

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA

DIRECTOR:

ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2014

DEDICATORIAS

Mi especial gratitud a mi creador y maestro Jesús por permitirme, una vez más, obtener una maravillosa alegría y, en especial, poder compartirla con mis seres queridos. Por ponerme dentro de una gran familia y estar rodeados de amor, respeto y confianza, así como de grandes amigos.

A mis padres, Roberto Barriga Llanos y Nelly Guadalupe Bellizia Sánchez, mis dos grandes amores y ejemplos a seguir. Mi infinita gratitud por saber guiar mis pasos, por que debido a ustedes he llegado a donde estoy. Por ello, quiero hacerles presente este logro para honrarles por todo lo que me han dado.

A mis Hermanos, Roberto Brian Barriga Bellizia y Diego Sebastián Barriga Bellizia por su compañía, su amistad, consejos y sobre todo por estar siempre en todo momento.

En especial a mis abuelos, María, Clotilde, Pablo y Alfredo que ya no están físicamente, pero sus esencias siempre se recuerdan.

A José (Chompi), quien fue como un abuelo y siempre estuvo pendiente de mí, gracias por ese amor tan sincero.

Especialmente a mi compañera Genesis, de quien no tengo palabras precisas para agradecerle inmensamente todo lo que le ha dado a mi vida; simplemente mi total respeto, admiración y amor a esa luz hermosa que ilumina mi vida.

A mis amigos de la infancia, Macuil, Hobit, Loquillo, Trol y Traga, con quienes viví grandes momentos y compartí muchas experiencias. Gracias por ser, aún, parte de mi vida.

A mis amigos de la facultad, Javo, Richar, Patas, Cruz, Paco, Emanuel, Pale, Paquito, Diana, Mildred, Moni lentes, Moni rodillas, Hector, Osvaldo, Mitre, Arturo, Efra, Saul, Florentino, Campeche, Guerrillero y Nancy; a todos ellos, gracias por hacer más interesante esta etapa de mi vida, suerte a todos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi Alma Mater, y en especial a la Facultad de Ingeniería por permitirme ser parte de esta máxima casa de estudios y vivir una de las mejores épocas de mi vida.

Especialmente a mi director de tesis, el Ing. Arturo Tapia Crespo por sus enseñanzas, consejos y dedicación a este trabajo, sin el cual no se hubiera podido realizar, pero sobre todo por su apoyo, amistad y confianza. ¡Muchas Gracias!

A mis sinodales Ing. Miguel Ángel Ruvalcaba Sepúlveda, Ing. Miguel Ildelfonso Vera Ocampo, Ing. Javier Mancera y M.C David Escobedo Zenil, por sus consejos y comentarios, a todos ellos muchas gracias por su apoyo y dedicación brindada.

Quiero agradecer especialmente a la Comisión Federal de Electricidad por proporcionarme todo el apoyo incondicional para la realización de la de tesis.

Al Ing. Florencio Lechuga Valderrabano, por su valiosa enseñanza en los trabajos de campo, a los ingenieros Miguel Carranza, Diego Amancio Rojas, Alma Quintero Quiroz, Abraham Vásquez Cabrera, Edgar Cajero y Alejandro Vásquez Montes por su aportación directa e indirecta en este trabajo.

Quiero agradecer especialmente al Arq. Juan Carlos Hernández por su valiosa ayuda en la elaboración y edición de los planos, por su tiempo y su amistad. Asimismo al Ing. Fausto Castañeda Leónides por su apoyo con la edición de figuras.

A todos mis profesores y compañeros que omití involuntariamente, pero que de alguna forma son parte de este trabajo, gracias por todo.

Í N D I C E

	Pág.
RESUMEN.....	i
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Localización y acceso.....	3
1.3. Trabajos realizados.....	5
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	7
2.1. Fisiografía.....	7
2.1.1. Localización Fisiográfica.....	7
2.1.2. Hidrografía.....	9
2.1.3. Geomorfología.....	10
2.2. Marco Geológico Regional.....	11
2.2.1. Marco Tectónico y Geología Estructural.....	11
2.2.2.1. Deformación Laramide.....	13
2.2.2.2. Deformación Transcurrente.....	16
2.2.3. Sismicidad.....	18
2.2.4. Estratigrafía.....	20
2.2.4.1 Jurásico?.....	20
2.2.4.2 Cretácico.....	23
2.2.4.3 Paleógeno.....	25
2.2.4.4 Cuaternario.....	26
2.3. Geología Histórica.....	27
2.4. Estudios geofísicos.....	29
2.4.1. Resultados de Dispersión de Ondas Superficiales.....	30
2.4.1.1. Alternativa para el eje “GEOL”.....	30
2.4.1.2. Alternativa para el eje “CAPS”.....	31
2.4.2. Resultados de Resistividad Eléctrica y Sísmica de Refracción...	37
CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL EMBALSE.....	43
3.1. Geomorfología.....	43
3.2. Secuencias litológicas.....	46
3.2.1. Cretácico.....	46
3.2.1.1. Formación Acapetlahuaya (Kap-ma).....	46

	Pág.
3.2.2. Cuaternario.....	51
3.2.2.1. Terraza aluvial (Qtal) – Arenas (Qar).....	51
3.2.2.2. Depósitos Aluviales (Qal).....	53
3.2.2.3. Depósitos de Talud (Qdt).....	53
3.3. Geología Estructural del embalse.....	54
3.3.1. Lineamientos y relación con los eventos de deformación.....	55
3.3.1.1. Lineamientos NE-SW.....	56
3.3.1.2. Lineamientos N-S.....	56
3.3.1.3. Lineamientos NW-SE.....	57
3.3.2. Fallas.....	59
3.4. Análisis de discontinuidades.....	63
3.4.1. Lineamientos.....	63
3.4.2. Foliación.....	64
3.4.3. Fracturas.....	66
CAPÍTULO 4. GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA.....	68
4.1. Litología.....	68
4.1.1. Formación Acapetlahuaya (Kap-ma).....	69
4.1.2. Terraza Aluvial (Qtal) – Arenas (Qar).....	73
4.1.3. Depósitos de Aluviales (Qal).....	75
4.1.4. Depósitos de Talud (Qdt).....	76
4.1.5. Suelo Residual (Qsr).....	77
4.2. Estructuras y Discontinuidades.....	77
4.2.1. Fallas.....	78
4.2.2. Lineamientos.....	85
4.2.3. Foliación.....	89
4.2.4. Pliegues.....	90
4.2.5. Fracturas.....	92
4.3. Análisis estructural.....	94
4.3.1. Fallas (F).....	94
4.3.2. Foliación (fo).....	95
4.3.3. Pliegues (P).....	96
4.3.4. Fracturas (f).....	97
CAPÍTULO 5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS.....	101
5.1. Integración de la información geológica y geofísica.....	101
5.1.1. Eje de cortina "GEOL" (Sección 3G-3G').....	105
5.1.2. Eje de cortina "CAPS" (Sección 3C-3C').....	109

	Pág.
5.2. Resultados y discusión.....	114
CAPÍTULO 6. BANCO DE MATERIALES.....	117
6.1. Materiales de acarreo (grava-arena).....	117
6.2. Bancos de material impermeable (arcillas).....	121
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
7.1. Conclusiones.....	124
7.1.1. Zona de embalse.....	124
7.1.2. Zona de boquilla.....	125
7.1.3. Eje de cortina “GEOL”.....	126
7.1.4. Eje de cortina “CAPS”.....	126
7.1.5. Banco de materiales.....	127
7.2. Recomendaciones.....	128
BIBLIOGRAFIA.....	130

ANEXO 1	Plano Geológico del Embalse (P-PHP-GE)
ANEXO 2	Plano Geológico de la Boquilla (P-PHP-GB)
ANEXO 3	Sección Geológica-Geofísica del Eje de Cortina 3G-3G’ “GEOL” (P-PHP-SG02)
ANEXO 4	Sección Geológica-Geofísica del Eje de Cortina 3C-3C’ “CAPS” (P-PHP- SC02)
ANEXO 5	Secciones Geológicas-Geofísicas de la Alternativa “GEOL” (P- PHP-SG01, P-PHP-SG03, P-PHP-SG04 y P-PHP-SG05)
ANEXO 6	Secciones Geológicas-Geofísicas de la Alternativa “CAPS” (P- PHP-SC01, P-PHP-SC03, P-PHP-SC04, P-PHP-SC05 y P- PHP-SC06)

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. <i>Coordenadas Geográficas y UTM de los dos ejes propuestos para el PH. El Pescado, Guerrero.....</i>	4
Tabla 1.2. <i>Trabajos geológicos realizados durante el desarrollo del proyecto.....</i>	29
Tabla 2.2. <i>Unidades geofísicas determinadas en la zona de boquilla.....</i>	41
Tabla 2.3 <i>Valores de resistividad de las formaciones geológicas más comunes (tomado de Gonzáles de Vallejo, Ferrer y Oteo, 2002).....</i>	41
Tabla 2.4 <i>Velocidad de ondas P en Km/s (tomado de Gonzáles de Vallejo, Ferrer y Oteo, 2002).....</i>	42
Tabla 3.1. <i>Resumen de los sistemas preferenciales de foliación determinados en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.....</i>	65
Tabla 3.2. <i>Resumen de los sistemas preferenciales de fracturamiento presentes en el macizo rocoso en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.....</i>	67
Tabla 4.1. <i>Resumen de las orientaciones preferenciales de la foliación obtenidos para la zona de boquilla.....</i>	96
Tabla 4.2. <i>Resumen de los sistemas principales de fracturas para ambas márgenes de la zona de boquilla.....</i>	99
Tabla 5.1. <i>Unidades geológicas-geofísicas en el sitio PH El Pescado.....</i>	102
Tabla 5.2. <i>Puntos de comparación entre las dos alternativas propuestas.....</i>	114
Tabla 6.1. <i>Aspectos generales y características litológicas de los diferentes bancos de arena y grava.....</i>	120

Tabla 6.2.	<i>Aspectos generales de los materiales que conforman el banco de arcillas.....</i>	Pág. 123
-------------------	---	---------------------------

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1.	<i>Panorámica del relieve topográfico del área de estudio.....</i>	Pág. 11
Fotografía 3.1.	<i>Panorámica del relieve topográfico de la margen izquierda de la zona de embalse. Nótese la grande extensión de los depósitos de Terraza aluvial.....</i>	45
Fotografía 3.2	<i>Secuencia interestratificada de metaareniscas y metalutitas afectadas por un metamorfismo incipiente. Nótese la orientación paralela de la estratificación y la foliación.....</i>	47
Fotografía 3.3.	<i>Las metalutitas son de color gris claro a oscuro en roca sana y se fractura a lo largo de los planos de foliación, condición que produce láminas delgadas paralelas a dicha estructura.....</i>	48
Fotografía 3.4.	<i>Las metalutitas en roca intemperizada son de color amarillo ocre, son deleznales y de baja resistencia mecánica.....</i>	49
Fotografía 3.5.	<i>Detalle de un afloramiento de metaarenisca, afectada por un grado bajo de fracturamiento.....</i>	50
Fotografía 3.6.	<i>Los horizontes de metaconglomerado se componen de líticos de metalutitas y calizas, sostenidos en una matriz fina, los cuales están ligeramente orientados y alargados en una misma dirección.....</i>	51

	Pág.
Fotografía 3.7. <i>Gravas con guijarros polimícticos empacados en arena de grano grueso a fino que conforman la terraza aluvial.....</i>	52
Fotografía 3.8. <i>Horizonte de arena (Qar) que aflora por encima de la terraza aluvial (Qtal) en la zona de embalse.....</i>	52
Fotografía 3.9. <i>Detalle de los depósitos aluviales del río Balsas.....</i>	54
Fotografía 3.10. <i>Estructuras “Budinage”, donde se puede ver el estrangulamiento de horizontes o capas de meta arenisca rodeadas por capas de metalutita de mayor ductilidad.....</i>	55
Fotografía 3.11. <i>Traza de falla inversa, donde la parte que se encuentra detrás de la línea punteada cabalga a la parte inferior de la foto.....</i>	56
Fotografía 3.12. <i>Falla de tipo normal localizada en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.....</i>	61
Fotografía 3.13. <i>Estrías de falla y escalones que evidencian el movimiento de tipo normal con una componente lateral derecha de menor magnitud, el bloque que falta se movió hacia la parte superior izquierda de la fotografía.....</i>	61
Fotografía 3.14. <i>Estrías de falla mineralizadas (Calcita) y escalones congruentes que evidencian un movimiento normal. El bloque caído corresponde con el que contiene las estrías de falla.....</i>	62
Fotografía 4.1. <i>Se muestra la localización de los ejes de cortina considerados para el proyecto PH El Pescado y las condiciones topográficas y geomorfológicas del sitio.....</i>	68
Fotografía 4.2. <i>La metalutita en estado fresco presenta resistencia al golpe del martillo. En la imagen se muestra claramente el desarrollo de los planos de foliación.....</i>	70

	Pág.
Fotografía 4.3. <i>La metalutita en roca alterada es de color pardo amarillento y está muy fracturado, cuyo rompimiento es a través de los planos de la foliación.....</i>	70
Fotografía 4.4. <i>Cuando la alteración es muy avanzada es fácilmente disgregable y tiende a formar espesores de suelo residual de hasta 0,50 m.....</i>	71
Fotografía 4.5. <i>El intemperismo avanzado en la metaarenisca permite que se disgregue con facilidad a través de los planos de fractura. Nótese la textura granoblástica de la roca.....</i>	72
Fotografía 4.6. <i>Detalle del afloramiento de metaconglomerado de la formación Acapetlahuaya ubicado en margen derecha del río balsas en la zona de boquilla.....</i>	72
Fotografía 4.7. <i>Detalle de la terraza aluvial constituida por cantos, gravas y arenas que en ocasiones están cementados por carbonato de calcio.....</i>	74
Fotografía 4.8. <i>Los depósitos de arena que afloran en la zona representan uno de varios cambios o variaciones en la granulometría de los sedimentos transportados y depositados por el río.....</i>	74
Fotografía 4.9. <i>La morfología del terreno en margen derecha está conformada por terrenos peniplanares, con pendientes suaves, dados por los depósitos de terraza aluvial.....</i>	75
Fotografía 4.10. <i>Los depósitos aluviales se ubican en las orillas del río, en las partes bajas de las laderas.....</i>	76
Fotografía 4.11. <i>Capa de suelo de color gris oscuro de apenas 0,27 m de espesor, derivado del intemperismo de la Formación Acapetlahuaya.....</i>	77
Fotografía 4.12 <i>La falla cruza a la alternativa del eje propuesto "GEOL", con formación de estructuras de tipo sigmoidal, que determinan un sentido de desplazamiento inverso.....</i>	79

	Pág.
Fotografía 4.13. <i>Sigmoide de 2,0 m de longitud formado por esfuerzos compresivos en la Falla 2 de tipo inverso.....</i>	80
Fotografía 4.14. <i>La Falla 3 puede alcanzar una longitud aproximada de 350,0 m; presenta un rumbo general de NE inclinada al NW. Se trata de una falla con movimiento normal.....</i>	81
Fotografía 4.15 <i>La Falla 4 es de componente inversa. La imagen muestra la pared semivertical a nivel del río donde se tomó el rumbo y echado del plano de falla.....</i>	82
Fotografía 4.16. <i>Se observa la traza del plano de falla de tipo normal, la estructura presenta 1,0 m de espesor de material triturado con alteración por argilización.....</i>	83
Fotografía 4.17. <i>En la parte inferior izquierda se observa el plano de falla, la zona de material triturado y harina de falla; las dos fotografías superiores son un acercamiento del plano de falla donde se presentan estrías y las características del material arcilloso.....</i>	84
Fotografía 4.18. <i>Los lineamientos L6 y L4 tienen cierto paralelismo entre sí. Ambos presentan una orientación casi N-S.....</i>	86
Fotografía 4.19. <i>El lineamiento L12 llega a alcanzar una traza del orden de kilómetros que cruzan de margen a margen.....</i>	87
Fotografía 4.20. <i>Los planos de foliación se desarrollan de mejor manera en la metalutita e incluso llega a alcanzar un cierto desarrollo de esquistosidad en los afloramientos cercanos al río.....</i>	89
Fotografía 4.21. <i>En la zona del eje de Cortina "GEOL", sobre la margen derecha, a foliación favorece a la construcción de la obra, debido a que tiene una dirección de inclinación contraria a la dirección de flujo del río.....</i>	90

	Pág.
Fotografía 4.22. <i>Pliegues tumbados con sus flancos inclinados hacia el SE.....</i>	91
Fotografía 4.23 <i>Pliegue antiforme abierto; su plano axial tiene una inclinación hacia el SE.....</i>	91
Fotografía 4.24. <i>Pliegues sinformes y antiformes; así como pliegues de arrastre en donde los estratos superficiales se deformaron de manera independiente a los estratos inferiores.....</i>	92
Fotografía 4.25. <i>Se identifican 4 fracturas de diferente orientación para este afloramiento. Nótese la formación de fragmentos tabulares por la intersección de fracturas y foliación.....</i>	93
Fotografía 4.26. <i>Fracturas con relleno de calcita que afectan la metaarenisca. Nótese los fragmentos prismáticos formados por la intersección de las fracturas.....</i>	93
Fotografía 4.27. <i>La fractura de rumbo con tendencia E-W (f4) corta a la fractura de rumbo casi N-S (f1), lo que permite establecer una edad más reciente a la familia f4 sobre la familia f1. Ambas presentan relleno de calcita.....</i>	100
Fotografía 5.1. <i>Trazo del eje de cortina "GEOL" cuya orientación es E-W; sección 3G-3G'.....</i>	105
Fotografía 5.2. <i>El eje de cortina "CAPS" tiene una orientación NE-SW con 35° y se encuentra aguas arriba del eje "GEOL".....</i>	110
Fotografía 6.1. <i>En la imagen se observa un playón de dimensiones importantes aproximadamente a 500,0 m aguas arriba del sitio del proyecto.....</i>	118
Fotografía 6.2. <i>Islote localizado a 300,0 m aguas arriba del eje "GEOL". El banco está formado por una gran acumulación de materiales de acarreo (gravas, arenas y algunos bloques) subredondeados.....</i>	118

