



ENEL COLOMBIA S.A. E.SP.

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN A 115 kV”**


**CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA
SUBCAPÍTULO 5.1 MEDIO ABIÓTICO
ACÁPITE 5.1.6 GEOTECNIA**

POR:



INGEDISA
INGENIERÍA & DISEÑO

Bogotá, diciembre de 2023

 INTERNAL INGEDISA <small>INGENIERÍA & DISEÑO</small>	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 2



ENEL COLOMBIA S.A. E.SP.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN A 115 kV”
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA
SUBCAPÍTULO 5.1 MEDIO ABIÓTICO
ACÁPITE 5.1.6 GEOTECNIA

POR:



INGEDISA
INGENIERÍA & DISEÑO

Bogotá, diciembre de 2023

0	Versión inicial	F. Díaz	S. Rocero J. Yopasa	K. Martínez	2023-11-29
Rev.	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó	Fecha


	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 3

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	5
5.1 Medio Abiótico	5
5.1.6 Geotecnia	5
BIBLIOGRAFÍA	20

LISTADO DE FIGURAS


	Pág.
Figura 5-1 Zonificación estabilidad geotécnica del área influencia físico-biótica-paisaje definitiva	11

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1 Clasificación de tipo de roca por origen litológico	6
Tabla 5-2 Clasificación de unidades geológicas del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva	6
Tabla 5-3 Clasificación de unidades geomorfológicas del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva	6
Tabla 5-4 Clasificación de rangos de pendientes	7
Tabla 5-5 Clasificación de cobertura vegetal del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva	7
Tabla 5-6 Clasificación del uso del suelo	8
Tabla 5-7 Clasificación de amenaza sísmica	9
Tabla 5-8 Clasificación de amenaza por inundación	9
Tabla 5-9 Clasificación de precipitación máxima anual	10
Tabla 5-10 Rangos de referencia para la categorización de zonas de estabilidad geotécnica	10
Tabla 5-11 Estabilidad geotécnica para el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva	10
Tabla 5-12 Propiedades físicas del suelo – Línea de transmisión tramo aéreo	13
Tabla 5-13 Propiedades físicas del suelo – Línea de transmisión tramo subterráneo	13
Tabla 5-14 Parámetros geotécnicos – tramo aéreo	14
Tabla 5-15 Capacidad portante admisible – tramo aéreo	15
Tabla 5-16 Parámetros geotécnicos y capacidad portante – tramo subterráneo	18


LISTADO DE ANEXOS

ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Zonificación geotécnica
ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral
ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – Subestación Guaymaral

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 4

LISTADO DE ANEXOS CARTOGRÁFICOS

Zonificación Geotécnica
Muestreo Paramétrico de Resistencia

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 5

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 Medio Abiótico

5.1.6 Geotecnia

El presente acápite tiene como objetivo describir las características de estabilidad y los aspectos geo-mecánicos del suelo – subsuelo del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva del proyecto “Subestación Eléctrica Guaymaral y sus Líneas de transmisión a 115 kV”, definida en el Capítulo 4 Área de Influencia del presente estudio de impacto ambiental.

5.1.6.1 Estabilidad geotécnica

Para analizar la estabilidad geotécnica del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva, se adopta la guía metodológica presentada en el libro “Deslizamientos: Análisis geotécnico”¹; consiste en asignar calificaciones a las unidades de diferentes temáticas físico ambientales según su importancia en la estabilidad general del terreno, reflejada en una ponderación; esto es llevado a cabo por medio de software SIG en los elementos de geología, geomorfología, amenaza por inundación, pendientes, amenaza sísmica, coberturas vegetales, precipitación y uso actual del suelo. Una vez calificados todos los elementos de las diferentes capas, se procede a hacer una superposición, por medio de álgebra de mapas, en las cuales se suman las calificaciones de los polígonos que se superponen entre sí; finalmente, los resultados se agrupan en rangos que indican categorías de estabilidad.

5.1.6.1.1 Factores y criterios de calificación

En el presente numeral se podrán apreciar las calificaciones asignadas a los elementos de las diferentes capas influyentes en la estabilidad general del terreno; estas capas a su vez están calificadas y contenidas dentro de los anexos del estudio, así como los resultados de la superposición y sumatoria: **ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Zonificación geotécnica.**

- **Geología**

Ponderación: 30%.

La geología es un elemento influyente en la estabilidad a partir de las características litológicas de las unidades, materiales arcillosos y poco compactos son más propensos a generar inestabilidad que los materiales de mayor compactación y granulometría uniforme, en este criterio también influye el grado de meteorización y afectación por la actividad tectónica. Las calificaciones se basan en la información del Capítulo 5.1.1 Geología y de acuerdo con la Tabla 5-1, se selecciona el tipo de roca o depósito presente en el área de estudio y se asigna un valor de calificación respecto a su origen.

