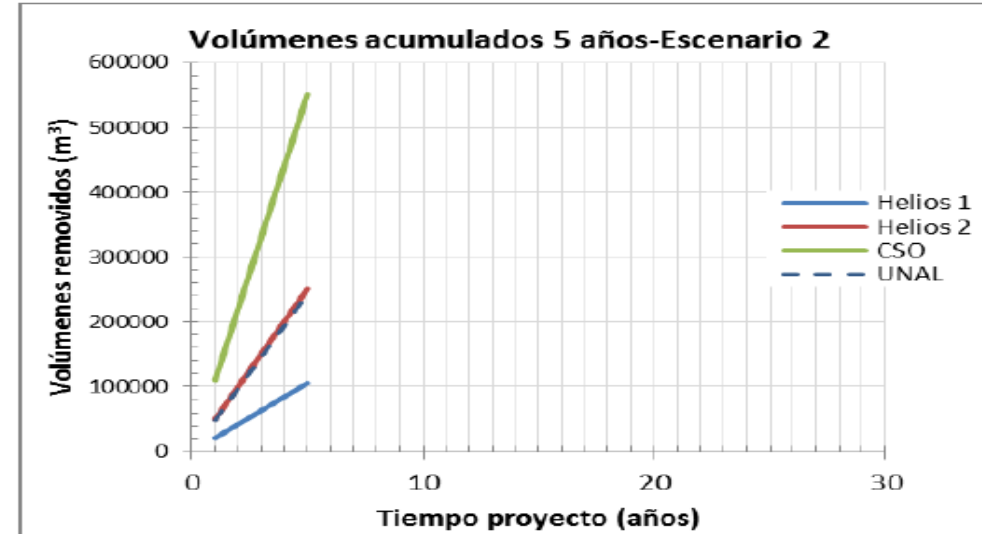


Figura 52. Volúmenes acumulados según Escenario 2

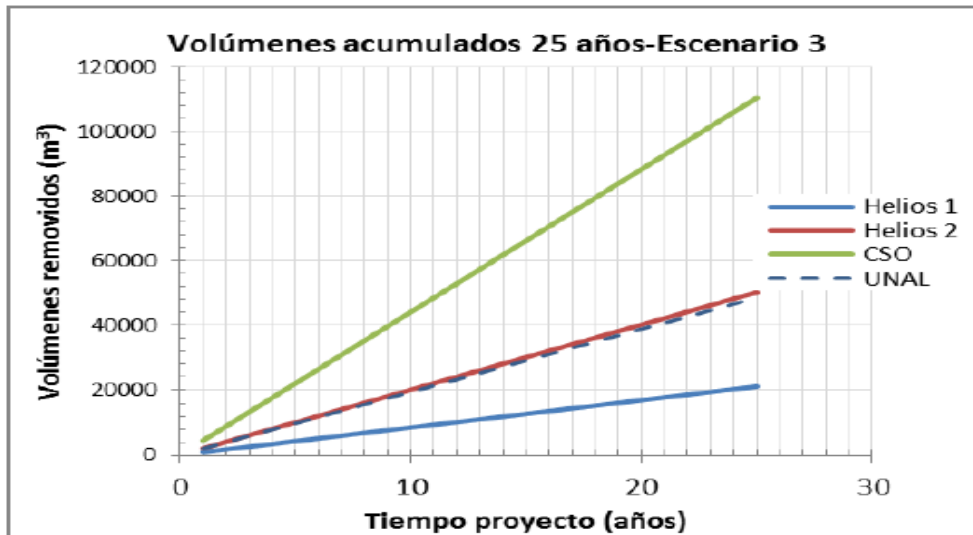


Figura 53. Volúmenes acumulados según Escenario 3

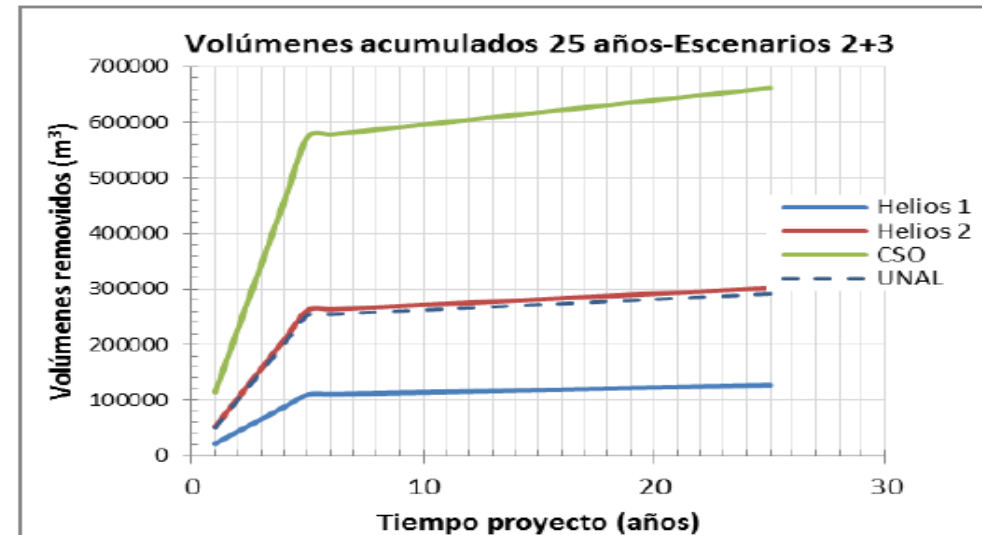


Figura 54. Volúmenes acumulados, Escenarios E2+E3

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO



Figura 56. Volúmenes anuales para 25 años

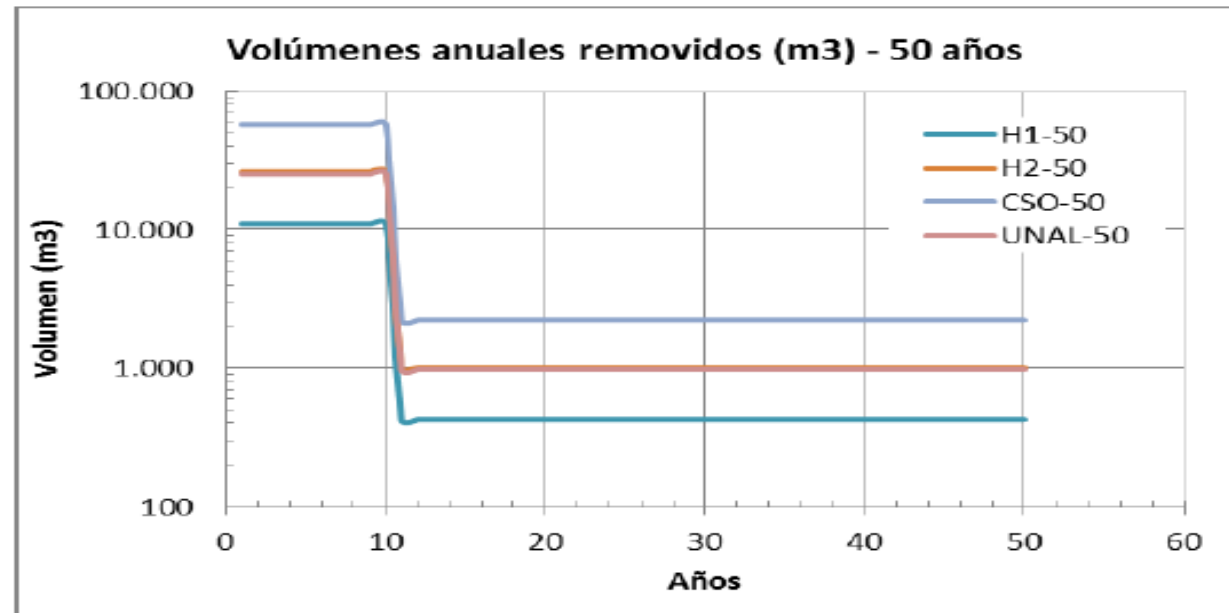