	Pág.
Fotografía 6.3. <i>Distribución de la granulometría de los bancos de material de grava y arena. En general las gravas y los cantos rodados se encuentran en una matriz de arena gruesa.....</i>	119
Fotografía 6.4. <i>Las arcillas limosas del banco B6 tienen un espesor estimado por observación directa en campo de hasta 2,0 m aproximadamente.....</i>	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. <i>Localización del área de estudio del PH El Pescado, Guerrero.....</i>	3
Figura 1.2. <i>Acceso a la boquilla del PH El Pescado; las líneas en color rojo corresponden con carreteras, las líneas de color amarillo son caminos pavimentados y, finalmente, las líneas de color verde son caminos de terracería.....</i>	5
Figura 2.1. <i>Se muestran las provincias fisiográficas de México según Raisz (1964). El PH El Pescado queda dentro de la provincia de la Sierra Madre del Sur (IX-15 cuenca del Balsas Mezcala).....</i>	8
Figura 2.2. <i>La Región 18 a la cual pertenece el PH El Pescado abarca parte de los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Morelos, Tlaxcala, Estado de México, Puebla y Michoacán (SEMARNAT, 2011).....</i>	9
Figura 2.3. <i>Tectónica actual y Terrenos tectonoestratigráficos precenozoicos. (SMO) Sierra Madre Oriental, (FVTM) Faja Volcánica Transmexicana, (G) Terreno Guerrero, (Mi) Terreno Mixteco, (O) Terreno Oaxaca, (J) Terreno Juárez, (X) Terreno Xolapa, (M) Terreno Maya y (ZF) Zona de Fractura. (Tomado de Morán-Zenteno, Cerca y Duncan Keppie, 2005).....</i>	12

	Pág.
Figura 2.4. <i>Rasgos estructurales regionales que influyen en la zona de estudio del proyecto El Pescado, Guerrero.....</i>	14
Figura 2.5. <i>Evolución y formación del Terreno Guerrero en el Sur de México propuesto por Centeno-García et al (2008).....</i>	16
Figura 2.6. <i>El sitio queda en la franja C (punto verde), que corresponden con una zona intermedia, donde se registran sismos no tan frecuentes que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Tomada del Servicio Sismológico Nacional (SSN).....</i>	19
Figura 2.7. <i>Mapa litológico regional que abarca la zona del proyecto El Pescado y hasta la Central Hidroeléctrica Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol). Información base tomada del SGM y modificada por CFE.....</i>	21
Figura 2.8. <i>Columna estratigráfica regional del Subterreno Teloloapan. Información base tomada del SGM y modificada por CFE.....</i>	22
Figura 2.9. <i>Tectónicamente el área de estudio se localiza en el Subterreno Teloloapan, que es parte Terreno Guerrero (tomado de Centeno-García et al., 2008).....</i>	28
Figura 2.10. <i>Ubicación de los perfiles de velocidad de cortante, la longitud de cada tendido fue de 100,0 m. La línea en color azul indica el sentido de flujo del río Balsas.....</i>	32
Figura 2.11. <i>Modelo L1 y L2 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje "GEOL", en el cadenamamiento 0+380 y 0+450 de la sección 3G-3G' (Plano P-PHP-SG02).....</i>	33
Figura 2.12. <i>Modelo L3 y L4 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje "GEOL", en el cadenamamiento 0+530 y 0+650 respectivamente de la sección 3G-3G' (Plano P-PHP-SG02).....</i>	34
Figura 2.13. <i>Modelo L5 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje "CAPS", en el cadenamamiento 0+230 de la sección 3C-3C' (Plano P-PHP-SC02).....</i>	35

	Pág.
Figura 2.14. Modelo L6 y L7 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+290 y 0+350 respectivamente de la sección 3C-3C’ (Plano P-PHP-SC02).....	36
Figura 2.15. Modelo L8 y L9 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+540 y 0+650 respectivamente de la sección 3C-3C’ (Plano P-PHP-SC02).....	37
Figura 2.16. Se muestra la distribución de los SEV’s y TRS en los dos ejes propuestos. Con puntos rojos se muestran los SEV’s ejecutados, con líneas azules los tramos donde se realizaron los TRS y las líneas de color negro corresponden con las secciones geológicas.....	38
Figura 3.1. Geología de la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.....	44
Figura 3.2. Longitud de la zona de embalse del PH El Pescado. La línea en color negro indica la zona cartografiada.....	45
Figura 3.3. Columna litológica identificada en la zona del embalse del PH El Pescado, Guerrero.....	46
Figura 3.4. Los lineamientos identificados en el área de embalse corresponden con discontinuidades de orientaciones generales que de acuerdo a su persistencia son NE-SW, NW-SE y N-S.....	58
Figura 3.5. Lineamiento de orientación N-S que rige la cañada de Xochitepec, aguas arriba de los ejes y lineamiento L12 que cruza de margen a margen, cerca de la alternativa de eje “CAPS”.....	59
Figura 3.6. Distribución de las fallas localizadas en la zona de boquilla y embalse del PH El Pescado, Guerrero.....	60
Figura 3.7. Sistemas principales (L1, L2 y L3) de lineamientos para la zona de embalse.....	64

	Pág.
Figura 3.8. <i>Se identificaron dos sistemas preferenciales de foliación para la zona del embalse del PH El Pescado: fo1 N86°E/53°SE y fo2 N29°E/34°NW.....</i>	65
Figura 3.9. <i>Sistemas principales del fracturamiento (f) presente en la Formación Acapetlahuaya, que aflora en la zona de embalse.....</i>	67
Figura 4.1. <i>Fallas geológicas cartografiadas en la zona de boquilla y su influencia en los ejes de cortina propuestos.....</i>	78
Figura 4.2. <i>Localización de los lineamientos más importantes en la zona de boquilla del PH. El Pescado.....</i>	88
Figura 4.3. <i>Se distingue un sistema preferencial de fallas F1 de orientación N84°E/31°SE en la zona de boquilla.....</i>	94
Figura 4.4. <i>Con el análisis y procesado de datos de foliación de la margen izquierda se obtuvo un sistema preferencial fo1 de rumbo N77°W/25° al SW y un esfuerzo principal NE-SW con 15° que actuó del SW hacia el NE.....</i>	95
Figura 4.5. <i>Sistema preferencial de foliación (fo1) de rumbo N71°E e inclinación de 34° al SE, que expone un sistema principal compresivo de orientación NW-SE con 20° y propagación hacia el NW.....</i>	96
Figura 4.6. <i>El plegamiento presenta un sistema preferencial de rumbo N78°E, con 62° de inclinación al SE, que acusa un esfuerzo principal NW-SE con 15°, el cual actuó del SE hacia el NW.....</i>	97
Figura 4.7. <i>La margen izquierda está afectada por cuatro sistemas preferenciales, mismos que acusan un esfuerzo principal NE-SW con 15° y propagación hacia el NE.....</i>	98
Figura 4.8. <i>Sistemas principales de fractura que afectan la margen derecha. Asimismo, su distribución infiere esfuerzos principales de orientación NE-SW con 25° y vergencia al NE.....</i>	98

	Pág.
Figura 5.1. <i>Distribución de las secciones geológicas-geofísicas que conforman la alternativa de eje "GEOL".....</i>	103
Figura 5.2. <i>Distribución de las secciones geológicas-geofísicas que conforman la alternativa de eje "CAPS".....</i>	104
Figura 5.3. <i>Sección geológica-geofísica del eje de cortina "GEOL". Resalta las condiciones topográficas contrastantes entre ambos márgenes, así como, aparentemente, la poca cubierta sedimentaria no consolidada distribuida en el cauce del río y en la margen derecha.....</i>	109
Figura 5.4. <i>Sección geológica-geofísica de eje de cortina "CAPS". Nótese la asimetría del eje, debido a las condiciones topográficas entre ambos márgenes del río; además, la acumulación de materiales poco consolidados en el cauce del río y en la margen derecha, cuyos espesores se infieren más allá de los 20,0 m.....</i>	114
Figura 5.5. <i>Se muestra las condiciones del relieve y la posición de los ejes de cortina del PH El Pescado.....</i>	116
Figura 6.1. <i>Distribución de los bancos de material grava-arena y arcillas que reúnen condiciones favorables para prospectarlos en etapas posteriores.....</i>	122

RESUMEN

El Proyecto Hidroeléctrico (PH) EL Pescado se ubica en la porción norte del estado de Guerrero, aproximadamente a unos 181,0 km a partir de la ciudad de Iguala, Gro.

El proyecto se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica denominada “Sierra Madre del Sur”, en el Terreno Guerrero, particularmente en el Subterreno Teloloapan de origen arco insular.

Regionalmente, en la zona de estudio afloran rocas vulcanosedimentarias del Jurásico Superior a Cretácico Inferior, representadas por la Formación Villa de Ayala y Acapetlahuaya, las cuales se encuentra cubiertas por rocas sedimentarias calcáreas de las formaciones Teloloapan, Amatepec y una secuencia tipo “*Flysch*” de la Formación Pachivia, depositadas durante el Cretácico Inferior a Superior. Todas las unidades anteriores presentan un metamorfismo incipiente y se encuentran, a su vez, cubiertas por rocas ígneas extrusivas de composición básica y, posteriormente, por rocas extrusivas de composición ácida. Finalmente se registran 3 eventos de intrusión asociados a la actividad tectónica de ensamblaje del Subterreno Guerrero.

Estructuralmente, en la región se refleja de manera importante, la actividad de los procesos tectónicos de la orogenia Laramide, evidenciados por las cabalgaduras de orientación NNE-SSW y NNW-SSE; así como de la deformación Transcurrente con fallas laterales izquierdas y derechas, normales, y conjugadas de tipo lateral con una componente de menor magnitud de desplazamiento normal, con orientaciones NE-SW, NW-SE y con tendencias E-W.

A nivel del embalse y boquilla afloran una alternancia de metalutitas y metaareniscas de la Formación Acapetlahuaya del Cretácico inferior y subyaciéndola se presentan materiales no consolidados del Cuaternario. Las discontinuidades que afectan a este macizo rocoso, el cual almacenará el agua de embalse y donde se pretende empotrar el eje de cortina son: la foliación, fracturamiento, plegamiento, lineamientos, cabalgaduras y fallas normales que llegan a presentar un desplazamiento de menor magnitud de tipo lateral derecho.

En la zona de la boquilla, mediante levantamientos de cartografía superficial y los resultados de geofísica aplicada en dos alternativas para eje de cortina, se definieron cuatro unidades geofísicas con sus correspondientes correlaciones geológicas.

Para los materiales poco consolidados la unidad geofísica U1 se subdividió en:

- Subunidad geofísica U1a, que presenta resistividades que varían en un rango de 22 a 195 Ωm y velocidad sísmica de 0,5 a 1,5 km/s, y se asocia a la presencia de materiales de acarreo como el aluvión, con un espesor que puede variar de 1,5 a 20,0 m, según los contactos geofísicos determinados.
- La Subunidad U1b muestra resistividades que van de 19 a 267 Ωm y velocidad sísmica de 0,4 a 1,7 km/s, geológicamente se asocia a un material poco compacto compuesto de gravas y guijarros sostenidos en una matriz de arena gruesa a fina, el espesor estimado para esta unidad puede variar de 1,0 a 20,0 m y;
- La Subunidad U1c se presenta como un horizonte dentro de la subunidad U1b, constituida por un material compuesto de arena de grano grueso y semicompacto; tiene resistividades que van de 21 a 297 Ωm y velocidades sísmicas de 0,5 a 1,7 km/s. Los espesores promedio de acuerdo a la prospección geofísica son de 1,0 a 6,0 m.

En tanto, en la unidad lítica de la Formación Acapetlahuya, se detectaron tres unidades más:

- La Unidad U2 con resistividad que varía de 15 a 344 Ωm y velocidades de 0,3 a 0,8 km/s; se correlaciona con roca muy alterada y deleznable localizada a nivel superficial, su espesor estimado con geofísica es de 3,0 a 5,0 m aproximadamente.
- La Unidad U3 tiene un espesor de 7,0 a 15,0 m y puede asociarse todavía con la zona de roca descomprimida, con roca fracturada y de mala a regular calidad, sus valores de resistividad varían de 28 a 545 Ωm y velocidad sísmica de 1,5 a 2,5 km/s y;

- La Unidad U4, que es el basamento de la zona de estudio, se asocia a roca de regular a buena calidad, poco fracturada y de alta compacidad. Los valores resistivos de esta unidad varían de 103 a 700 Ω m y velocidad sísmica de 2,6 a 4,5 km/s.

Así mismo durante la campaña de estudio se identificaron sitios con probabilidad de bancos para grava, arena y arcilla, dentro de un radio de hasta 3,0 km de influencia con respecto al sitio propuesto para eje de cortina.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El río Balsas es la cuenca hidrológica más importante de la vertiente del Pacífico mexicano. Su disponibilidad total anual de aguas superficiales se estima en 24,484 millones de metros cúbicos (Mm³) de escurrimientos vírgenes y retornos, constituidos por 6,851 Mm³ escurridos del Alto Balsas; 7,463 Mm³ del Medio Balsas y 9,959 Mm³ del Bajo Balsas, más un volumen de retornos estimado en 211,0 Mm³ (CNA, 1999).

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha realizado varios estudios en diferentes zonas del río, con la finalidad de aprovechar su caudal, principalmente en la generación de energía eléctrica, como lo ha hecho con la construcción de las Centrales Hidroeléctricas (CH) La Villita (1968), El Infiernillo (1965), El Sistema Miguel Alemán y El Caracol (1987).

Estas Centrales conforman el tercer sistema hidroeléctrico más grande de México; solo por debajo del Sistema de los ríos Grijalva-Usumacinta y el Sistema del río Grande Santiago, que actualmente es el más grande e importante en el país.

El Sistema Grijalva-Usumacinta está constituido por las Centrales Hidroeléctricas Chicoasen, Peñitas, La Angostura y Malpaso, y por parte del Sistema Grande Santiago se tienen las Centrales Hidroeléctricas de Aguamilpa, Santa Rosa, El Cajón, Agua Prieta y La Yesca, como más importantes.

De esta manera, la CFE consideró evaluar la posibilidad de realizar estudios sobre el río Balsas, con el objetivo de ubicar un sitio que reuniera las condiciones geológicas para la construcción de una Hidroeléctrica con una cortina de 24,0 m de altura aproximadamente.

El área de estudio se denominó PH El Pescado y se ubica en el estado de Guerrero, aguas abajo de la Central Hidroeléctrica El Caracol, aproximadamente a 19,0 km de distancia a los ejes de cortina propuestos. Se estima que la construcción de la presa genere una capacidad media anual de 69,34 Gwh.

Los primeros estudios correspondientes a la etapa denominada “Etapa de Gran Visión” se realizaron en el año 2009 por la CFE (“Informe Geológico a Nivel Conceptual del Proyecto Hidroeléctrico El Pescado, río Balsas, Guerrero, México”), con el reconocimiento regional del sitio. Los resultados obtenidos fueron favorables, por lo cual se decidió llevar la prospección del sitio a una etapa de mayor detalle.

1.1. Objetivos

La exploración geológica realizada en el Proyecto Hidroeléctrico El Pescado, tiene como **objetivo principal**:

Evaluar la prefactibilidad técnica de cada una de las alternativas propuestas, para, posteriormente, continuar con los estudios de factibilidad en el trazo que reúna mejores condiciones geológicas, todo esto con la intención de llevar el sitio a una futura construcción de la obra.

Luego, los **objetivos específicos** del presente trabajo, son:

- Identificar y cartografiar el tipo o tipos de materiales y sus características a nivel de superficie e inferirlas hacia el subsuelo, con el apoyo de la información obtenida de los métodos geofísicos.
- Definir el modelo geológico preliminar de la zona donde se encuentran los trazos de ejes propuestos para la cortina y de toda la zona del embalse de la presa.
- Estimar los espesores de los materiales no consolidados, roca alterada y/o descomprimida sobre el trazo de los ejes de cortina.
- Definir el eje de cortina más factible para llevarlo a una tercera etapa de estudios de mayor detalle.
- Identificar bancos de materiales de arena, grava y arcilla, que se puedan utilizar en la construcción del proyecto.

- Comenzar a proveer de información geológica a la disciplina de geotecnia para que se utilice en el diseño preliminar de las obras.

I.2. Localización y acceso

El área de estudio se ubica al sur de la República Mexicana, en la porción norte del estado de Guerrero, muy cerca de la colindancia con el Estado de México (Figura 1.1). Las coordenadas geográficas y UTM en los extremos de los ejes de cortina se presentan en la Tabla 1.1.

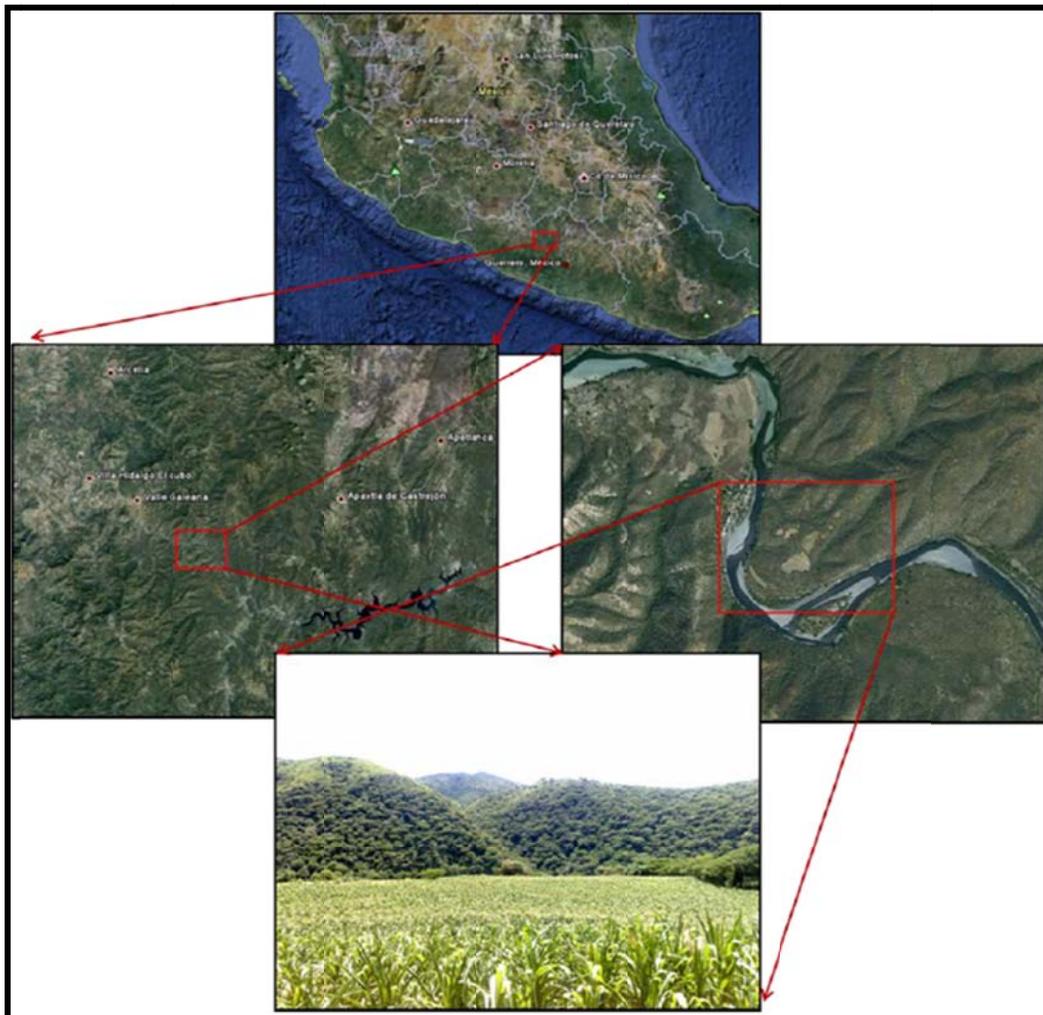


Figura 1.1. Localización del área de estudio del PH El Pescado, Guerrero.