¹ SUÁREZ, Jaime. Deslizamientos: Análisis geotécnico. Bucaramanga. 2012. p. 548 – 552.


	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 6

Tabla 5-1 Clasificación de tipo de roca por origen litológico

Factores de clasificación por litología		
Tipo I		
Cuarcita y Caliza	1,2	Muy meteorizada multiplicar por 4
Granito y Gabro	1,7	Algo meteorizada multiplicar por 3
Neiss	2,3	Poco meteorizada multiplicar por 2
Tipo II		
Areniscas	5,8	Muy meteorizada multiplicar por 1,5 Algo meteorizada multiplicar por 1,25 Poco meteorizada multiplicar por 1,1
Pizarra y Filita	6,9	
Areniscas con algo de lutitas	7,5	
Esquisto	7,5	
Lutitas no arcillosas	10,4	
Lutitas arcillosas	11,5	
Tipo III		
Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	4,6	Multiplicar por 1,3 si están agrietados, o si hay gradas de movimientos anteriores
Suelos arcillosos	5,8	
Suelos arenosos, blandos	8,1	
Coluviones granulares o clasto-soportados	8,7	
Coluviones arcillosos antiguos	17,3	
Coluviones arcillosos jóvenes	23,1	

Fuente: Suarez², 2012. Adaptado por INGEDISA S.A., 2023

La Tabla 5-2 contiene la clasificación de las unidades geológicas que conforman el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva.

Tabla 5-2 Clasificación de unidades geológicas del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva

Unidad geológica	Valor
Formación Chía (Q2ch)	6
Formación Sabana (Q1sa)	5

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Geomorfología**

Ponderación: 20%.

El parámetro de geomorfología corresponde a las características de forma del terreno por sus características morfogenéticas y morfodinámicas. Los depósitos de planicies aluviales son geoformas más estables que las geoformas de mayor relieve de tipo denudacional y estructural. La valoración se realiza de acuerdo con la Tabla 5-3, calificando cada unidad geomorfológica perteneciente al área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva, expuestas en el Capítulo 5.1.4 Geomorfología.

Tabla 5-3 Clasificación de unidades geomorfológicas del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva

Unidad geomorfológica	Valor
Canal	18
Excavaciones irregulares que cortan el nivel freático	20

² Ibid. p. 550.

Unidad geomorfológica	Valor
Infraestructura	12
Planicies y Deltas Lacustrinos	10
Plano o llanura de inundación	13
Red vial	12
Relleno	15

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Pendientes**

Ponderación: 10%.

Los rangos de pendientes del terreno son un factor primordial en la evaluación geotécnica, ya que está directamente relacionada a los procesos morfodinámicos, la susceptibilidad a procesos de inestabilidad aumenta con escenarios de altas pendientes. Los rangos de pendiente del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva se describen en el Capítulo 5.1.4 Geomorfología, su calificación se encuentra clasificada como se muestra en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Clasificación de rangos de pendientes

Pendiente	Clasificación	Valor
0-1%	A nivel	0
1-3%	Ligeramente plana	1
3-7%	Ligeramente inclinada	2
7-12%	Moderadamente inclinada	3
12-25%	Fuertemente inclinada	4,5

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Cobertura vegetal**

Ponderación: 10%.

Las coberturas vegetales pueden considerarse como un elemento protector del suelo ante los efectos físico-ambientales como el agua o el viento, y la cohesión de este por medio de las raíces; la presencia o ausencia de cobertura juega un importante papel en la estabilidad. La información sobre coberturas vegetales del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva se amplía en el Capítulo 5.2.1.1 Ecosistemas terrestres; se asignan los valores presentados en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5 Clasificación de cobertura vegetal del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva

Cobertura vegetal	Valor
Canales	9
Cuerpos de agua artificiales	10
Instalaciones recreativas	5
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	10
Parques cementerios	5
Pastos arbolados	2

Cobertura vegetal	Valor
Pastos enmalezados	4
Pastos limpios	3
Plantación forestal	4
Red ferroviaria y terrenos asociados	5
Red vial y territorios asociados	5
Tejido urbano discontinuo	4
Tierras desnudas y degradadas	10
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	8
Vegetación secundaria alta	2
Vegetación secundaria baja	3
Zonas industriales o comerciales	6
Zonas pantanosas	7
Zonas verdes urbanas	4

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Uso actual del suelo**

Ponderación: 10%.

El uso del suelo corresponde al conjunto de actividades provenientes de la intervención humana cíclica o permanente; permite inferir los grados de intervención del hombre y afectación sobre el recurso suelo, teniendo en cuenta su composición, textura y grado de profundización. Los suelos con antropización intensa pierden su calidad natural y son más propensos a generar inestabilidad al facilitar la infiltración de agua y por consiguiente la saturación consecuente del terreno. Los valores de clasificación del uso actual del suelo se presentan en la Tabla 5-6, los elementos de este criterio dentro del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva se definieron en el Capítulo 5.1.5.5 Uso actual del suelo.