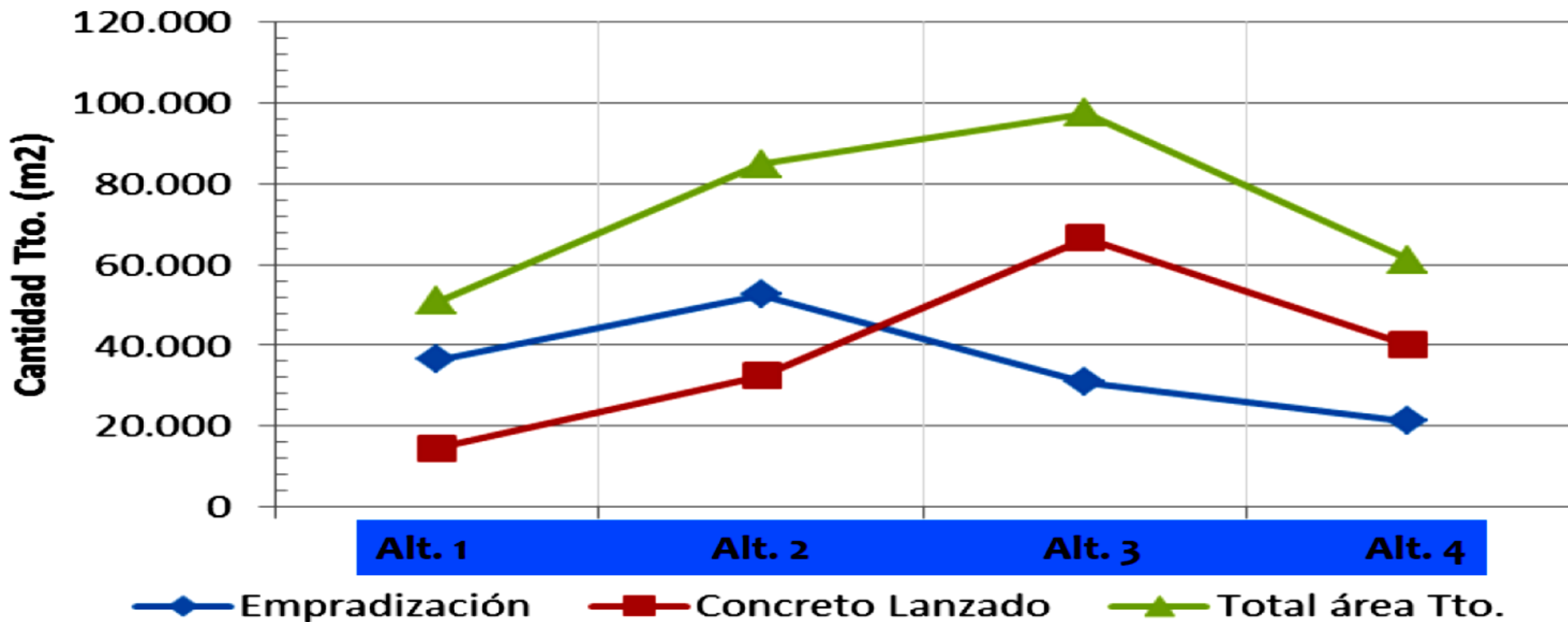


Figura 57. Volúmenes anuales para 50 años

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD PARA CADA TRAZADO

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023

## Cantidades de tratamientos en taludes de corte





CONGRESO NACIONAL  
DE INGENIERÍA

RETOS Y PARADIGMAS EN LA INGENIERÍA

BARRANQUILLA | 1 AL 3 DE MARZO DE 2023



## Frase de cierre

Solo si las decisiones en el país se toman de una forma técnica e ingenieril con un método como el MCMC, con procesos blindados de análisis a cualquier tipo de corrupción, estaremos seguros de estar caminando hacia una mayor competitividad nacional frente al mundo, que es la gran herramienta para jalonar las grandes soluciones que requerimos, que apunten a mejorar el bienestar generalizado, la reducción de la pobreza y el cierre de la brecha de la desigualdad.