Tabla 1.1. *Coordenadas Geográficas y UTM de los dos ejes propuestos para el PH. El Pescado, Guerrero.*

Eje	Coordenadas UTM			
	Margen izquierda		Margen derecha	
3C-3C'	379 891,357	1 996 627,370	380 262,230	1 997 161,181
3G-3G'	379 600,033	1 997 216,972	380 265,890	1 997 216,900
Eje	Coordenadas geográficas			
	Margen izquierda		Margen derecha	
3C-3C'	18° 3'36,71"N	100° 8'15,54"W	18° 3'36,84"N	100° 7'52,92"W
3G-3G'	18° 3'17,60"N	100° 8'5,52"W	18° 3'35,05"N	100° 7'53,01"W

Al sitio se accede por la carretera Federal No.51. Partiendo desde la ciudad de Iguala, Guerrero; se recorren 131,0 km y se pasa por las ciudades de Teloloapan y Arcelia, para posteriormente continuar sobre la misma carretera con rumbo a Ciudad Altamirano y a 6,0 km se encuentra el entronque con el poblado de Santo Niño.

A partir de este punto, a la izquierda se toma un camino pavimentado que llega hasta el poblado Santo Tomas. Durante este tramo carretero se tienen dos interrupciones del pavimento por terracería en malas condiciones, la primera entre los poblados de El Guayabo y Villa Hidalgo “El Cubo”, y la siguiente, entre Villa Hidalgo “El Cubo” y Santo Tomas. De aquí en adelante, se toma un camino de terracería en malas condiciones a San Pedro Pezuapan, que se encuentra en la margen derecha del río Balsas. El desarrollo del tramo desde Santo Niño a San Pedro Pezuapan es de 50,0 km aproximadamente y para llegar al sitio de la boquilla se recorren 2,0 km sobre la margen derecha del río Balsas (Figura 1.2).

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.



Figura 1.2. Acceso a la boquilla del PH El Pescado; las líneas en color rojo corresponden con carreteras, las líneas de color amarillo son caminos pavimentados y, finalmente, las líneas de color verde son caminos de terracería.

1.3. Trabajos realizados

Para el estudio se realizó una campaña de exploración donde se incluyeron métodos directos e indirectos. Los primeros integran el levantamiento topográfico de secciones para apoyo a los trabajos de geología y geofísica, cartografía de la geología superficial en el sitio de la boquilla y el embalse.

En cuanto a los métodos indirectos, se aplicaron las técnicas geofísicas del Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Tendidos de Refracción Sísmica (TRS) y Dispersión de Ondas Superficiales, para estimar los espesores de los materiales no consolidados que afloran en el área de interés, el espesor de roca descomprimida y la profundidad de la roca sana.

Es necesario mencionar que los trabajos topográficos y geofísicos fueron tomados de otros informes realizados por la CFE en el año 2011 (“Estudio de Refracción Sísmica y Resistividad Eléctrica en el PH El Pescado, Edo. Gro.”; “Dispersión de Ondas Superficiales y Microzonación Sísmica, PH El Pescado, Guerrero”. y “Apoyo Topográfico en la zona de cortina del Proyecto Hidroeléctrico (PH) El Pescado, río Balsas Estado de Guerrero.”); por tanto, la obtención de los datos en campo, su procesamiento y la interpretación de cada estudio no se presentan en este trabajo y solo se utilizan los resultados de cada disciplina para integrar el modelo geológico del sitio.

Para el levantamiento de la cartografía geológica de boquilla y embalse, se realizó un recorrido de campo, con el fin de establecer el entorno geológico del área de estudio, para lo cual se utilizó como base los planos topográficos a escala 1:1 500 y 1:5 000, en donde se vació la información litológica recolectada mediante caminamientos en campo. Un resumen de las actividades geológicas desarrolladas en el proyecto se presenta en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Trabajos geológicos realizados durante el desarrollo del proyecto.

Actividad	Cantidad	Unidad
Cartografía geológica del embalse	7,0	Km ²
Cartografía geológica de detalle de la boquilla	110,30	Ha
Localización de bancos de materiales	3 613 782,53	m ³
Elaboración de secciones geológicas	37	Secciones
Interpretación de 37 secciones geológicas	15,87	Km
Edición de planos	13	Planos
Integración geológica-geofísica	35	Secciones

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

Existe gran información debido a que el sitio se encuentra ubicado entre dos áreas muy bien estudiadas sobre el río Balsas. Aguas abajo del proyecto a 64,0 km se tienen los estudios realizados para la Boquilla Tepoa por parte de la CFE, los cuales se llevaron a cabo en tres etapas; una en los años 1963 a 1964, la segunda en los años de 1981 a 1983 y la última en el año de 1987.

Aguas arriba a 43,0 km se encuentra en operación la CH El Caracol, una de las presas que aprovecha el potencial hidroeléctrico del Río Balsas. También se tiene bastante información geológica regional generada por investigadores de instituciones y Universidades, así como trabajos de tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

De manera más directa, se tiene como antecedente, los estudios realizados en el año 2009 por la CFE (Informe Geológico a Nivel Conceptual del Proyecto Hidroeléctrico El Pescado, río Balsas, Guerrero, México.), donde se llevó a cabo un reconocimiento geológico regional del área, para evaluar una alternativa de eje de cortina con una altura de 24,0 m. Los resultados del informe de esta primera etapa, consigna preliminarmente que el trazo de dicho eje, se encuentra sobre materiales no consolidados de espesores importantes que pueden afectar tanto económica como constructivamente al proyecto.

Finalmente, se localizó una segunda alternativa de eje de cortina a 500,0 m aproximadamente, aguas abajo del sitio inicial, con el propósito de realizar la evaluación de ambos trazos y elegir el más viable para continuar con las siguientes etapas de estudio.

2.1. Fisiografía

2.1.1. Localización Fisiográfica

El área de estudio se localiza en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de la cuenca Balsas-Mezcala (Figura 2.1). (Demant, 1978; Ortega-Gutiérrez et al., 1992).

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

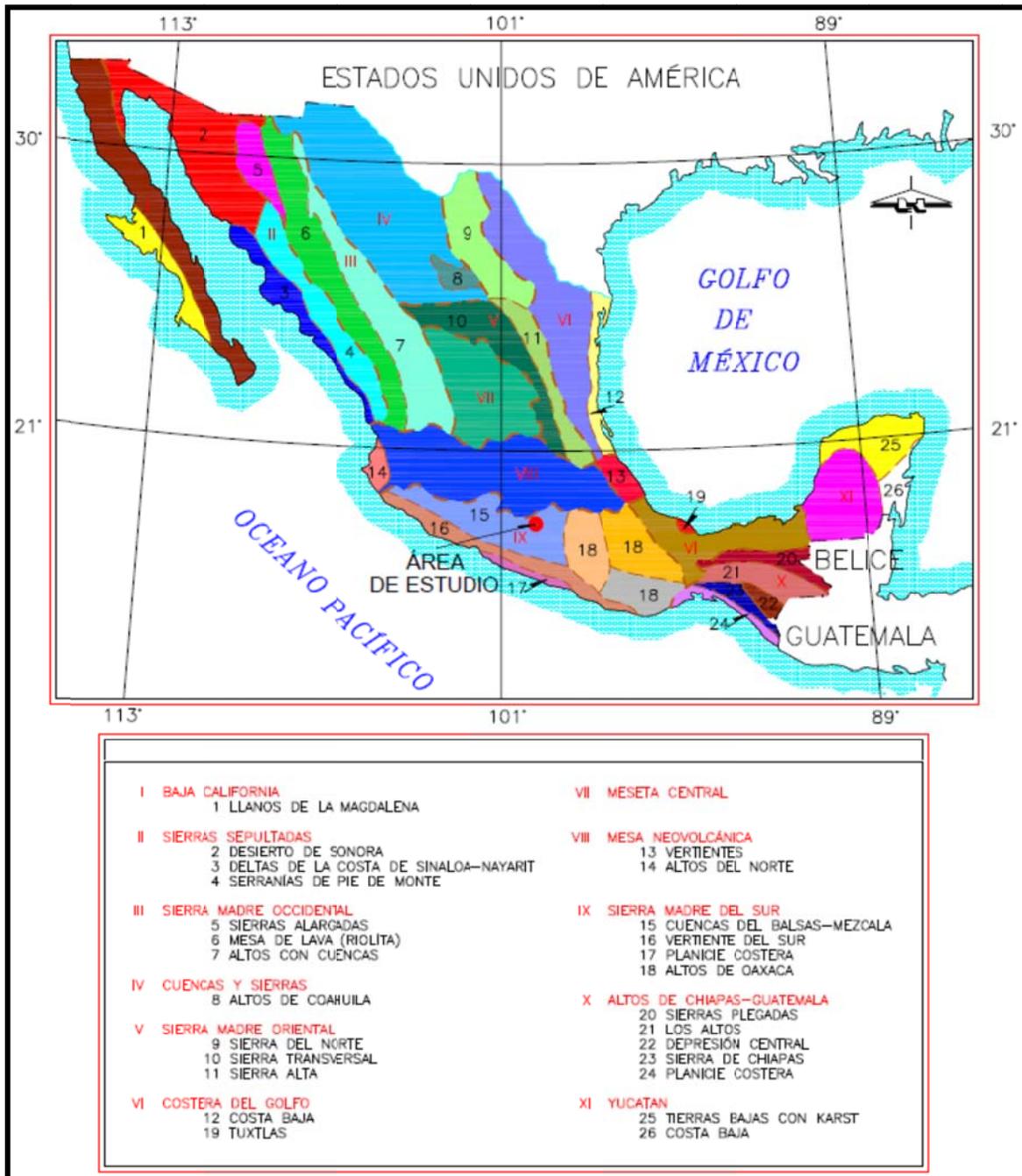


Figura 2.1. Se muestran las provincias fisiográficas de México según Raiz (1964). El PH El Pescado queda dentro de la provincia de la Sierra Madre del Sur (IX-15 cuenca del Balsas – Mezcala).

La subprovincia de la Depresión del Balsas está delimitada por dos provincias fisiográficas: la Faja Volcánica Transmexicana al Norte y al sur por la Sierra Madre del Sur; esta subprovincia abarca los estados de Michoacán, Morelos, Puebla y todo el estado de Guerrero; cubre un área de 1 113 000,0 km², con una orientación dominante de occidente a oriente, con alturas de más de 1000,0 metros sobre el nivel del mar (msnm).

2.1.2. Hidrografía

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2011) indica que la Región Hidrológica en la que se encuentra el Río Balsas es la RH-18 (Figura 2.2); los ríos y arroyos que conforman esta región, generalmente forman una red dendrítica subparalela.

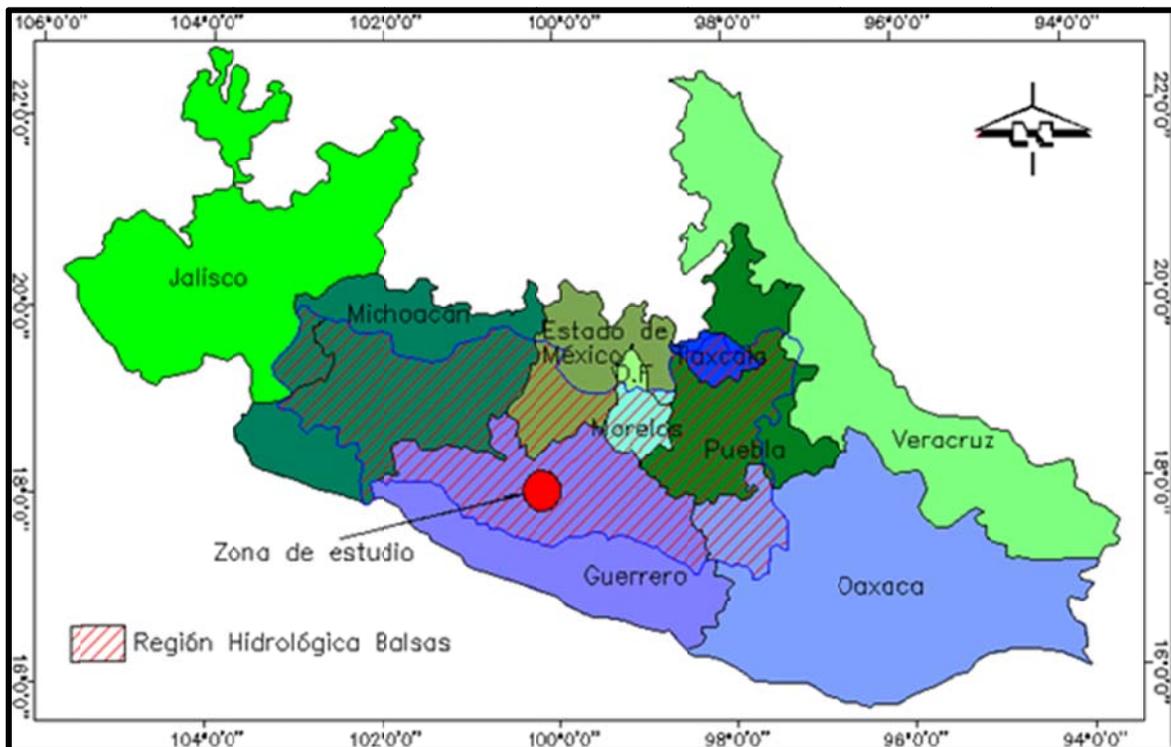


Figura 2.2. La Región 18 a la cual pertenece el PH El Pescado abarca parte de los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Morelos, Tlaxcala, Estado de México, Puebla y Michoacán (SEMARNAT, 2011).

La RH-18 se divide en tres subregiones: La cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco o del Alto Balsas, que a su vez, se subdivide en siete subcuencas: Amacuzac, Nexapa, Bajo Atoyac, Alto Atoyac, Libres Oriental, Tlapaneco y Mixteco; la cuenca del Medio Balsas dividida en las subcuencas de los ríos Cutzamala y Medio Balsas; y la cuenca del Bajo Balsas, que se subdivide en cinco subcuencas: Tepalcatepec, Paracho, Río Zirahuén, Cupatitzio, Tacámbaro y Bajo Balsas.

El área estudiada y en particular el sitio del PH El Pescado se encuentran dentro de la subregión del Medio Balsas, con una superficie de 22 268,40 km², donde los escurrimientos son del orden de 7,463 Mm³ (CNA, 1999), cuyos arroyos y ríos afluentes conforman una red dendrítica bastante densa.

2.1.3. Geomorfología

La subprovincia del Río Balsas se encuentra ubicado en medio de dos provincias de geoformas diferentes, al sur se encuentran las laderas con fuertes pendientes de la Sierra Madre del Sur y al norte las laderas con pendientes un poco más suaves correspondientes a la Faja Volcánica Transmexicana.

En general el drenaje en la Cuenca del Río Balsas es del tipo Dendrítico, constituido por numerosas corrientes, lo que implica una zona bien drenada y con presencia de rocas de baja permeabilidad y baja resistencia ante los agentes erosivos fluviales, pues si bien, el área presenta un clima semiárido con precipitaciones pluviales relativamente escasas, el terreno se encuentra bastante disectado, con formación de valles intermontanos y lomeríos frecuentemente redondeados.

El drenaje ha erosionado y formado incisiones profundas, estrechas y de pendientes fuertemente inclinadas hacia dentro de la sierra; no obstante, hacia el lecho del Balsas, se observan terrenos peniplanares constituidos por materiales de acarreo, y cañadas amplias en forma de “V” y ocasionalmente en “U” (Fotografía 2.1), lo cual evidencia el poco transporte de los materiales erosionados, lo que se traduce en material de azolve para la futura presa.

Las sierras, en general, son alargadas con cimas redondeadas o bien, estrechas que en ocasiones forman filos con alturas de 1 500,0 msnm y cerros o

promontorios que llegan a alcanzar alturas de hasta 2 000,0 msnm. Por otro lado las partes bajas y cercanas al río Balsas tienen alturas del orden de 380,0 a 400,0 msnm.



Fotografía 2.1. Panorámica del relieve topográfico del área de estudio.

2.2. Marco Geológico Regional

2.2.1. Marco Tectónico y Geología Estructural

De acuerdo al concepto de los Terrenos Tectonoestratigráficos propuesto por Campa y Coney (1983), el PH El Pescado se encuentra en el Terreno Guerrero y en particular en el Subterreno Teloloapan, de acuerdo a la subdivisión de este terreno hecha por Centeno-García *et al.* (2008).

La tectónica actual para la zona de estudio está enmarcada por una zona de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Norteamericana, desde el estado de Jalisco extendiéndose hacia el sur de México, este límite formado por la subducción se le conoce como Trinchera Mesoamericana (Figura 2.3).

El PH El Pescado se ubica en un contexto tectónico que ha tenido una evolución geológica compleja, motivo por el cual varios autores se han dado a la tarea de documentar la evolución del sur de México; sin embargo, queda todavía mucho trabajo por hacer.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.



Figura 2.3. Tectónica actual y Terrenos tectonoestratigráficos pre-cenozoicos. (SMO) Sierra Madre Oriental, (FVTM) Faja Volcánica Transmexicana, (G) Terreno Guerrero, (Mi) Terreno Mixteco, (O) Terreno Oaxaca, (J) Terreno Juárez, (X) Terreno Xolapa, (M) Terreno Maya y (ZF) Zona de Fractura. (Tomado de Morán-Zenteno, Cerca y Duncan Keppie, 2005).

La evolución tectónica del sur de México, desde el Cretácico Tardío se caracteriza, primero, por un evento orogénico de acortamiento con vergencia predominante hacia el E y NE caracterizado por pliegues y cabalgaduras de bajo ángulo de orientaciones N-S con variaciones al NW, el cual está relacionado en tiempo y estilo de deformación con la Orogenia Laramide; sin embargo, el origen de los esfuerzos que produjeron el acortamiento regional laramídico en todas las sucesiones Cretácicas es todavía objeto de controversia.