Tabla 5-6 Clasificación del uso del suelo

Uso del suelo	Valor
Comercial	6
Cuerpo de agua artificial	10
Dotacional	5
Educativa	3
Industrial	8
Producción-protección	6
Protección	5
Recreacional, deportiva y/o turística	4
Residencial	3
Separador vial	2
Sistema forestal productor	6
Tierras en descanso	4
Transporte	7
Zonas verdes urbanas	4

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Amenaza sísmica**

Ponderación: 10%.

La ocurrencia de un movimiento sísmico puede detonar procesos de inestabilidad según su intensidad relacionada con las aceleraciones de ondas sísmicas. Este parámetro se determina en el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)³; Bogotá D. C. cuenta con un nivel de mayor detalle que corresponde a la microzonificación sísmica del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE)⁴, relacionada en el Capítulo 5.1.3 Sismicidad para el presente estudio. Se asignan las calificaciones presentadas en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7 Clasificación de amenaza sísmica

Microzonificación sísmica	Valor
Lacustre 100	5
Lacustre 200	2,5
Lacustre 50	5
Piedemonte A	5

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Inundación**

Ponderación: 5%.

La saturación del suelo es uno de los principales factores causantes de inestabilidad, es por este motivo que la amenaza por inundación vista como una probabilidad en que los suelos pueden estar parcial o totalmente saturados, tiene una importante consideración en este análisis. Las zonas con amenazas de inundación alta tendrán una mayor calificación como se muestra en la Tabla 5-8, la información temática es tomada del Capítulo 5.1.6 Hidrología y su respectiva GDB para el presente estudio.

Tabla 5-8 Clasificación de amenaza por inundación

Amenaza por inundación	Puntaje
Alta	5
Media	2,5
Baja	1
Sin amenaza	0


Fuente: INGEDISA S.A., 2023

- **Precipitación**

Ponderación: 5%.

³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. En: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente: NSR-10. Bogotá: AIS, 2010. p. A-1 – A-174.

⁴ FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS. Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones. Bogotá: FOPAE, 2010. p. 117.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 10

La lluvia en la mayoría de los casos actúa como detonante en los eventos de inestabilidad, por esta razón se tiene en cuenta como un factor de influencia clasificado de acuerdo con las lluvias máximas anuales. Se asignan los valores presentados en la Tabla 5-9 acordes a la caracterización climatológica expuesta en el Capítulo 5.1.6 Hidrología.

Tabla 5-9 Clasificación de precipitación máxima anual

Precipitación máxima anual (mm)	Clasificación	Valor
0-1000	Muy baja	1
1001-2000	Baja	2
2001-3000	Media	3
3001-3500	Alta	4
>3500	Muy alta	5

Fuente: INGEDISA S.A., 2022

5.1.6.1.2 Resultados de estabilidad geotécnica

Con la calificación de los parámetros expuestos en el numeral anterior y su superposición en el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva, mediante la sumatoria algebraica de mapas en SIG, se categorizaron los rangos de valores como se presenta en la Tabla 5-10; estos rangos se ajustaron con el fin de representar las condiciones reales, *in situ*, corroboradas en la salida de campo de los días 16 y 26 de mayo de 2023.

Tabla 5-10 Rangos de referencia para la categorización de zonas de estabilidad geotécnica

Estabilidad geotécnica	Rango de valores	Nomenclatura
Muy Alta	Menor a 35	ZEGMA
Alta	35 – 51	ZEGA
Moderada	52 – 60	ZEGM
Baja	61 – 75	ZEGB
Muy Baja	Mayor a 75	ZEGMB