Para el Terciario en el sur de México desde Huetamo, Michoacán y hasta Huatulco, Oaxaca se tiene registro de deformación Transcurrente (Martini, 2008), representado por fallas de componente lateral izquierdo principalmente, con características diferentes en sus orientaciones y componentes cinemáticos, que establecen su origen a mecanismos regionales que no corresponden a un solo sistema de esfuerzos.

Estas características permiten discernir claramente la incompatibilidad del origen de este cizallamiento transcurrente con el régimen de esfuerzos que originó la deformación Laramide.

Nieto-Samaniego *et al.* (2006), con base a las edades de las estructuras mayores, datos de orientaciones y mecanismos cinemáticos de planos de falla, agrupa en dos sistemas principales a dichas estructuras de cizalla: una relacionada con acortamiento en dirección NE-SW y otra más antigua, asociada a extensión en dirección NE-SW.

En la Figura 2.4 se muestra un modelo sombreado regional, que abarca la zona de estudio; en el cual se resaltan las estructuras mayores, tales como lineamientos y fallas que son compatibles con los patrones de esfuerzos laramídicos y transcurrentes. Parte de esta información se integró con base en los levantamientos realizados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), en sus Cartas Geológica-Minera E14-A86, E14-A87, E14-C17 y E14-C16.

2.2.2.1. Deformación Laramide

Varios autores han realizado estudios sobre la deformación Laramide y el origen que actuó como motor de este evento de acortamiento, el cual tuvo lugar en el Cretácico superior-Eoceno inferior con un régimen de propagación de esfuerzos de Poniente a Oriente principalmente, con una variación hacia el NE.

Derivado de diversos estudios se ha establecido dos eventos de deformación principales:

El primero y más importante, representa el estilo estructural principal producido por este evento de deformación, lo que dio como resultado la formación de cabalgaduras y pliegues con orientaciones NNW-SSE afectando a todas las unidades vulcano-sedimentarias mesozoicas (Elías-Herrera *et al.*, 2000; Salinas-Prieto *et al.*, 2000).

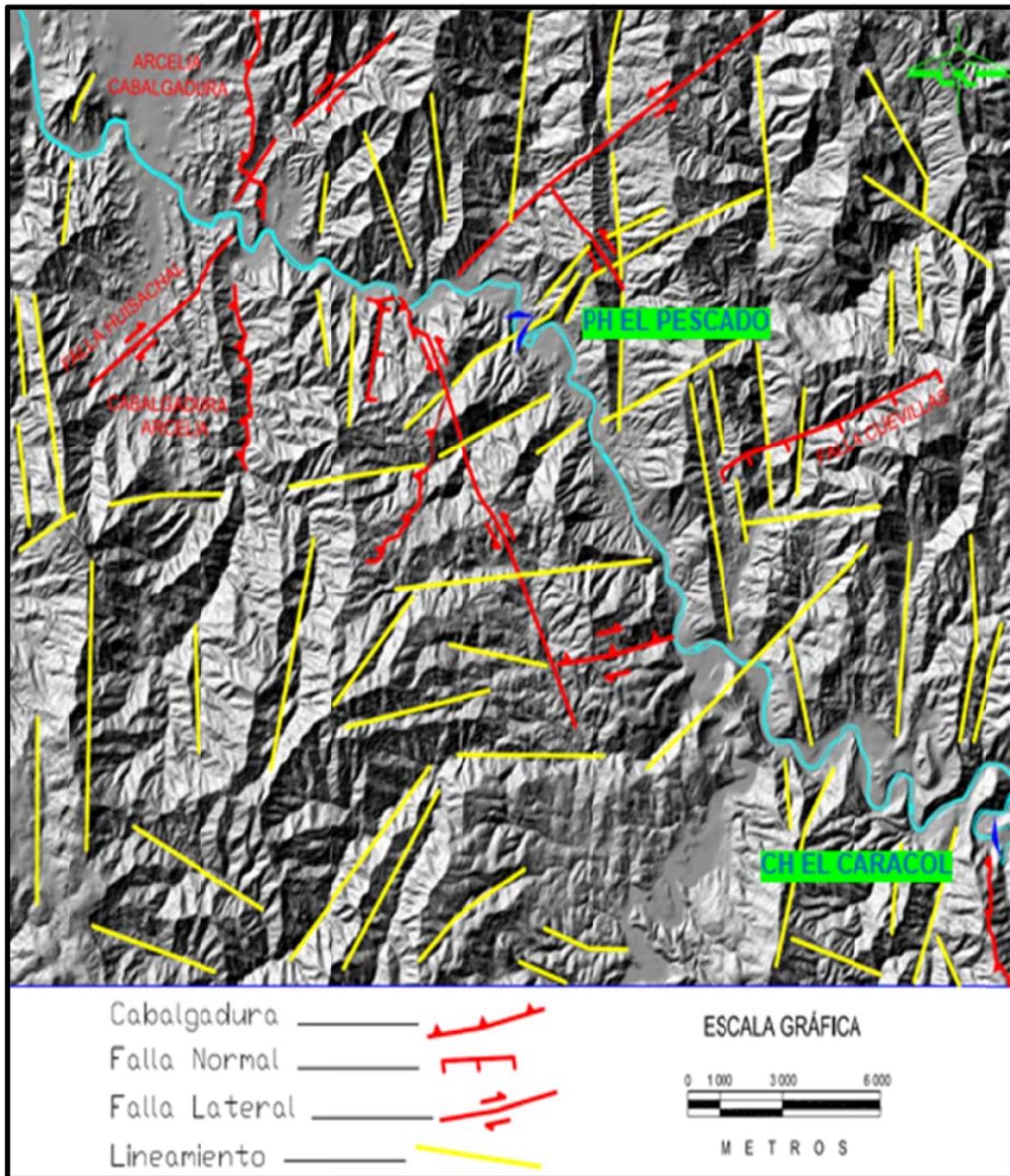


Figura 2.4. Rasgos estructurales regionales que influyen en la zona de estudio del proyecto El Pescado, Guerrero.

La edad asignada para este evento de acuerdo a su evolución con movimiento de propagación de poniente a oriente, permite establecer en el mismo orden edades de Turoniano hacia la parte de Teloloapan, Santoniano hacia la parte central de la Plataforma Guerrero-Morelos (PGM) y del Maastrichtiano hacia la parte oriental de esta plataforma.

Para el segundo evento de deformación no se tienen referencias en cuanto a estudios para fechar el inicio de la misma, aunque, Salinas-Prieto *et al.* (2000) establece una edad del Paleoceno-Eoceno. Este segundo evento originó pliegues abiertos y cabalgaduras con vergencia hacia el Poniente, que afectó a las unidades mesozoicas antes deformadas.

Varios son los modelos que se han propuesto para el origen de la deformación Laramide en el sur de México, pero, la teoría que considera su origen derivado de la acreción del Terreno Guerrero con la margen continental Norteamericana parece ser la más aceptada. En efecto, diferentes autores han concordado en este modelo como el que mejor se asocia con los patrones de deformación derivados de la Orogenia Laramide; así proponen su activación a partir de la acreción de varios arcos volcánicos contra el límite continental de Norteamérica en el Aptiano (Talavera-Mendoza *et al.*, 2007). Centeno-García *et al.* (2008) propone que la acreción del Terreno Guerrero se llevó a cabo desde el Santoniano-Maastrichtiano (Figura 2.5) y según Dickinson y Lawton (2001) el ensamblaje fue en el Cretácico Inferior.

No obstante, esta teoría no está del todo definida, debido a la falta de suficientes registros de datos de campo, por lo que se duda sobre la existencia de varios arcos volcánicos simultáneos, así como la afinidad magmática entre ellos para relacionarlos.

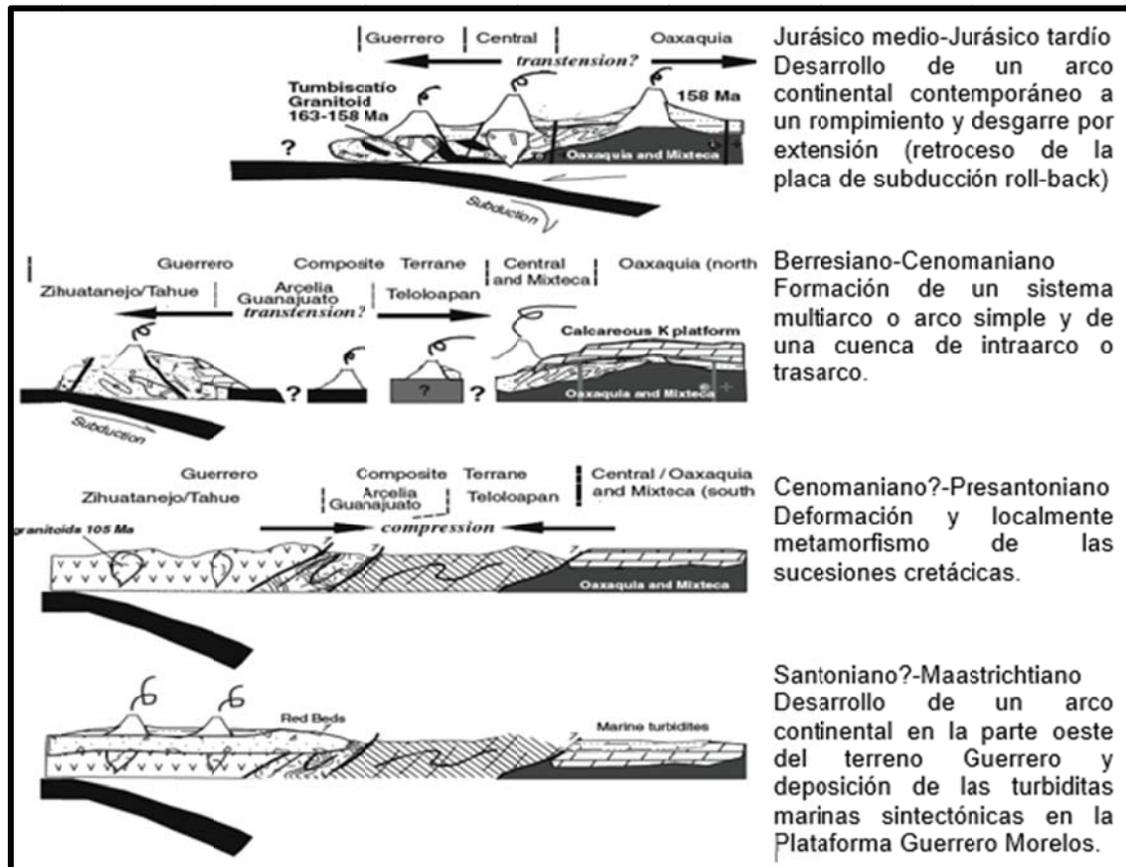


Figura 2.5. Evolución y formación del Terreno Guerrero en el Sur de México propuesto por Centeno-García et al. (2008).

2.2.2.2. Deformación Transcurrente

Se tiene diferenciado estructuras transcurrentes agrupadas en dos direcciones de acuerdo a su compatibilidad con esfuerzos de acortamiento en dirección NE-SW y de extensión con rumbo NE-SW, de edades Eoceno-Oligoceno y Oligoceno-Mioceno respectivamente (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006).

Las fallas transcurrentes asociadas a un acortamiento principal de orientación NE-SW presentan compatibilidad de acuerdo a su cinemática y orientación con esfuerzos regionales trantensivos, cuya extensión presenta una dirección NW-SE e incluso una variación hacia el NNW-SSE (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006; Cerca *et al.*, 2007).

Dichas estructuras son paralelas a la trinchera pacífica actual y corresponden con fallas laterales sinestrales y normales, con una componente lateral izquierda de menor magnitud.

Por otro lado, las estructuras relacionadas a un segundo evento de deformación con una extensión NE-SW a ENE-WSW están asociadas a fallas transcurrentes de componente principalmente lateral derecho y a fallas normales. Los registros cinemáticos de estas estructuras infieren una reactivación de las fallas laterales izquierdas, aunque ahora, con un desplazamiento principalmente dextral. La edad de esta deformación asociada a una extensión NE-SW es del Oligoceno-Mioceno (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006 y 2007)

La teoría que se relaciona con la activación del fallamiento transcurrente en el sur de México es aún controversial. Varios autores han relacionado esta deformación con el despegue y desplazamiento del Bloque de Chortis en dirección hacia el SE hasta incorporarse a su posición actual.

Con base a esta teoría se ha tratado de explicar primero la fase de transcurrencia de movimiento lateral izquierdo y su posterior reactivación con desplazamiento lateral derecho. Este modelo se puede interpretar como una especie de resorte el cual estaría representado por la corteza continental de Norteamérica, que al ser presionado por un objeto de forma lateral y de manera parcial de izquierda a derecha; en este caso el objeto sería el Bloque de Chortis; produciría un estado de esfuerzos compresivos generando fallamiento lateral izquierdo. Una vez se deje de hacer presión con el objeto sobre el resorte (se interpreta que el bloque Chortis se libera de la fricción ejercida con el límite de la Placa Norteamericana y pasa a su posición actual), regresaría en cierta forma a un estado de equilibrio a través de las trazas de las discontinuidades previamente originadas, cuyos planos son trazas de debilidad. El movimiento se daría como una especie de rebote y, en consecuencia, propiciaría la reactivación de las fallas transcurrentes izquierdas, pero, ahora, con desplazamiento lateral derecho y, además, el origen de nuevas zonas de cizalla con este tipo de cinemática lateral y de tipo normal.

2.2.3. Sismicidad

El estado de Guerrero presenta actividad sísmica, originada por el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica. Esta condición forma una trinchera a lo largo de la costa del pacífico, llamada Trinchera Mesoamericana.

Algunos de los sismos importantes que han ocurrido en el estado de Guerrero, por mencionar algunos, son el famoso Sismo del Ángel del 28 de julio de 1957 de magnitud en la escala de Richter de 7,5 y el Sismo de Petatlán del 14 de marzo de 1979 con magnitud de 7,6.

El sitio de estudio se ubica a unos 120,0 km de la zona conocida como la Brecha Sísmica de Guerrero, la cual está alineada de manera paralela a la costa, aproximadamente entre las poblaciones de Acapulco y Petatlán.

Para la Brecha de Acapulco solo se sabía que a principios del siglo XX hubo varios temblores que liberaron energía en esa área pero no se conocía su periodo de recurrencia. No obstante, más tarde, Nishenko y Singh (1987) evaluaron la cantidad de esfuerzo acumulado en la brecha y determinaron un tiempo de recurrencia sísmica de 60 a 70 años, ellos puntualizan que la región puede dar origen de uno a dos sismos con magnitud alrededor de 8,0. Entonces, la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud es alta según estos autores, pues el tiempo en que se espera para que se suscite el sismo se ha rebasado en un 30%.

En la zona han ocurrido eventos de gran magnitud, como el del 7 de abril de 1845 (Ms 7.9?), 24 de diciembre de 1899 (Ms 7.9), 26 de marzo de 1908 (Ms 7.8), 30 de julio de 1909 (Ms 7.2), y 16 de noviembre de 1911 (Ms 7.8).

Los sismos más importantes en la zona del río Balsas se enlistan a continuación, aunque, se aclara que el origen de estos eventos no se relaciona con la Brecha de Guerrero y se localizaron entre 60,0 y 100,0 km de distancia de la zona de estudio.

- El 06 de julio de 1964, en Tlapehuala, con magnitud de 6.3.
- El 12 de agosto de 1989 con magnitud de 5.0.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.

- El 19 de julio de 1993 con magnitud de 4.6.
- El 23 de mayo de 1994, con magnitud de 4.4.

El monitoreo sísmico cercano a la zona de estudio inició en 1981, Montufar y Uribe (1988), para la construcción de la presa El Caracol, de acuerdo con la información disponible, la zona es sísmicamente activa (Figura 2.6), como ejemplo representativo se señala que durante el monitoreo de los primeros cinco meses de 2000 se registraron 1 100 eventos, de los cuales se localizaron 104 sismos, la mayoría con magnitudes de 3,0 a 3,5 y profundidades entre 20,0 y 70,0 km.

El sismo de mayor magnitud ocurrió el 21 de julio de 2000, a 100,0 km cerca del poblado de Copalillo, al sureste de Iguala, con magnitud de 5,4. Por otra parte, el evento más próximo se localizó a 9,0 km aguas abajo de la presa y sucedió el 24 de abril de 2000, con magnitud de 2,8 y profundidad de 57,0 km; es decir, que sucedió a unos 2,0 km aguas arriba de donde concluye el embalse del sitio El Pescado.



Figura 2.6. El sitio queda en la franja C (punto verde), que corresponden con una zona intermedia, donde se registran sismos no tan frecuentes que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Tomada del Servicio Sismológico Nacional (SSN).

2.2.4. Estratigrafía

El área de estudio regionalmente se encuentra dentro del Terreno Guerrero y en particular en el Subterreno Teloloapan. Este último, se delimita por dos cabalgaduras de orientación N-S, con echados hacia el Oeste. La cabalgadura Teloloapan es el límite Oriental que pone en contacto a las rocas del Subterreno Teloloapan sobre las rocas del Terreno Mixteco. Hacia el Oeste el Subterreno Arcelia cabalga sobre el Subterreno Teloloapan.

Estos sistemas de cabalgaduras son de bajo ángulo, por lo que presentan trazas sinuosas y forman entre ellos un cinturón de 100,0 km de ancho y 300,0 km de largo a expensas de las rocas mesozoicas de la zona (Talavera-Mendoza *et al.*, 1995).

Las secuencias litológicas de este subterreno (Figura 2.7) corresponden con rocas volcanosedimentarias marinas, desarrolladas entre el Titoniano Superior y el Turoniano (Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000), y se encuentran intensamente deformadas con desarrollo de metamorfismo de bajo grado en facies de esquistos verdes (Talavera-Mendoza *et al.*, 1993).