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

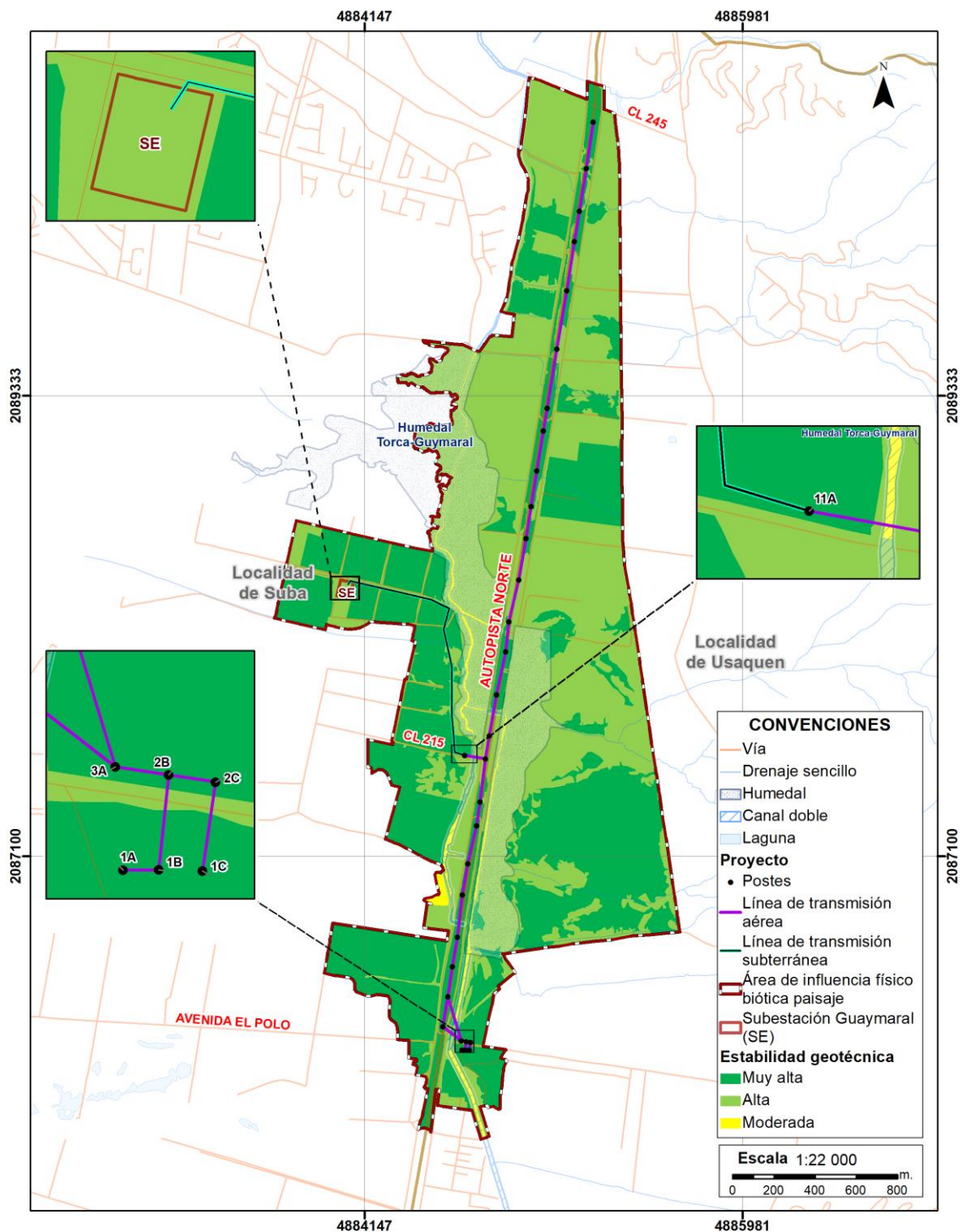
Se obtuvieron como resultado tres (3) zonas de estabilidad: Muy Alta, Alta y Moderada, estas zonas de estabilidad geotécnica se distribuyen como se indica en la Tabla 5-11 y la Figura 5-1.

Tabla 5-11 Estabilidad geotécnica para el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva


Estabilidad geotécnica	Nomenclatura	Área (Ha)	Área (%)
Muy Alta	ZEGMA	11,04	25
Alta	ZEGA	33,23	74,4
Moderada	ZEGM	0,26	0,6
Total		44,53	100

Fuente: INGEDISA S.A., 2023

Figura 5-1 Zonificación estabilidad geotécnica del área influencia físico-biótica-paisaje definitiva



Fuente: INGEDISA S.A., 2023

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 12

- **Zonas de Estabilidad Geotécnica Moderada (ZEGM)**

Dentro del área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva, son zonas que corresponden al paso del canal Torca y el canal Guaymaral, áreas categorizadas como inundables, pendientes inclinadas que conforman los taludes de los canales mismos. Ningún sitio de infraestructura del proyecto se ubica sobre esta zona de estabilidad.

- **Zonas de Estabilidad Geotécnica Alta (ZEGA)**

Son áreas en las cuales ha habido intervención antrópica moderada, en el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva consta de materiales de rellenos y escombros que no tienen un uso actual específico. Los sitios del proyecto ubicados sobre estas áreas son la subestación proyectada; los postes 11, 12, 15, 16, 18, 22 y 27; la plaza de tendido P.Tend_P11; y las cajas de empalme CCD2 y CCD3.

- **Zonas de Estabilidad Geotécnica Muy Alta (ZEGMA)**

Esta categoría se extiende sobre zonas antrópicas donde generalmente existe un sellamiento del suelo con concreto, con uso residencial y de transporte predominantemente, consta de pendientes planas. Sobre estas zonas se ubican las estructuras del proyecto como los postes 1A, 1B, 1C, 2B, 2C, 3A, 3B, 4, 5, 6, 7N, 8N, 9, 10, 11A, 13, 14B, 15, 17NN, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26N, 27, 28; las cajas de empalme CA1, CA2, CCD1, CCD2 y CT; las plazas de tendido P.Tendido_1B-1C, P.Tendido_2B-2C, P.Tendido_3B y P.Tend_P28; y el patio de acopio P.Acopio_PT.

5.1.6.2 Comportamiento geotécnico del suelo


Teniendo en cuenta los perfiles estratigráficos determinados a partir de los registros de perforación, ensayos de campo y resultados de laboratorio para las muestras recolectadas que se obtienen para la caracterización geotécnica civil, especificados en **ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral** y **ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – Subestación Guaymaral**, se identifican las propiedades físicas del suelo para la LT Guaymaral y la subestación correspondiente.

5.1.6.2.1 Propiedades físicas del suelo

- **Línea de transmisión – Tramo aéreo**

El plan de exploración realizado para el tramo aéreo de la LT Guaymaral, estuvo compuesto por 25 perforaciones en las que se realizaron ensayos de perforación estándar SPT y ensayos de veleta de campo VST y llegaron a profundidades entre 6.90 y 8.20 metros, reportando niveles freáticos y recolectando muestras inalteradas con tubo Shelby para su clasificación con los correspondientes ensayos de laboratorio.

Se identificaron tres zonas sobre el tramo aéreo en las cuales las características del suelo son homogéneas, lo que permitió la clasificación e integración de sus propiedades. La

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 13

integración de los resultados de laboratorio por zonas, como descripción de material, composición granulométrica, límites de consistencia y la clasificación del suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-12 Propiedades físicas del suelo – Línea de transmisión tramo aéreo

Zona	Estrato	Profundidad (m)		Descripción	Granulometría			Límites de Atterberg			SUCS
		Inicio	Fin		G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
Z1 (P1-P8)	1	0.00	6.00	Arcilla limosa gris con vetas de oxidación y contenido de turba	4.88	10.20	84.92	89.70	38.38	51.30	CH
	2	6.00	48.00	Arcilla gris clara con vetas amarillas y oxidaciones	1.70	6.75	91.55	119.73	37.90	81.00	CH
Z2 (P9-P14)	1	0.00	12.60	Arcilla limosa de color marrón	5.10	20.28	74.62	103.60	39.25	62.76	CH
Z3 (P15-P28)	1	0.00	48.00	Arcilla gris clara con rastros de arena	10.22	29.19	60.59	110.23	39.81	72.43	CH

Fuente: ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral. Adaptado por INGEDISA S.A., 2023

- **Línea de transmisión – Tramo subterráneo**

El plan de exploración realizado para el tramo subterráneo de la LT Guaymaral, estuvo compuesto por 7.0 perforaciones en las que se realizaron ensayos de perforación estándar SPT y ensayos de veleta de campo VST y llegaron a profundidades entre 6.00 y 8.10 metros, reportando niveles freáticos y recolectando muestras inalteradas con tubo Shelby para su clasificación con los correspondientes ensayos de laboratorio.

Los resultados de las propiedades físicas del suelo se presentan en la siguiente tabla.


Tabla 5-13 Propiedades físicas del suelo – Línea de transmisión tramo subterráneo

Estrato	Descripción	Granulometría			Límites de Atterberg			SUCS
		G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
1	Relleno de material limo arcilloso café con gravas, arenas y raíces.	-	-	-	-	-	-	-
2	Limo arcilloso café con gravas y raíces	16.9	29.4	53.7	59.1	29.3	29.8	MH
3	Arcilla gris clara con vetas habanas y oxidaciones	0	30.1	69.9	107	38.4	68.5	CH

Fuente: ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral. Adaptado por INGEDISA S.A., 2023

- **Subestación**

El plan de exploración realizado en las inmediaciones de la subestación estuvo compuesto por 3 sondeos mecánicos los cuales llegaron hasta una profundidad de 10.0 metros, reportando nivel freático a los 3.00 y 4.15 metros de profundidad, sin embargo, para efecto del presente análisis y la profundidad explorada, se trabajó con un nivel freático de 1.00 metro, considerando la fluctuación de este. Durante el proceso de perforación, se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar a través del cual se obtuvo un N de campo entre 3 y 7 golpes a lo largo de la perforación. De igual manera, durante el proceso de perforación,

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”		CÓDIGO: Cap. 5.1
			VERSIÓN: 00
			PÁG. 14

se realizó la correspondiente recolección de muestras a las cuales se les realizaron los correspondientes ensayos de laboratorio.

A través de los registros de campo y ensayos de laboratorio, se describen los siguientes dos estratos de suelo.