Para la cartografía base de la zona de estudio se utilizó la información del SGM publicada en sus Cartas Geológica-Minera E14-A87, E14-A86, E14-C17 y E14-A16. La descripción de la columna estratigráfica (Figura 2.8) del Subterreno Teloloapan se hace de la Formación más antigua a la más reciente:

2.2.4.1. Jurásico?

Formación Villa de Ayala (Jskima-ms)

Esta unidad fue descrita por Campa *et al.* (1974), quienes describen una secuencia vulcano-sedimentaria a la cual agruparon en dos conjuntos litoestratigráficos, la parte inferior volcánica y la parte media y superior metasedimentaria.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

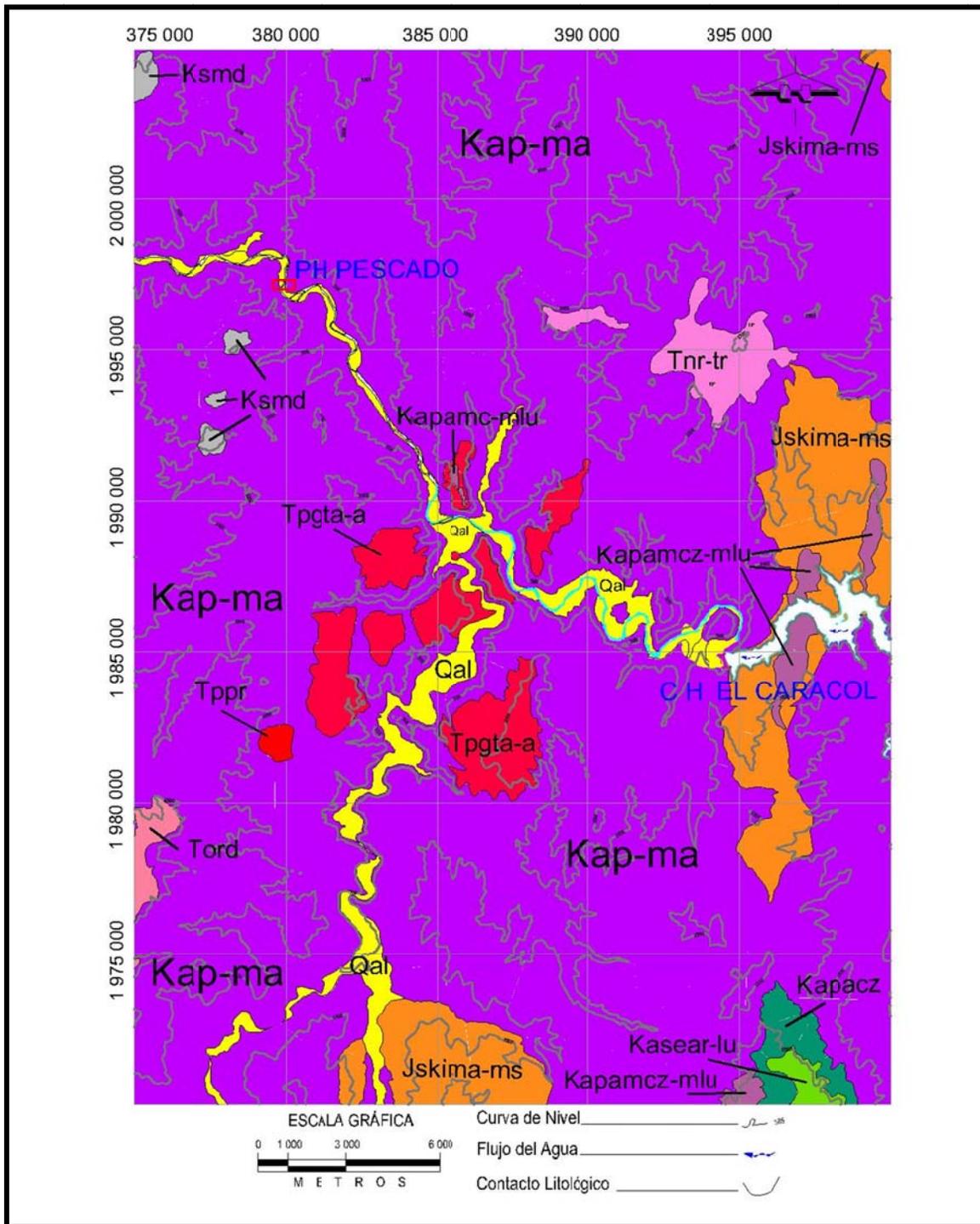


Figura 2.7. Mapa litológico regional que abarca la zona del proyecto El Pescado y hasta la Central Hidroeléctrica Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol). Información base tomada del SGM y modificada por CFE.

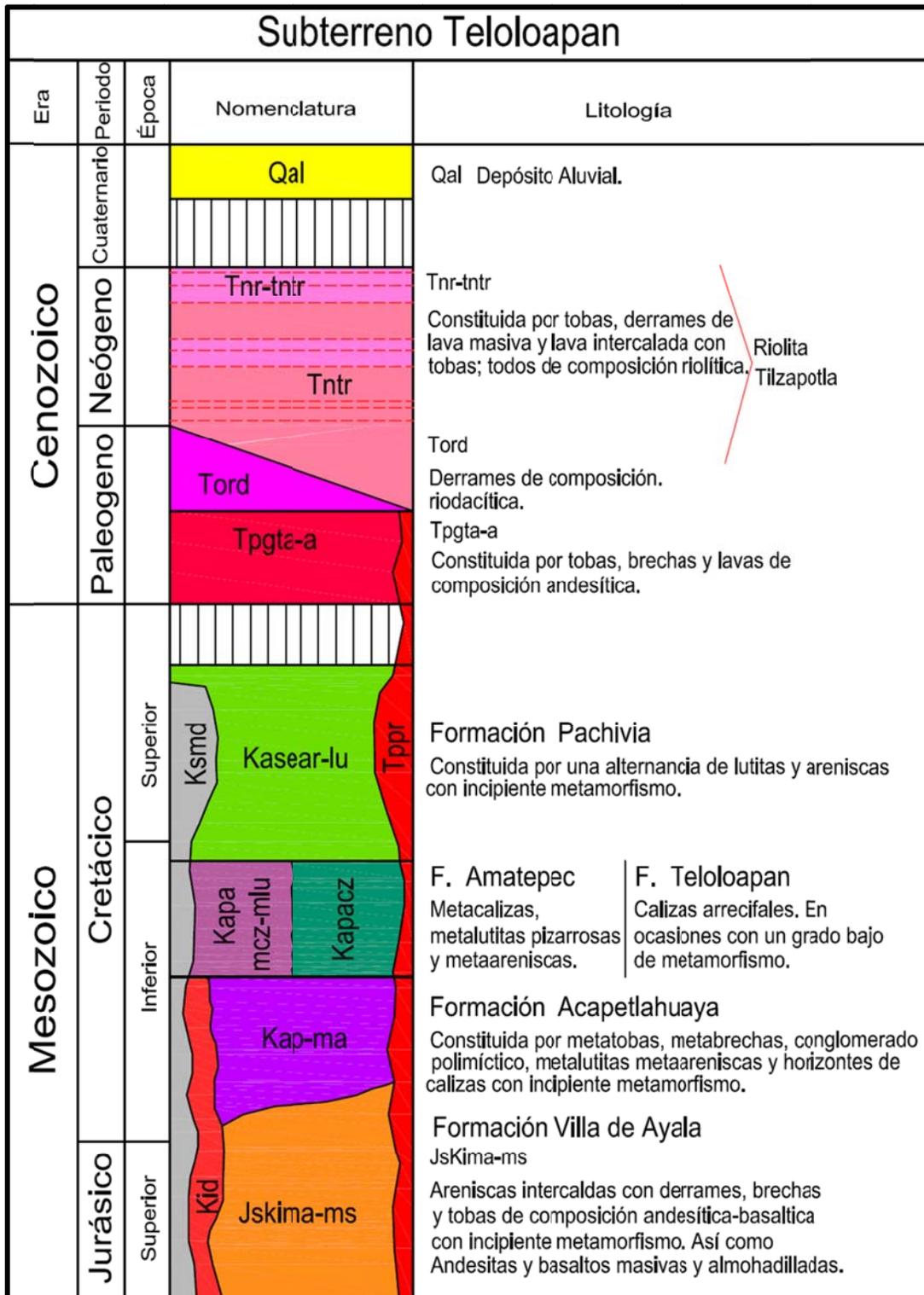


Figura 2.8. Columna estratigráfica regional del Subterreno Teloloapan. Información base tomada del SGM y modificada por CFE.

La unidad se compone hacia su parte inferior por rocas volcánicas, tales como lavas de estructura almohadillada y masiva de composición basáltica principalmente, aunque, también, se observan lavas andesíticas y riolíticas a niveles superiores; hacia la parte media y superior de esta unidad, se intercalan rocas volcánicas con rocas piroclásticas y epiclásticas.

Los espesores de esta unidad no se han podido determinar por la fuerte deformación del Subterreno Teloloapan; sin embargo, Guerrero-Suástegui (2004), en su sección tipo maneja espesores que van de los 100,0 m a los 1 000,0 m.

La edad asignada para esta formación no ha sido bien definida; no obstante, Guerrero-Suástegui (2004) indica una edad que va del Berriasiano al Aptiano y otros autores la datan del Jurásico Tardío.

2.2.4.2. Cretácico

Formación Acapetlahuaya (Kap-ma)

Se compone de rocas metamórficas en general, constituida hacia la base por sedimentos epiclásticos y tobas; hacia la cima por una secuencia de metalutitas y metaareniscas con niveles de conglomerados, brechas volcánicas, horizontes tobáceos y más superficialmente, metacalizas arcillosas (Campa *et al.*, 1974). A esta formación se le considera la destrucción del arco de Teloloapan.

Debido a la deformación de la roca y a las discontinuidades presentes en esta formación, es difícil establecer sus espesores; sin embargo, Guerrero-Suástegui (2004) en su sección tipo maneja espesores de hasta 434,0 m.

Las relaciones estratigráficas de esta formación según Guerrero-Suástegui (2004), los contactos son gradacionales en su límite inferior con la Formación Villa de Ayala y con la Formación Amatepec hacia su límite superior.

Su origen corresponde con un depósito de ambiente marino de edad Aptiano (Guerrero-Suástegui, 2004).

Intrusivo Diorítico (Kid)

Corresponde con un intrusivo hipabisal de composición intermedia al cual se le asigna una edad del Cretácico Inferior, debido a que se encuentra emplazado en las rocas volcanoclásticas cretácicas del Subterreno Teloloapan.

Formación Teloloapan (Kapacz)

Se constituye de una secuencia calcárea subarrecifal formada por calizas de estratificación media que de la base a la cima aumenta transicionalmente su contenido de bioclastos y litoclastos. En su parte media resalta la presencia de depósitos de flujo de escombros bioclásticos y en su parte superficial se caracteriza por presentar horizontes conglomeráticos compuestos de caliza bioclástica de estratificación delgada a media.

Las calizas en gran medida presentan dolomitización y es característica la presencia de metamorfismo en la unidad. Por su posición estratigráfica y las relaciones de contacto a esta formación se le considera un cambio de facies de la Formación Amatepec.

Guerrero-Suástegui (2004) determina un espesor variable para la Formación Teloloapan que depende de acuerdo a la región donde aflore; no obstante, maneja espesores de hasta 485,0 m.

El ambiente de depósito para esta formación corresponde con la de un ambiente de plataforma central (intermarea-arrecife) y ambiente de talud y la edad que se le asigna a esta formación es del Aptiano Tardío-Albiano Tardío, de acuerdo al contenido faunístico (Guerrero-Suástegui, 2004).

Formación Amatepec (Kapamcz-mlu)

El contacto superior de la Formación Acapetlahuaya pasa transicionalmente a depósitos de caliza lenticular a subarrecifales de estratificación delgada a media de la Formación Amatepec. Estos depósitos corresponden con calizas micríticas que a menudo contienen lentes de pedernal que alternan con calcarenitas y lutitas

de color negro de estratificación delgada. Todos estos componentes presentan metamorfismo.

El espesor de la formación va de los 300,0 a 350,0 m (De Cserna, 1983) y se le considera de ambiente sedimentario en facies 1 (De Cserna y Fries, 1981), de acuerdo con las facies estándar de Wilson (1975), aunque, Rivera-Carranza *et al.* (1998) la considera como una cuenca marginal en un ambiente de arco intraoceánico.

Se le asigna una edad de Albiano-Cenomaniano según datos obtenidos en restos fósiles (De Cserna y Fries, 1981).

Formación Pachivia (Kasear-lu)

Corresponde con un depósito tipo “*Flysch*” de areniscas de cuarzo intercaladas rítmicamente con lutitas calcáreas físciles de aspecto sedoso, ambos tipos de roca afectados por metamorfismo insipiente. Se disponen en estratos delgados y en el caso de las lutitas llegan a formar laminación. Su edad se considera del Albiano Tardío-Cenomaniano, según el SGM en su Carta-Geológica Minera E14-A87.

Metadiorita (Ksmd)

Se trata de una roca ígnea intrusiva de color blanco con una textura porfídica de mesostasis media, constituida por cristales de biotita, anfíboles y plagioclasas intermedias. Su estructura es masiva y altera a un color pardo amarillento y gris oscuro. A esta unidad se le considera una edad del Cretácico superior, relacionado a la última fase de actividad volcánica del Subterreno Arcelia.

2.2.4.3. Paleógeno

Secuencias Volcánicas de composición intermedia (Tpgta-a)

Se trata de una secuencia volcánica andesítica constituida por tobas, brechas y derrames de color gris oscuro con tonalidades rojizas cuando están intemperizadas, las cuales se encuentran cubriendo en discordancia angular a las

unidades antes descritas. Por su posición estratigráfica y nula deformación se le considera de edad tentativa del Paleógeno, asociados a los eventos volcánicos de la Faja Volcánica Transmexicana.

Pórfido Riolítico (Tppr)

La unidad corresponde con un intrusivo de tipo hipabisal de composición ácida, que varía de granodioritas, pórfido diorítico, pórfidos riódacíticos y pórfidos riolíticos, de textura fanerítica a porfídica con cristales observables de cuarzo y plagioclasas; son de color blanco rosáceo y de estructura compacta y masiva. Se le atribuye una edad del Paleógeno de acuerdo a su emplazamiento en las rocas paleógenas.

Secuencias Volcánicas de composición ácida (Tnr-tntr y Tord)

La unidad que cubre parcialmente a las secuencias intermedias, se constituye de depósitos volcánicos de composición ácida. Específicamente corresponde a una secuencia de flujos de lava y piroclastos constituidos por riolitas, tobas deleznales e ignimbritas de composición riódacítica y riolítica respectivamente. Estas rocas están asociadas a la Formación Tilzapotla, con las formaciones Xochiltepec, Grupo Pachuca, con la Serie Volcánica Characharando en la región de Huetamo y con la ignimbrita Tzitzio.

Con base en datos radiométricos reportados por Fries (1960), a la riolita Tilzapotla se le asigna una edad de 21 a 31 millones de años (Ma). En general esta secuencia volcánica cubre discordantemente a la Formación Balsas, por lo que se ubica en el Oligoceno Superior. De acuerdo con esta condición es posible correlacionarla con el vulcanismo terciario de la Sierra Madre Occidental.

2.2.4.4. Cuaternario

Depósitos Recientes (Qal)

Estos materiales están conformados por depósitos coluviales, suelo residual, terrazas aluviales y en su mayoría por depósitos aluviales que son acarreados y

depositados por el río a pie de las laderas, y en las partes bajas de los valles, lo cual resulta en la formación de grandes playones y terrazas compuestas por arenas, gravas y boleos de diferente composición.

2.3. Geología Histórica

Para explicar la evolución geológica del Sur de México de una manera sucinta, es necesario recurrir al análisis de la historia geológica de México a través de la explicación de los terrenos tectonoestratigráficos propuestos por Campa y Coney (1983).

Howell *et al.* (1985), definieron el concepto de terreno tectonoestratigráfico como un conjunto de rocas de extensión regional, que se caracterizan por tener una evolución geológica diferente a los terrenos adyacentes y el límite entre ellos es de tipo tectónico. En tanto, Ortega-Gutiérrez *et al.* (1992), retomaron el concepto de terreno tectonoestratigráfico, para explicar el modelo evolutivo de la geología de México. Bajo este contexto, como ya se hizo mención, el área de estudio del PH El Pescado, se encuentra inmersa en el Terreno Guerrero, específicamente en el Subterreno Teloloapan (Figura 2.9).

Centeno-García *et al.* (2008) propone que en el Triásico Tardío-Jurásico Temprano se registra un basamento metamórfico que puede relacionarse con el remanente de la corteza de Gondwana, en la formación del supercontinente Pangea. En esta etapa, se originó una colisión de un arco de isla contra el continente y posteriormente se formó una margen pasiva.

Hacia el Jurásico Medio se origina un proceso de subducción y todas las unidades del piso oceánico y plataforma continental son fuertemente deformadas y metamorizadas (Terreno Guerrero). La zona de “*melange*” indica una deformación asociada a subducción (ver Figura 2.5).

Durante el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, la placa subducida sufre un proceso de *roll back*, lo que propicia el desgarramiento de la corteza continental y la generación de ascenso de magma y, a su vez, la formación de zonas de *rifting* activos. Esta actividad tectónica origina un sistema de arco de islas (Teloloapan), que disgrega los terrenos previamente formados (Terreno Guerrero) y da lugar a nueva corteza oceánica.

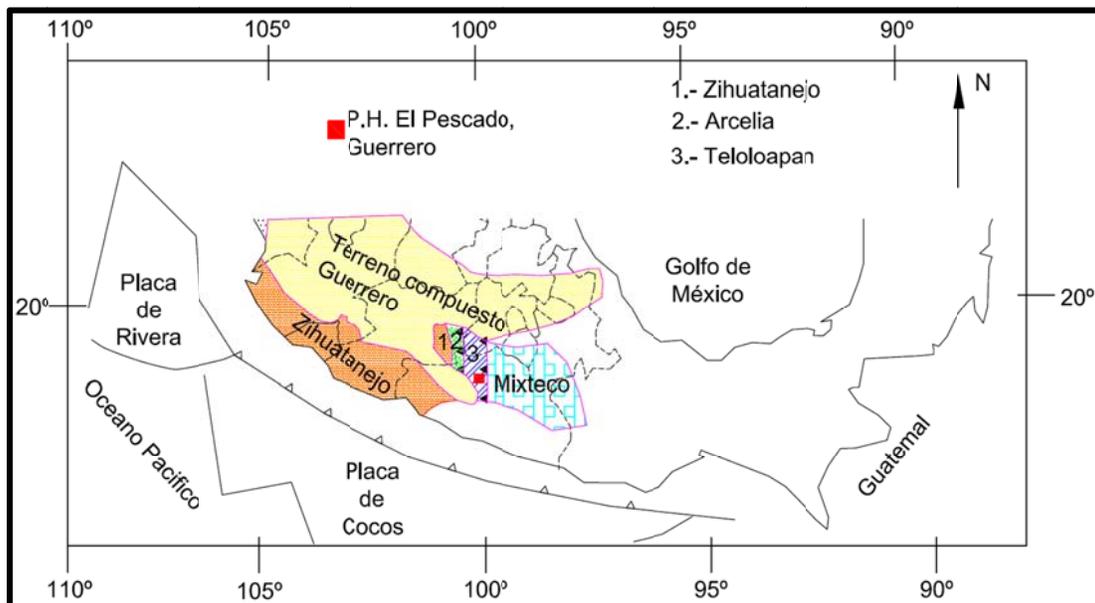


Figura 2.9. Tectónicamente el área de estudio se localiza en el Subterreno Teloloapan, que es parte Terreno Guerrero (tomado de Centeno-García et al., 2008).

El depósito de las unidades en el subterreno Teloloapan comenzó, con la actividad magmática en el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano representada por la Formación Villa de Ayala asociada a un arco de islas; posteriormente en el Aptiano Superior se deposita la Formación Acapetlahuaya, luego ocurre el depósito de la Formación Amatepec durante el Aptiano Tardío-Albiano Tardío y su cambio de facies de la Formación Teloloapan y, finalmente, el evento culmina con el depósito tipo “*Flysch*” de la Formación Pachivia en el Albiano-Cenomaniano.

En el Cretácico Tardío-Paleógeno temprano, ocurrió la Orogenia Laramide en el oeste de Norte América. Este evento es asociado con el origen de la Sierra Madre Oriental, que aparentemente coincide con el final de la formación del Terreno Guerrero, evidenciado por la presencia de fallas inversas, donde las unidades litológicas del Subterreno Teloloapan, cabalgan sobre las unidades sedimentarias de la plataforma calcárea de Guerrero-Morelos.

Finalmente, sobre todas las secuencias antes descritas se depositan rocas volcánicas extrusivas en dos eventos diferentes, el primero de composición intermedia y el segundo de composición ácida; ambos asociados a la actividad de la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre del Sur.

2.4. Estudios geofísicos

Los estudios geofísicos con los que se cuentan en la zona de interés son 3 y se realizaron en el periodo de mayo a agosto de 2011 por la CFE (CFE, 2011). Los métodos aplicados corresponden con el de Resistividad Eléctrica, Sísmica de Refracción y Dispersión de Ondas Superficiales, mismos que se reportaron en 2 informes. Uno de ellos, contiene los resultados de los métodos de TRS y SEV y el otro, el de Dispersión de Ondas Superficiales.

Las características de los estudios geofísicos que se realizaron en la zona de estudio se resumen en la Tabla 2.1.

***Tabla 2.1** Detalle de los trabajos geofísicos.*

Actividad	Cantidad	Unidad
Levantamiento e interpretación de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	112	SEV
Levantamiento e interpretación de tendidos de refracción sísmica	36	TRS
Levantamiento e interpretación de 35 secciones	11,250	km
Estudio de dispersión de ondas superficiales	1	Estudio
Integración geológico-geofísica	1	Integración

La prospección de estos estudios tienen un alcance de hasta 30,0 m de profundidad, lo que permite conocer los espesores de los materiales poco consolidados, tales como depósitos aluviales, depósitos de suelo residual, de talud, de terrazas aluviales, la capa de roca descomprimida y alterada, así como la profundidad donde se localiza la roca sana y poco fracturada.

No obstante, en la zona del cauce del río no existe información del subsuelo, por lo que la interpretación de los contactos geofísicos en estos sitios fue proyectada con base en los resultados obtenidos en ambas márgenes. Esta información se complementó con las observaciones geológicas realizadas en el sitio.

2.4.1. Resultados de Dispersión de Ondas Superficiales

El estudio lo realizó la CFE en el año 2011 y sus resultados se presentan en un informe conformado en el mismo año (CFE, 2011), del cual fue tomada la información que se menciona a continuación.

El método permite obtener un perfil de la velocidad de onda de corte a partir del ruido sísmico que genera ondas de diferente frecuencia que se propagan en el subsuelo. Se obtuvo un total de 9 perfiles distribuidos en ambas propuestas de eje de cortina (Figura 2.10), 4 para el eje “GEOL” y 5 para el eje “CAPS” (Figura 2.11, 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15).

Los resultados geofísicos obtenidos se presentan a continuación y se retomarán más adelante para integrarlos con los resultados geológicos, con la finalidad de dar el mejor contexto geológico a la zona de estudio y específicamente en los ejes propuestos para la cortina; objeto principal de este trabajo.

2.4.1.1. Alternativa para el eje “GEOL”

Los modelos obtenidos para la alternativa “GEOL” son los siguientes:

Modelo L1. Se ubica en la margen derecha, sobre el trazo del eje “GEOL” en el cadenamiento 0+380 (Anexo 3, Plano P-PHP-SG02, Sección 3G-3G’ y Figura 2.11). En este modelo se puede observar que la primera unidad sísmica presenta una velocidad promedio de onda de corte de 400 m/s, la cual se observa hasta los primeros 6,8 m de profundidad, después se incrementa la velocidad de manera gradual conforme se profundiza, hasta alcanzar valores superiores a los 800 m/s.

Modelo L2. Se localiza en la margen derecha, en el trazo del eje “GEOL”, en el cadenamiento 0+450 (Anexo3, Plano P-PHP-SG02, Sección 3G-3G’ y Figura 2.11). En este punto se obtuvo un modelo de velocidades de onda de corte, el cual nos indica que en los primeros 12,70 m se presentan velocidades menores a los 600 m/s; después se aprecia un mayor incremento de la velocidad con valores de hasta 800 m/s.

Modelo L3. Se localiza en la margen derecha, sobre el trazo del eje “GEOL”, en el cadenamiento 0+530 (Anexo 3, Plano P-PHP-SG02, Sección 3G-3G’ y Figura 2.12). En este punto se obtuvo un modelo que indica velocidades promedio menores a los 550 m/s, en los primeros 6,80 m, posteriormente se observa un incremento gradual de la velocidad con valores de 800 m/s.

Modelo L4. Se ubica en la margen derecha, sobre el trazo del eje “GEOL”, en el cadenamiento 0+650 (Anexo 3, Plano P-PHP-SG02, Sección 3G-3G’ y Figura 2.12), en este punto se obtuvo un modelo que revela tres unidades sísmicas; la primera tiene un espesor de 4,0 m con velocidades menores a los 400 m/s. La segunda unidad sísmica presenta velocidades que fluctúan entre 450 y 620 m/s, cuyo espesor es de 6,0 m. Finalmente, a partir de los 10,0 m se presenta un incremento de velocidad que rebasa los 800 m/s con espesor indefinido.

2.4.1.2. Alternativa para el eje “CAPS”

Los modelos obtenidos son los siguientes:

Modelo L5. Se ubica en la margen derecha, sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+230 (Anexo 4, Plano P-PHP-SC02, Sección 3C-3C’ y Figura 2.13). En este modelo se puede observar que la primera unidad sísmica presenta velocidad menor a los 350 m/s con un espesor que va desde la superficie hasta los 4,8 m de profundidad, después se incrementa la velocidad hasta alcanzar como máximo casi los 600 m/s.

Modelo L6. Se ubica en la margen derecha, sobre el trazo del eje “CAPS” en el cadenamiento 0+290 (Anexo 4, Plano P-PHP-SC02, Sección 3C-3C’ y Figura 2.14). En este modelo se puede observar que la primera unidad sísmica varía sus velocidades entre 350 y 300 m/s, con un espesor de 5,8 m de profundidad, después se incrementa la velocidad hasta alcanzar un poco más de 600 m/s, conforme se profundiza.

Modelo L7. Se ubica en la margen derecha, sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+350 (Anexo 4, Plano P-PHP-SC02, Sección 3C-3C’ y Figura 2.14). En este modelo se puede observar que la primera unidad sísmica se asocia con velocidades bajas, que varían de 400 a 500 m/s hasta los 8,20 m de

profundidad, después se incrementa la velocidad hasta alcanzar como máximo 800 m/s.

Modelo L8. Se localiza en la margen derecha, sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+540 (Anexo 4, Plano P-PHP-SC02, Sección 3C-3C’ y Figura 2.15). En este punto se obtuvo un modelo, el cual indica que en los primeros 3,2 m hay velocidades promedio de 400 m/s. En seguida se registra un incremento gradual de cortante hacia profundidad; pero, en el tramo que va de 7,4 a 9,5 m la velocidad baja notablemente hasta menos de 500 m/s y, finalmente, la velocidad se incrementa nuevamente hasta poco más de los 800 m/s.

Modelo L9. Se localiza en la margen derecha, sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+650 (Anexo4, Plano P-PHP-SC02, Sección 3C-3C’ y Figura 2.15). En este punto se obtuvo un modelo que nos indica velocidades de 400 m/s al primer metro de profundidad y disminuye a partir de este punto hasta los 4,0 m de profundidad a velocidades menores de 250 m/s. En seguida, se presenta una mejoría en las velocidades de cortante; estas alcanzan poco más de los 600 m/s hasta la profundidad de 7,0 m, aunque posterior a este punto, la velocidad vuelve a tener una disminución que llega hasta los 500 m/s; dicha condición se presenta hasta la profundidad de 10,0 m para finalmente, a partir de aquí, mejorar la velocidad hasta llegar casi a los 1000 m/s.

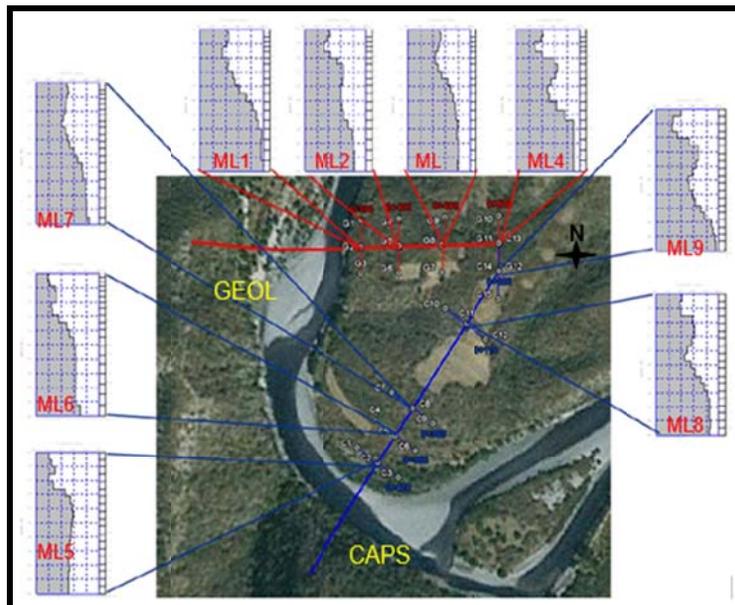


Figura 2.10. Ubicación de los perfiles de velocidad de cortante, la longitud de cada tendido fue de 100,0 m. La línea en color azul indica el sentido de flujo del río Balsas (CFE, 2011).

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

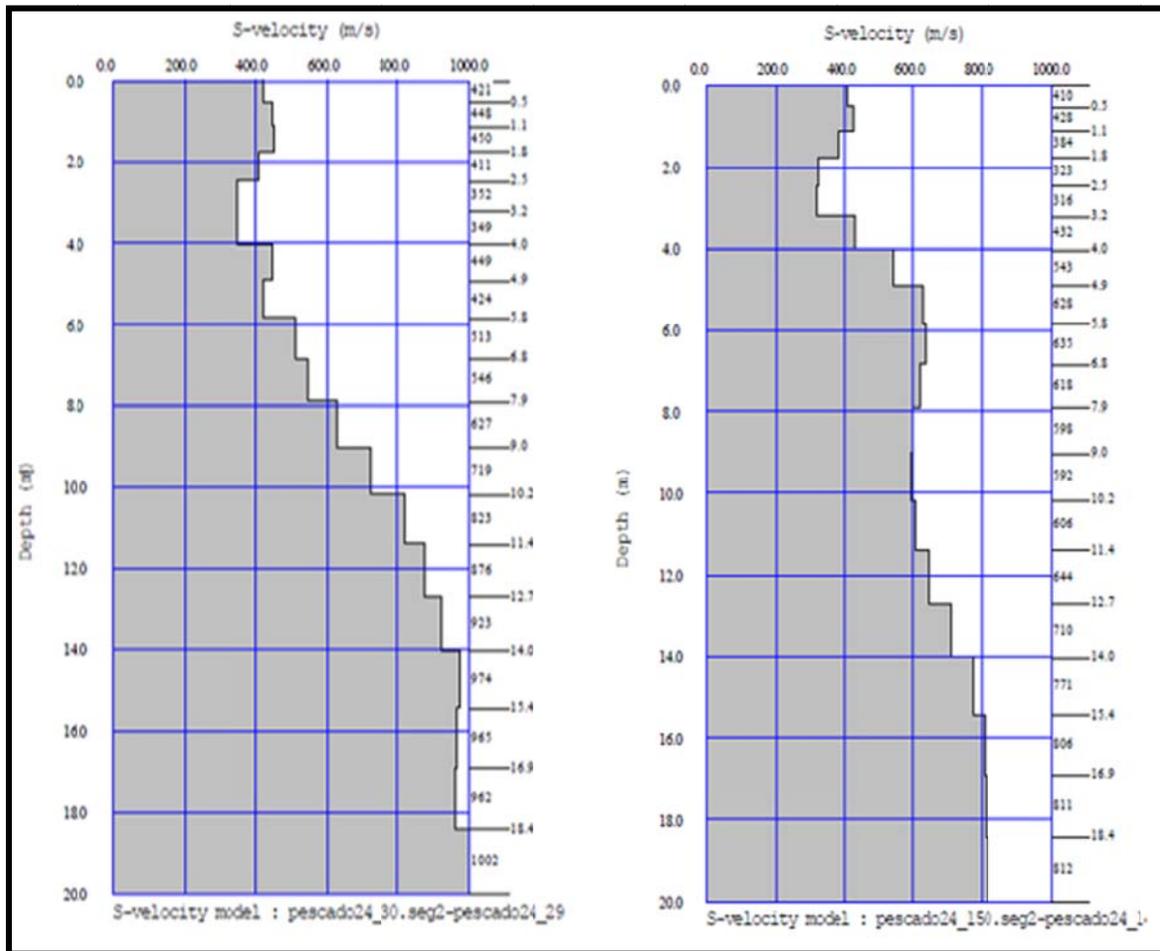


Figura 2.11. Modelo L1 y L2 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje “GEOL”, en el cadenamiento 0+380 y 0+450 respectivamente de la sección 3G-3G’ (Plano P-PHP-SG02).

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

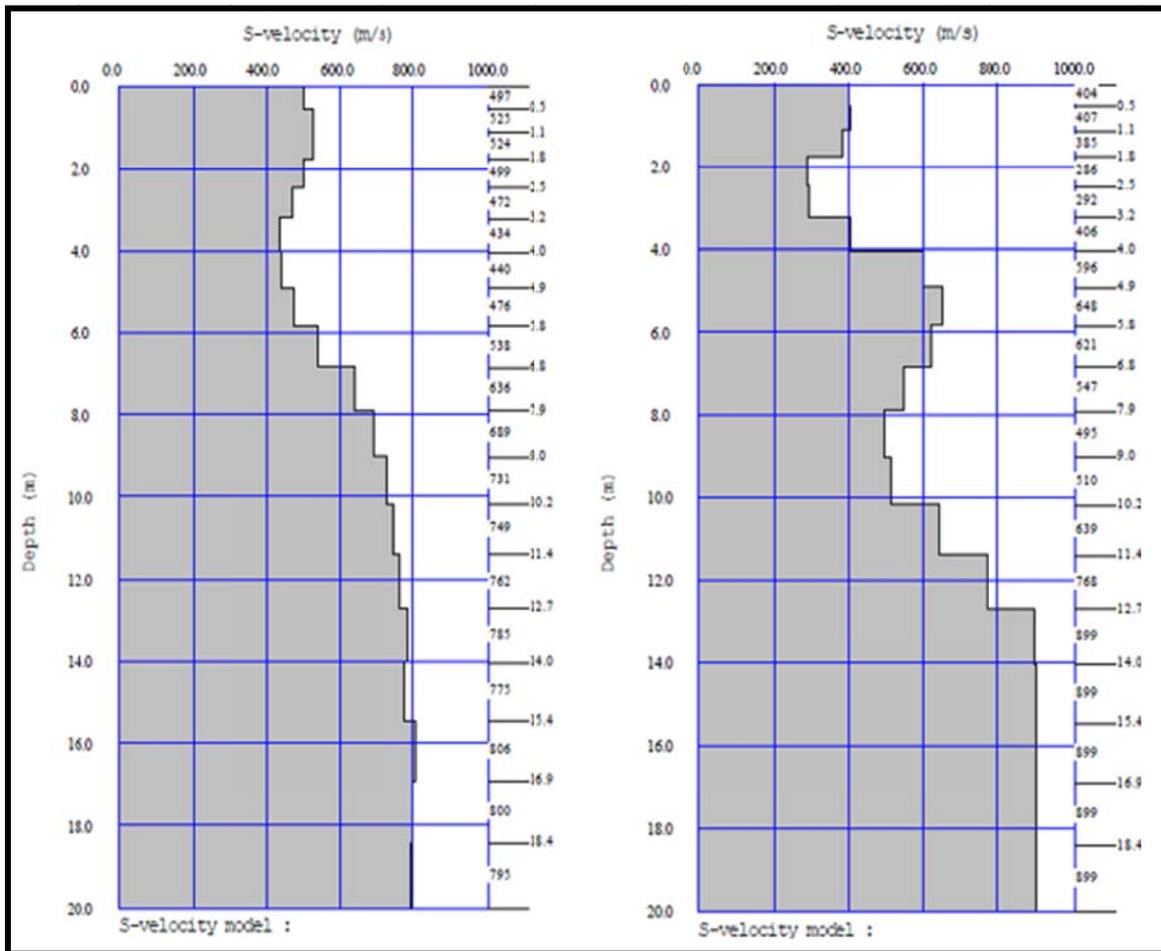


Figura 2.12. Modelo L3 y L4 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje "GEOL", en el cadenamiento 0+530 y 0+650 respectivamente de la sección 3G-3G' (Plano P-PHP-SG02).

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.