- i. Limo con presencia de raíces (MH, OH): Limo color café a rojo con grava de diferente tamaño con presencia de raíces, plasticidad alta, humedad alta, porcentaje de fijos de 90%, resistencia al ensayo de penetración estándar SPT, Ncampo de 6, γ (kN/m³) =17, Su (kPa)=28, Es (kPa)=11200, μ =0.40, Cc=1.44, Cr=0.14.
- ii. Arcilla color habano a gris (CH): Arcilla color habano a gris de consistencia blanda a muy blanda, plástica a muy plástica y de humedad alta, porcentaje de finos de 99%, resistencia al ensayo de penetración estándar SPT Ncampo de 4, γ (kN/m³) =15, Su (kPa)=17, Es (kPa)=6800, μ =0.45, Cc=1.73, Cr=0.73. No se encontró contenido de materia orgánica.

5.1.6.2.2 Capacidad portante


La capacidad portante del suelo se refiere a la máxima carga por unidad de área (presión media) de contacto, entre la cimentación y el terreno, tal que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. En los textos de mecánica de suelos y fundaciones, se incluyen las ecuaciones básicas, las cuales, requieren parámetros iniciales de la cimentación como lo son: ancho de cimentación (B), profundidad de cimentación (Df), densidad del suelo parámetros geo-mecánicos del suelo (comúnmente aceptados bajo el criterio de falla de Mohr Coulomb, correspondientes a ángulo de fricción interna del suelo y cohesión); con dichos criterios es posible obtener la presión de contacto admisible del suelo, la cual se expresa en KPa (kilo pascales), según el sistema de unidades de medida.

- **Línea de transmisión – Tramo aéreo**

Con base a los perfiles estratigráficos presentados, se determinan desde las solicitudes geotécnicas los parámetros geotécnicos del suelo, y se realiza el cálculo de la capacidad portante para cimentaciones tipo pila; cimentaciones requeridas para las estructuras tipo poste pertenecientes al tramo aéreo de la línea de transmisión. A continuación, se presentan los parámetros geotécnicos de los estratos encontrados en cada una de las zonas, en la Tabla 5-15 los resultados obtenidos de la capacidad portante admisible para cimentaciones profundas de diferentes diámetros y a diferentes profundidades, en cada una de las zonas.

Tabla 5-14 Parámetros geotécnicos – tramo aéreo

Zona	Estrato	Profundidad (m)		Comportamiento	Su (KPa)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	Es (KPa)
		Inicio	Fin					
Z1 (P1-P8)	1	0.00	6.00	Cohesivo	18	-	15.5	5000
	2	6.00	48.00	Cohesivo	43	-	16	10000
Z2 (P9-P14)	1	0.00	12.60	Cohesivo	15	-	14.6	4000

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”					CÓDIGO: Cap. 5.1
						VERSIÓN: 00
						PÁG. 15

Zona	Estrato	Profundidad (m)		Comportamiento	Su (KPa)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	Es (KPa)
		Inicio	Fin					
Z3 (P15-P28)	1	0.00	48.00	Cohesivo	24	-	15.9	5000

Fuente: ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral. Adaptado por INGEDISA S.A., 2023

Tabla 5-15 Capacidad portante admisible – tramo aéreo

Zona	Prof. (m)	Capacidad portante admisible (KN)				
		Diámetro (m)				
		1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
Z1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	52.6	68.7	85.1	104.3	125.4
	1.00	62.5	79.7	95.6	114.7	135.5
	1.50	71.9	90.1	105.7	124.7	145.1
	2.00	80.9	99.9	115.3	134.2	154.3
	2.50	89.5	109.1	124.5	143.3	163.0
	3.00	97.6	117.8	133.2	151.9	171.3
	3.50	105.2	125.8	141.5	160.1	179.1
	4.00	112.4	133.3	149.3	167.8	186.5
	4.50	119.2	140.2	156.7	175.1	193.4
	5.00	125.4	146.4	163.6	181.9	199.8
	5.50	131.3	152.1	170.0	188.3	205.9
	6.00	136.7	157.2	176.0	194.2	211.4
	6.50	269.1	326.6	388.3	450.6	514.6
	7.00	282.6	340.7	407.4	472.1	538.4
	7.50	301.3	361.5	425.5	492.6	561.0
	8.00	316.8	378.2	442.5	512.0	582.6
	8.50	332.3	394.8	458.4	530.4	603.0
	9.00	347.8	411.5	473.3	547.6	622.4
	9.50	363.4	428.1	496.1	563.8	640.8
	10.00	378.9	444.8	513.6	578.9	658.0
	10.50	394.4	461.4	531.1	603.5	674.2
	11.00	409.9	478.1	548.7	621.7	689.2
	11.50	425.4	494.7	566.2	639.8	715.6
	12.00	440.9	511.4	583.7	658.0	734.1
	12.50	456.4	528.0	601.3	676.1	752.6
	13.00	471.9	544.7	618.8	694.3	771.1
	13.50	487.4	561.3	636.3	712.4	789.6
	14.00	502.9	578.0	653.9	730.5	808.0
	14.50	518.4	594.6	671.4	748.7	826.5
	15.00	533.9	611.3	688.9	766.8	845.0
	15.50	549.4	627.9	706.4	785.0	863.5
	16.00	564.9	644.6	724.0	803.1	882.0
	16.50	580.4	661.2	741.5	821.3	900.5
	17.00	595.9	677.9	759.0	839.4	919.0
	17.50	611.4	694.5	776.6	857.6	937.5
	18.00	626.9	711.2	794.1	875.7	956.0
	18.50	642.4	727.8	811.6	893.8	974.5
	19.00	657.9	744.5	829.2	912.0	992.9
	19.50	673.4	761.1	846.7	930.1	1011.4
	20.00	689.0	777.8	864.2	948.3	1029.9