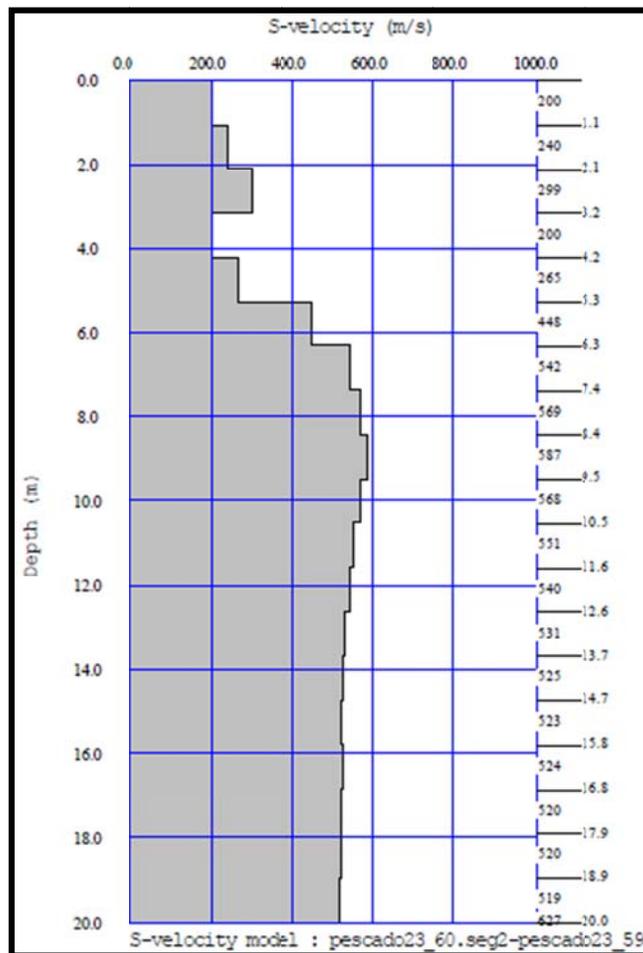


Figura 2.13. Modelo L5 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje "CAPS", en el cadenamiento 0+230 de la sección 3C-3C' (Plano P-PHP-SC02).

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

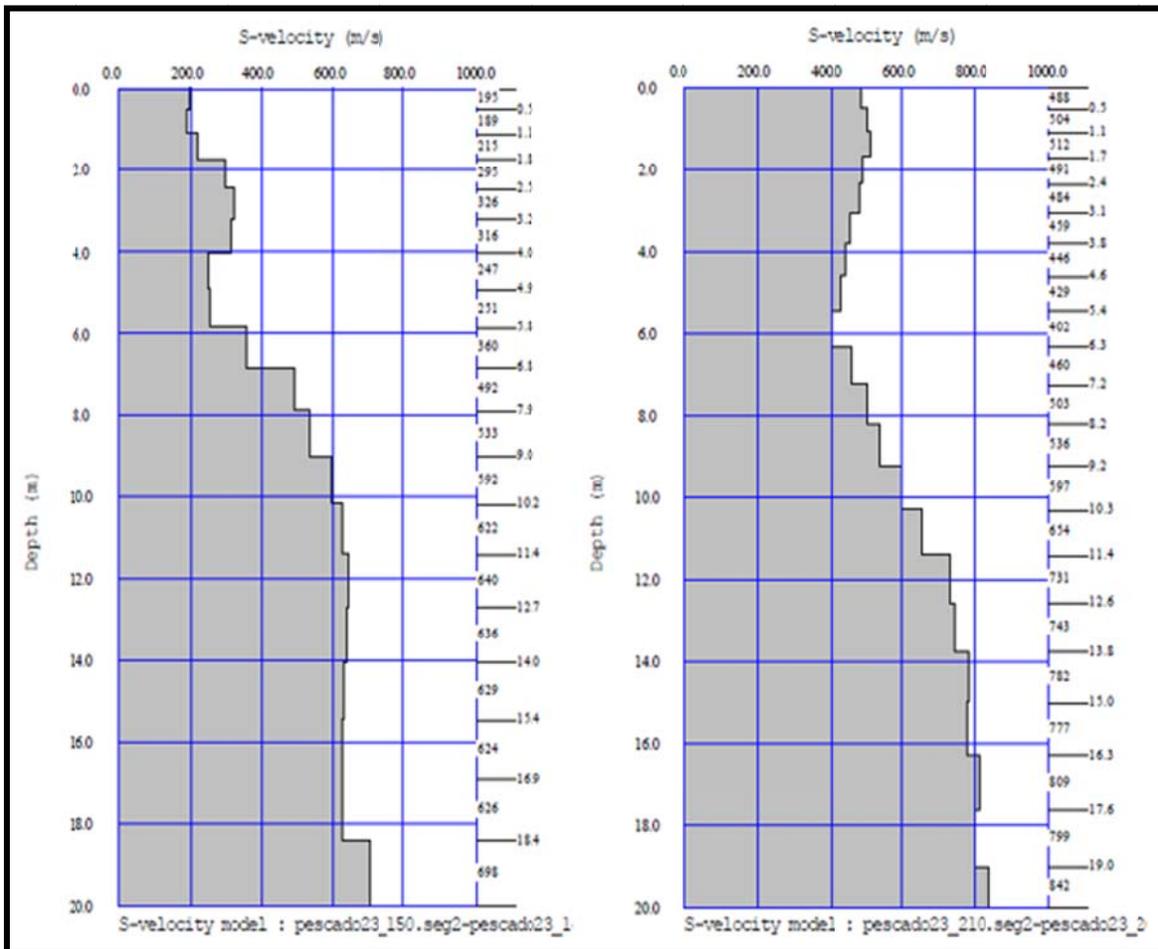


Figura 2.14. Modelo L6 y L7 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+290 y 0+350 respectivamente de la sección 3C-3C’ (Plano P-PHP-SC02).

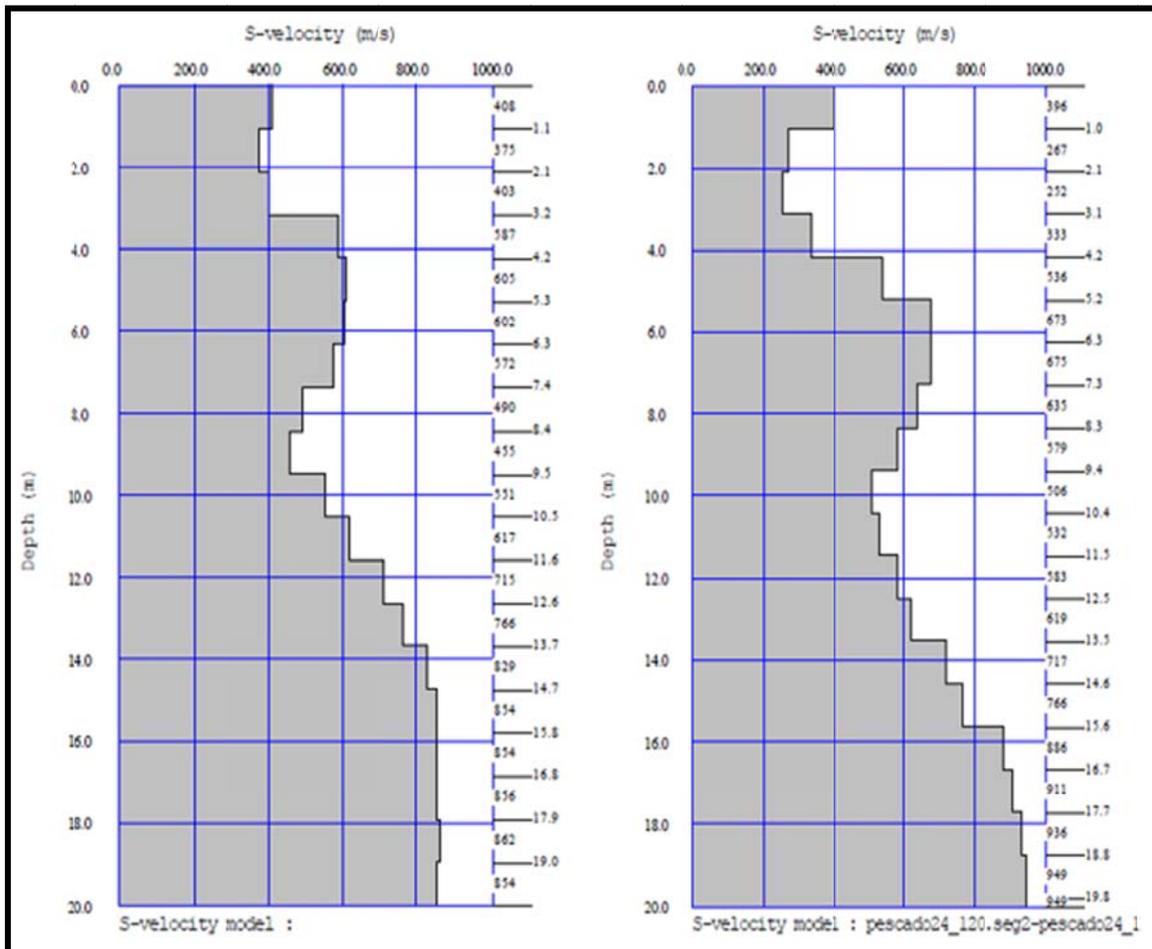


Figura 2.15. Modelo L8 y L9 de velocidad de cortante sobre el trazo del eje “CAPS”, en el cadenamiento 0+540 y 0+650 respectivamente de la sección 3C-3C’ (Plano P-PHP-SC02).

2.4.2. Resultados de Resistividad Eléctrica y Sísmica de Refracción

Asimismo, la CFE realizó el estudio de 35 líneas geofísicas, las cuales se cubrieron con un total de 112 SEV’s y un estudio sísmico que consistió en la realización de 36 TRS para registro de ondas P (Figura 2.15); los resultados de ambos métodos se presentaron en un solo informe (CFE, 2011), mismos que se describen a continuación y más adelante se retomarán para realizar la integración geológica-geofísica de las unidades que conforman el modelo geológico de la zona de estudio.

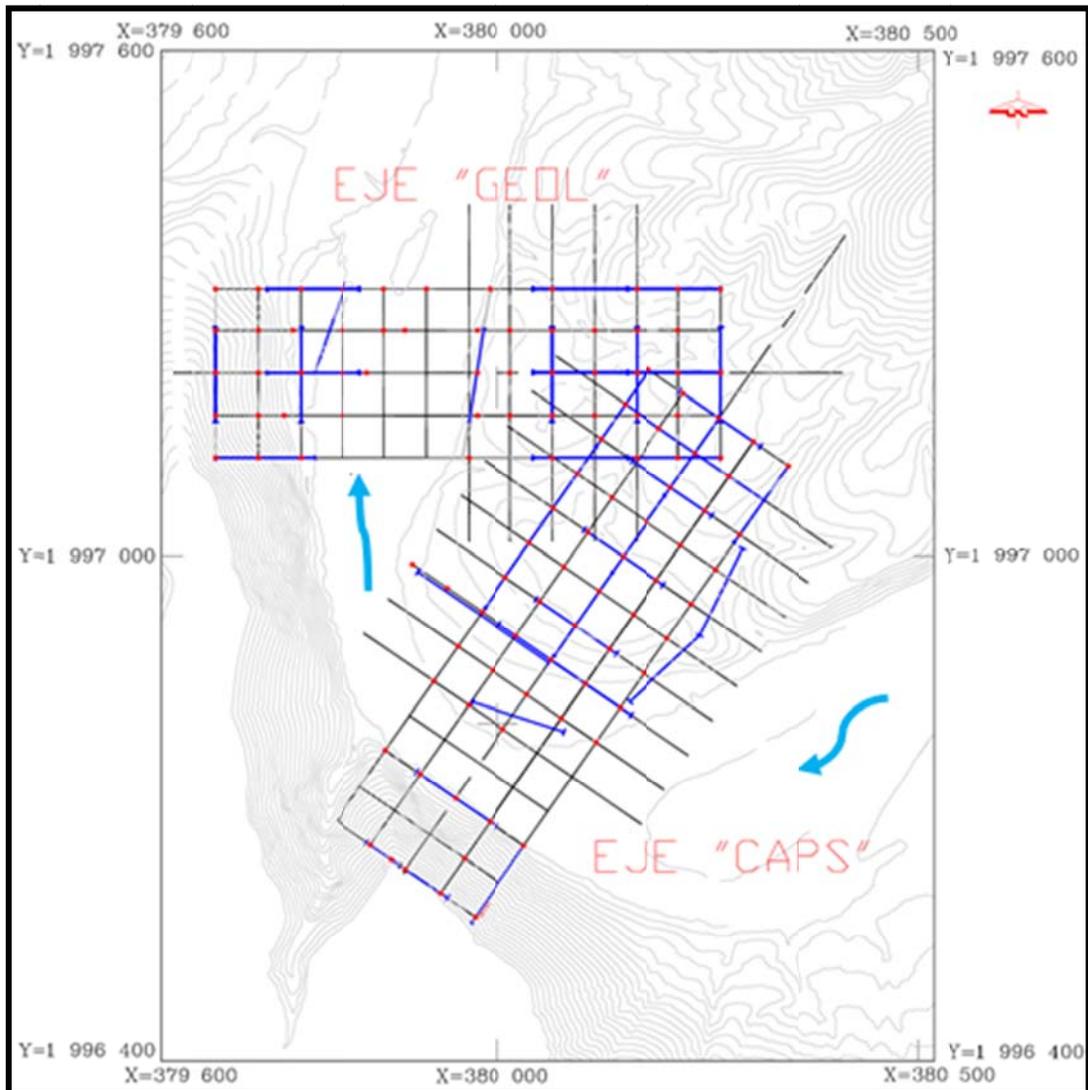


Figura 2.16. Se muestra la distribución de los SEV's y TRS en los dos ejes propuestos. Con puntos rojos se muestran los SEV's ejecutados, con líneas azules los tramos donde se realizaron los TRS y las líneas de color negro corresponden con las secciones geológicas.

Conforme a los resultados obtenidos en ambos sitios estudiados y de acuerdo a los rangos de valores de resistividad eléctrica y los de velocidad de onda compresional, se identificaron 4 unidades geofísicas: U1, U2, U3 y U4 (Tabla 2.2). Además, en la Tabla 2.3 y 2.4 se muestran, como referencia, valores de resistividad y velocidad de onda respectivamente, en los materiales geológicos más comunes y otros.

Unidad U1

Esta unidad geofísica se correlaciona en general con toda la gama de materiales no consolidados, por lo cual se divide en tres subunidades (U1a, U1b y U1c).

Subunidad U1a

Se identifica por su rango de resistividades de 22 a 195 Ω m y velocidades de 0,5 a 1,5 km/s. En los puntos donde la resistividad sea menor a 100 Ω m, deberá considerarse como material formado de arena y boleos de regular tamaño pero sobre todo saturados, debido a que en esos sitios la velocidad del material es de alrededor de 1,5 Km/s, valor común para medios saturados. Y en los sitios donde la resistividad sea mayor a 100 Ω m y la velocidad menor a 1,0 Km/s el material aluvial se considerará no saturado y sin compactación.

Subunidad U1b

Esta subunidad está presente principalmente en la margen derecha de la alternativa del "CAPS" y se encuentra por debajo y por encima de la subunidad U1C; presenta un rango de resistividades de 19 a 267 Ω m, la velocidad del material tiene un rango de 0,4 a 1,7 Km/s, en donde las bajas velocidades corresponden a la zona superficial alterada y las velocidades más altas se presentan a profundidad; sin embargo, debido a que el depósito se compone de materiales del tamaño de las arenas y los guijarros de poca compactación, el material de la subunidad se considera fácilmente removible con medios mecánicos.

Subunidad U1c

Se presenta como un horizonte dentro de la subunidad U1b; los materiales que la forman manifiestan resistividades de 21 a 297 Ω m, similares a la subunidad U1B, sus valores de velocidad son de rango variable, de 0,5 a 1,7 Km/s, se comportan bajo un patrón de menor a mayor velocidad conforme se profundiza, producto de la composición del depósito y al grado de compactación; características que no representan problema para ser removidos por medios mecánicos.

Las unidades geofísicas U2, U3 y U4 corresponden con la unidad lítica de la Formación Acapetlahuya (metalutitas y metaareniscas) y su división se debe a cambios de alteración, compactación y fracturamiento de la roca, los cuales se evidencian principalmente por su respuesta sísmica.

Unidad U2

Esta unidad se asocia con la zona superficial de la roca, la cual se encuentra muy alterada, lo que le imprime la apariencia de suelo; también se observa muy fracturada y esto corresponde con los valores de velocidad de onda compresional que varían de 0,3 a 0,8 Km/s, mientras que la resistividad varía de 15 a 344 Ω m, características que acusan heterogeneidad en los materiales, producto de la alteración e intemperismo.

Unidad U3

Presenta valores de resistividad de 28 a 545 Ω m, similares a los de la unidad U2; la diferencia entre ellas está marcada por sus valores de velocidad de onda compresional, mayores en esta unidad con rango de 1,5 a 2,5 Km/s, lo cual indica que las condiciones de compactación en la roca mejoran. En esta unidad los valores menores a 100 Ω m combinados con velocidades menores o iguales a un valor de 1,6 km/s se deberán considerar como saturados, mientras que valores mayores en ambos parámetros indicarán fracturamiento sin saturación en el medio.

Unidad U4

Corresponde al basamento local del área, sus valores de resistividad de 103 a 700 Ω m indican poco fracturamiento, aunque, en sitios donde los valores de velocidad sean menores a 3,0 km/s, se infiere un fracturamiento donde dichas discontinuidades pueden estar abiertas. La unidad se distingue principalmente por los valores de velocidad de 2,6 a 4,5 Km/s.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

Tabla 2.2. Unidades geofísicas determinadas en la zona de boquilla.

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (Vp) (Km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESFESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA
U ₁	U _{1a}	0,5 - 1,5	22 - 195	1,5 - 20
	U _{1b}	0,4 - 1,7	19 - 267	1,0 - 20
	U _{1c}	0,5 - 1,7	21 - 297	1,0 - 6,0
U ₂	0,3 - 0,8	15 - 334	3,0 - 5,0	Muy mala
U ₃	1,5 - 2,5	28 - 545	7,0 - 15	Muy mala a regular
U ₄	2,6 - 4,5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena

Tabla 2.3. Valores de resistividad de las formaciones geológicas más comunes (tomado de Gonzáles de Vallejo, Ferrer y Oteo, 2002).

Materiales	Resistividad ρ (Ω m)
Margas	50-5.000
Calizas	300-10.000
Pizarras	100-1.000
Granito	300-10.000
Arcillas	1-20
Arenas	50-500
Conglomerados	1.000-10.000
Areniscas	50-5.000
Aluviones	50-800

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

Tabla 2.4. Velocidad de ondas P en Km/s (tomado de Gonzáles de Vallejo, Ferrer y Oteo, 2002).

Velocidad de ondas P en km/s							
	0	1	2	3	4	5	6
Aire	■						
Agua		■					
Hielo				■	■		
Suelo	■						
Arenas		■	■				
Arcillas		■	■				
Esquistos			■	■	■		
Areniscas			■	■	■		
Calizas			■	■	■	■	
Dolomías				■	■	■	
Sal					■	■	
Yeso				■	■		
Anhidrita					■	■	
Granito					■	■	■
Gneiss					■	■	■
Basalto						■	■

CAPÍTULO 3. GEOLOGIA DEL EMBALSE

Para entender el modelo geológico de la región de estudio, se realizó un reconocimiento litológico y estructural de un área aproximada de 7,0 km², donde se cartografiaron las diferentes unidades litológicas y las principales características de deformación superficial como fracturas, fallas, contactos litológicos, foliación, pliegues, etcétera, que afectan a las unidades geológicas que afloran en el embalse (Figura 3.1) a escala cartográfica 1: 5 000.