Zona	Prof. (m)	Capacidad portante admisible (KN)				
		Diámetro (m)				
		1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
Z2	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	42.0	54.9	68.0	83.3	100.1
	1.00	49.0	62.3	74.4	89.0	104.8
	1.50	55.5	69.1	80.4	94.3	109.2
	2.00	61.7	75.5	86.1	99.3	113.1
	2.50	67.5	81.4	91.4	103.9	116.7
	3.00	72.9	86.8	96.3	108.1	119.9
	3.50	77.9	91.7	100.8	111.9	122.7
	4.00	82.6	96.1	104.9	115.3	125.2
	4.50	86.9	100.0	108.7	118.4	127.3
	5.00	90.8	103.4	112.1	121.1	129.0
	5.50	94.4	106.4	115.1	123.4	130.3
	6.00	97.5	108.8	117.8	125.4	131.2
	6.50	100.3	110.8	120.1	126.9	131.8
	7.00	102.7	112.2	121.9	128.1	132.0
	7.50	106.9	116.0	123.5	128.9	131.8
	8.00	110.0	118.4	124.6	129.4	131.3
	8.50	113.1	120.8	125.4	129.4	130.3
	9.00	116.2	123.1	125.7	129.1	129.0
	9.50	119.3	125.5	128.9	128.4	127.3
	10.00	122.4	127.8	130.2	127.3	125.2
	10.50	125.5	130.2	131.6	129.6	122.8
	11.00	128.6	132.5	132.9	129.6	120.0
	11.50	131.7	134.9	134.2	129.6	121.1
	12.00	134.8	137.2	135.5	129.6	119.5
	12.50	137.9	139.6	136.8	129.6	117.8
	13.00	141.0	142.0	138.2	129.6	116.2
	13.50	144.1	144.3	139.5	129.6	114.6
	14.00	147.2	146.7	140.8	129.6	112.9
	14.50	150.3	149.0	142.1	129.6	111.3
	15.00	153.4	151.4	143.5	129.5	109.7
	15.50	156.5	153.7	144.8	129.5	108.0
	16.00	159.6	156.1	146.1	129.5	106.4
	16.50	162.6	158.5	147.4	129.5	104.8
	17.00	165.7	160.8	148.7	129.5	103.1
	17.50	168.8	163.2	150.1	129.5	101.5
	18.00	171.9	165.5	151.4	129.5	99.9
	18.50	175.0	167.9	152.7	129.5	98.3
	19.00	178.1	170.2	154.0	129.5	96.6
	19.50	181.2	172.6	155.4	129.5	95.0
	20.00	184.3	175.0	156.7	129.5	93.4
Z3	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	72.6	94.8	117.6	144.1	173.4
	1.00	87.1	111.4	134.3	161.5	191.1
	1.50	101.1	127.2	150.3	178.2	208.3
	2.00	114.4	142.2	165.8	194.4	224.9
	2.50	127.1	156.5	180.6	209.9	240.8
	3.00	139.3	169.9	194.9	224.8	256.2

Zona	Prof. (m)	Capacidad portante admisible (KN)				
		Diámetro (m)				
		1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
	3.50	150.8	182.6	208.5	239.2	270.9
	4.00	161.7	194.5	221.6	252.9	285.1
	4.50	172.0	205.6	234.0	266.0	298.6
	5.00	181.8	215.9	245.9	278.5	311.6
	5.50	190.9	225.4	257.1	290.5	323.9
	6.00	199.4	234.1	267.8	301.8	335.7
	6.50	207.3	242.1	277.8	312.5	346.8
	7.00	214.6	249.2	287.2	322.6	357.4
	7.50	224.8	260.1	296.1	332.1	367.3
	8.00	233.2	268.7	304.3	341.0	376.6
	8.50	241.6	277.3	311.9	349.3	385.3
	9.00	250.0	285.9	318.9	357.0	393.5
	9.50	258.4	294.5	330.4	364.1	401.0
	10.00	266.9	303.1	338.9	370.6	407.9
	10.50	275.3	311.7	347.4	382.4	414.2
	11.00	283.7	320.3	356.0	390.6	419.9
	11.50	292.1	328.9	364.5	398.8	432.0
	12.00	300.5	337.5	373.0	407.0	439.6
	12.50	308.9	346.1	381.5	415.2	447.2
	13.00	317.3	354.7	390.0	423.4	454.8
	13.50	325.7	363.3	398.6	431.6	462.4
	14.00	334.1	371.9	407.1	439.8	470.0
	14.50	342.5	380.5	415.6	448.0	477.7
	15.00	351.0	389.0	424.1	456.2	485.3
	15.50	359.4	397.6	432.7	464.4	492.9
	16.00	367.8	406.2	441.2	472.6	500.5
	16.50	376.2	414.8	449.7	480.8	508.1
	17.00	384.6	423.4	458.2	489.0	515.8
	17.50	393.0	432.0	466.7	497.2	523.4
	18.00	401.4	440.6	475.3	505.4	531.0
	18.50	409.8	449.2	483.8	513.6	538.6
	19.00	418.2	457.8	492.3	521.8	546.2
	19.50	426.6	466.4	500.8	530.0	553.8
	20.00	435.1	475.0	509.4	538.2	561.5

Fuente: ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – LT Guaymaral. Adaptado por INGEDISA S.A., 2023

- **Línea de transmisión – tramo subterráneo**

A continuación, se presentan los resultados del análisis de capacidad portante realizado para las estructuras de las cajas de empalme del tramo subterráneo, teniendo en cuenta un ancho de cimentación de 4.0 metros, y unas profundidades de cimentación a nivel del estrato.


	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”		CÓDIGO: Cap. 5.1
			VERSIÓN: 00
			PÁG. 18


Tabla 5-16 Parámetros geotécnicos y capacidad portante – tramo subterráneo

Parámetro	Estrato 1	Estrato 2
	Limo arcilloso café con gravas y raíces	Arcilla gris clara con vetas habanas y oxidaciones
γ (kN/m ³)	16	16
ϕ' (°)	-	-
Su (KPa)	12	35
E (MPa)	2000	5000
Qadm (KPa)	30	75

Fuente: ANEXOS, Cap. 5.1, 5.1.10 Geotecnia, Informe de estudio de suelos – Subestación Guaymaral


- **Subestación**

En cuestión de cimentación y capacidad portante, el estudio de suelo precisa que a partir de la compacidad de los materiales se define una profundidad de desplante de 1.0 m, así mismo, se deberá realizar un mejoramiento en concreto ciclópeo de 0.50 m para apoyar la estructura. De esta manera se calcula un valor de capacidad portante admisible entre 75-65 kPa.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 19


5.1.6.3 Conclusiones

- i. Se realizó una zonificación de estabilidad geotécnica por el Método Heurístico, en el cual se valoran las cualidades de diferentes componentes influyentes en la estabilidad (geología, geomorfología, amenaza por inundación, pendientes, amenaza sísmica, coberturas vegetales, precipitación y uso actual del suelo). Por medio de algebra de mapas se superponen las diferentes capas temáticas y los valores se categorizan en niveles de estabilidad; para el área de influencia físico-biótica-paisaje definitiva resultaron tres (3) categorías: Zona de Estabilidad Geotécnica Moderada (ZEGM) distribuida en 6,30 ha, Zona de Estabilidad Geotécnica Moderada (ZEGA) distribuida en 253,93 ha y Zona de Estabilidad Geotécnica Moderada (ZEGMA) distribuida en 192,32 ha.
- ii. Se presenta la información de los perfiles estratigráficos obtenidos a partir del análisis geotécnico, las propiedades físico-mecánicas de los materiales encontrados, y el valor de la capacidad portante calculado para dimensiones estándar de cimentación.


	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”</p>	CÓDIGO: Cap. 5.1
		VERSIÓN: 00
		PÁG. 20

BIBLIOGRAFÍA

SUÁREZ, Jaime. Deslizamientos: Análisis geotécnico. Bucaramanga. 2012. p. 548 – 552.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		CÓDIGO: Cap. 5.1
	PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA		VERSIÓN: 00
	GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”		PÁG. 21

Anexo 5.1.10. 1 Informe de estudio de suelos línea de transmisión

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO “SUBESTACIÓN ELÉCTRICA GUAYMARAL Y SUS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A 115 kV”		CÓDIGO: Cap. 5.1
			VERSIÓN: 00
			PÁG. 22

Anexo 5.1.10. 2 Informe de estudio de suelos subestación