El embalse del PH El Pescado desarrolla una longitud de aproximadamente 15,0 km, de los cuales sólo los primeros 3,0 km a partir de los ejes de cortina, se cartografiaron, ya que no se tiene permitido el acceso a partir de este punto, por cuestiones sociales.

Con el desarrollo del embalse se alcanzará una cota de inundación de 407 msnm, dato que corresponde con el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME). Asimismo, la cola del futuro embalse terminará 3,0 km antes del eje de cortina de la CH El Caracol, medidos en línea recta (Figura3.2). Además, la zona de inundación no afectará los poblados de Tetela del Río y Los Britales.

3.1. Geomorfología

La provincia magmática de la Sierra Madre del Sur se desarrolló en un periodo caracterizado por cambios significativos en la geometría e interacciones cinemáticas de las placas que conforman el entorno tectónico del sur de México. Asimismo, como en las condiciones dinámicas de las diferentes etapas de deformación de la corteza en esta región.

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona cartografiada se caracteriza por desarrollar geoformas con pendientes abruptas, formación de cañones profundos y cauces con secciones en “V” y “U”, pero, también, se presentan lomeríos con pendientes poco más suaves y con cimas redondeadas; todos esculpidos a expensas de las rocas metamórficas que afloran en la región (Fotografía 3.1).

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

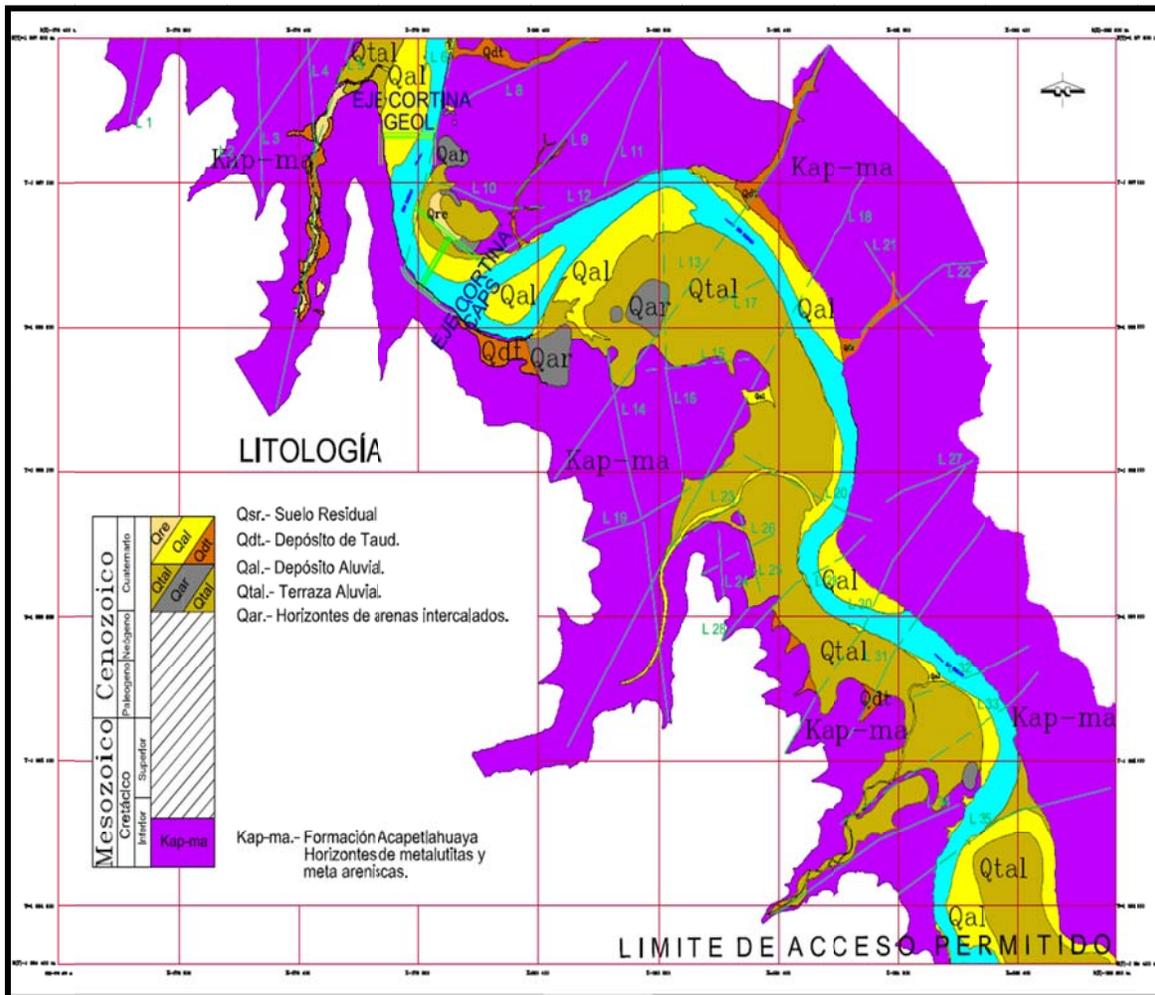


Figura 3.1. Geología de la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.

En el área cartografiada del río, a lo largo del embalse, se observan sierras alargadas con cimas redondeadas con alturas de hasta 590 msnm en la margen derecha y 500 msnm en la margen izquierda. En general, el río en la zona de estudio tiene una dirección hacia el NW y forma meandros en donde se observan grandes planicies cortadas por escarpes de pendientes abruptas.

Un aspecto que resalta es la formación de terrenos de gran extensión semiplanos con ligera pendiente en dirección hacia el río a partir de los ejes de cortina y, a lo largo del embalse, sobre la margen izquierda (Figura 3.1 y Fotografía 3.1). Toda esta zona está conformada por material de acarreo del río (Terrazas aluviales Qtal), por lo que es posible pensar que el cauce se encontraba más hacia el Oeste y fue desplazado a su posición actual por el fallamiento terciario; además, las

fallas truncurrentes que se infieren debido a los cambios repentinos en la dirección del flujo del río, precisamente ayudan al depósito y acumulación de grandes espesores y extensiones considerables de material de acarreo.



Figura 3.2 Longitud de la zona de embalse del PH El Pescado. La línea en color negro indica la zona cartografiada (CFE, 2011).



Fotografía 3.1. Panorámica del relieve topográfico de la margen izquierda de la zona de embalse. Nótese la grande extensión de los depósitos de Terraza aluvial.

lentes delgados de caliza, algunos metaconglomerados, metabrechas volcánicas, metaarenisca, tobas, metalutitas y flujos de lava de estructura masiva de composición básica a intermedia (Campa *et al.*, 1974 y 1979; Guerrero-Suástegui *et al.*, 1990 y Guerrero-Suástegui, 2004).

En el área del embalse la Formación Acapetlahuaya se compone básicamente de una alternancia de metalutitas y metaareniscas (Fotografía 3.2), así como de metaconglomerados, aunque estos últimos son relativamente escasos.

En general toda la unidad se encuentra con un incipiente metamorfismo regional, producto de esfuerzos tectónicos que deformaron la roca, por lo que es difícil distinguir la continuidad de los estratos. En ocasiones, fue posible reconocer el paralelismo entre dicha discontinuidad y la foliación.



Fotografía 3.2 Secuencia interestratificada de metaareniscas y metalutitas afectadas por un metamorfismo incipiente. Nótese la orientación paralela de la estratificación y la foliación.

Las metalutitas en estado sano presentan un color gris claro a oscuro, de textura foliada de grano fino, con estructura compacta y plegada debido a la fuerte deformación a la que fue sometida. Su composición mineralógica no es observable debido al tamaño de grano; sin embargo, como minerales secundarios se presenta cuarzo de segregación, trazas de calcita y hematita en forma de vetillas y en delgadas escamas o costras en las superficies de las discontinuidades.

En general la roca es dura, compacta, densa y en algunas zonas llega a desarrollar incipiente esquistosidad; en cuanto al espesor de los estratos varían de 0,30 a 0,50 m e incluso se llegan a presentar estratos laminares (Fotografía 3.3).



Fotografía 3.3. *Las metalutitas son de color gris claro a oscuro en roca sana y se fractura a lo largo de los planos de foliación, condición que produce láminas delgadas paralelas a dicha estructura.*

Cuando la roca presenta intemperismo es de color pardo amarillento a ocre, es deleznable, se rompe a lo largo de los planos de foliación y llega a formar suelo residual cuando el intemperismo es avanzado (Fotografía 3.4).

Los horizontes de metaareniscas son de color gris claro a oscuro en estado sano, de textura granoblástica de grano fino a medio, constituida mineralógicamente de fragmentos de roca, calcita y en menor cantidad de cuarzo, sostenidos en una matriz fina muy recrystalizada que le da un aspecto sacaroso y que, en ocasiones, llega a desarrollar foliación. En general la roca presenta buena resistencia mecánica, es densa y de estructura compacta.



Fotografía 3.4. Las metalutitas en roca intemperizada son de color amarillo ocre, son deleznable y de baja resistencia mecánica.

El fracturamiento en esta litología es regular a moderado; en ocasiones se presentan rellenas de calcita o contacto roca a roca (Fotografía 3.5). En algunos afloramientos fue posible observar espesores de los estratos de hasta 0,70 m.

Intemperizada muestra tonalidades pardas amarillentas, lo que le imprime baja resistencia mecánica; así también es posible observar alteración argílica, tonalidades verdosas por cloritización y silicificación.

El contenido de horizontes de metaconglomerados en toda la unidad litológica es escaso. El conglomerado metamórfico presenta un color gris oscuro a gris claro, de aparente textura granoblástica, los líticos que se encuentran sostenidos en la matriz están ligeramente orientados y alargados en una misma dirección (Fotografía 3.6). La matriz es fina y recristalizada por el grado de metamorfismo que afecta a la unidad. En general se tiene una roca de alta resistencia mecánica y poco fracturada.

Se observa que todas las rocas que integran a la Formación Acapetlahuaya presentan estructuras del tipo de las estilolitas, cuyo relleno es de calcita. Estas estructuras generalmente infieren esfuerzos compresivos en dirección NNE-SSW.



Fotografía 3.5. Detalle de un afloramiento de metaarenisca, afectada por un grado bajo de fracturamiento.

Las alteraciones más evidentes en la unidad lítica corresponden con la cloritización, oxidación y silicificación; esto provoca que las rocas adopten tonalidades verdosas y pardas respectivamente, así como mayor dureza.

La Formación Acapetlahuaya ha sido altamente tectonizada, por lo que se dificulta definir la relación de sus contactos, pero aparentemente cambia lateral y transicionalmente hacia la Formación Villa de Ayala, que en este caso no aflora en nuestra zona de estudio.

La edad asignada a esta formación corresponde al Aptiano, mediante su contenido faunístico de radiolarios y amonitas (Campa *et al.*, 1974; Talavera-Mendoza *et al.*, 1995 y Guerrero-Suástegui, 2004) y se reportan espesores que pueden variar de 100,0 a 300,0 m.



Fotografía 3.6. Los horizontes de metaconglomerado se componen de líticas de metalutitas y calizas, sostenidos en una matriz fina, los cuales están ligeramente orientados y alargados en una misma dirección.

3.2.2. Cuaternario

3.2.2.1. Terraza Aluvial (Qtal) – Arenas (Qar)

Este depósito de materiales no consolidados aflora con una extensión importante en la zona de la boquilla y a lo largo del embalse sobre la margen izquierda del río Balsas (Anexo 1, Plano P-PHP-GE). Se trata de sedimentos de tipo aluvial que se acumularon en playones antiguos antes de que el río socavara su cauce actual.

El depósito se compone de gravas con guijarros polimícticos empacados en arena de grano grueso a fino (Qtal) de color amarillo ocre (Fotografía 3.7). Todos los clastos tienen formas subangulosas a subredondeadas.

En la zona de boquilla, esta terraza llega a presentar un horizonte intermedio de arenas gruesas de color gris oscuro (Qar); no obstante, a lo largo del embalse la parte superior de la terraza aluvial parece haber sido erosionada, por lo que las arenas afloran en su totalidad. En toda esta zona el Qar tiene una compacidad baja, con espesores de hasta 6,0 m aproximadamente (Fotografía 3.8).

Las arenas se componen principalmente de fragmentos líticos, cuyas formas son, en su mayoría, subangulosas, lo que sugiere un transporte relativamente corto y su posterior depósito.



Fotografía 3.7. Gravitas con guijarros polimícticos empacados en arena de grano grueso a fino que conforman la terraza aluvial.



Fotografía 3.8. Horizonte de arena (Qar) que aflora por encima de la terraza aluvial (Qtal) en la zona de embalse.

En general, todos los materiales que conforman esta secuencia sedimentaria (Q_{tal}) forman superficies peniplanares con cierta inclinación hacia el cauce del río y espesores estimados que pueden variar de 15,0 a poco más de 20,0 m aproximadamente.

3.2.2.2. Depósitos Aluviales (Q_{al})

Estos materiales tienen una distribución muy amplia en la zona de boquilla, donde llegan a formar playones con espesores considerables (Fotografía 3.9), que pueden ser aprovechados para la construcción de la obra, ya que se traducen a escasos boleos de hasta 0,25 m de diámetro, gravas y arenas bien clasificados, cuya composición litológica consiste, de manera general, en rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas, tanto de composición ácida como básica; las rocas ígneas son las de mayor abundancia.

Entonces, los tipos de rocas presentes son: ígneas intrusivas como granitos, granodioritas y pórfidos andesíticos; rocas intermedias extrusivas básicas como las andesitas y ácidas como las riolitas; sedimentarias marinas tales como calizas y, finalmente, metamórficas del tipo de la metaarenisca y metalutita.

Todos estos materiales tienen formas subredondeadas a redondeadas, lo cual implica grandes distancias de transporte hasta su depósito, ya que esto permite el desgaste de las aristas por el choque y arrastre de los clastos.

3.2.2.3. Depósitos de Talud (Q_{dt})

Los depósitos de talud son escasos y de espesores de hasta 2,0 m. Básicamente se componen de fragmentos de roca de hasta 0,20 m de diámetro, predominando los tamaños de las gravas. En general, los líticos están empacados en una matriz arcillo-arenosa de color pardo y gris oscuro.



Fotografía 3.9. Detalle de los depósitos aluviales del río Balsas.

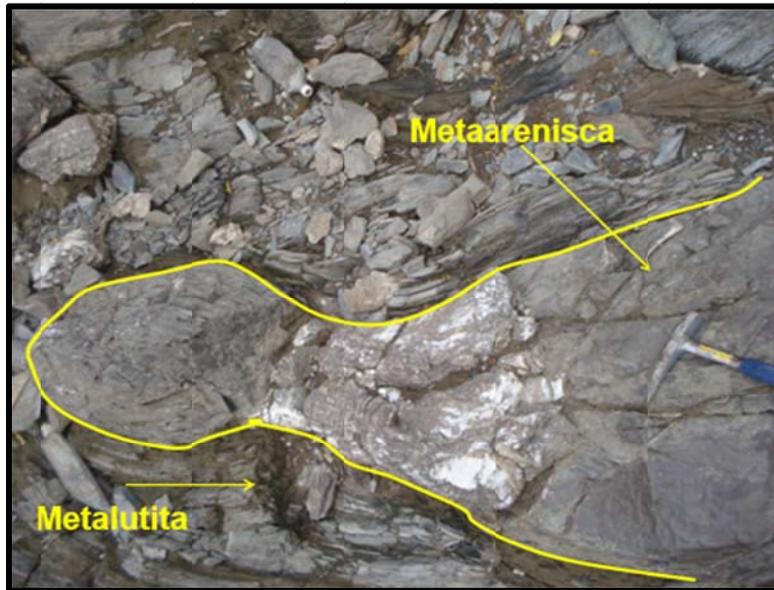
3.3. Geología Estructural del embalse

El Terreno Guerrero y en particular el Subterreno Teloloapan, ha sido objeto de estudio por varios años; su origen y evolución geológica resulta bastante compleja de interpretar, debido a su complejidad estructural, producto de más de un evento de deformación.

Las deformaciones de la roca se observan claramente en toda la unidad metamórfica que aflora en la zona de estudio; estructuras tales como pliegues, fallas, fracturas, foliación, estilolitas, vetillas de calcita, entre otras, son evidencia clara de diversos patrones de esfuerzos que afectaron el macizo rocoso.

Otras estructuras vistas en campo son debidas a la diferente competencia de la roca; las metalutitas son más dúctiles en comparación con las metaareniscas, por lo que al ser deformadas y plegadas, se forman estructuras propias de “*budinage*”.

Debido al “*budinage*”, es posible observar capas de metaarenisca estranguladas (Fotografía 3.10), en varias ocasiones estas capas son desplazadas por el fuerte fracturamiento.



Fotografía 3.10. Estructuras “Budinage”, donde se puede ver el estrangulamiento de horizontes o capas de meta arenisca rodeadas por capas de metalutita de mayor ductilidad.

3.3.1. Lineamientos y relación con los eventos de deformación

Para la zona de embalse del proyecto, los patrones de deformación tienen un tren estructural principal de orientación NE-SW, cuyos rasgos pueden responder a fallas, fracturas, ejes de pliegues, contactos entre dos unidades litológicas diferentes o bien, de acuerdo a la discontinuidad más persistente en las rocas de la zona, la foliación.

De acuerdo con la Figura 3.4, se puede observar que el río y la mayoría de sus afluentes son controlados por los patrones estructurales de orientación NE-SW principalmente, lo que provoca en ciertas partes cambios en la dirección del flujo del río, que en ocasiones llega a ser a 90°, lo cual sugiere la existencia de fallas de tipo lateral. Estos cambios del río contribuyen en la formación de meandros en donde se acumulan grandes depósitos de material aluvial, lo que origina playones de grandes extensiones y terrazas con volúmenes considerables de material de acarreo.

3.3.1.1. Lineamientos NE-SW.

Estos lineamientos son los más persistentes y continuos en la zona del embalse, se extienden de margen a margen con una orientación NE-SW y en ocasiones tienden a ser E-W

La relación cinemática de estas discontinuidades por su orientación y continuidad, pueden ser asociados a fallas laterales y normales originados por la deformación Transcurrente.

Tal es el caso de las Fallas 3, 5 y 7 (ver Figura 3.6) identificadas tanto en la zona de embalse como de la boquilla. Las Fallas 3 y 7 se localizan en la margen izquierda en dos cañadas de rumbo general NE-SW en la zona de boquilla, y la Falla 5 localizada en margen derecha aguas arriba de ambas alternativas de eje de cortina.

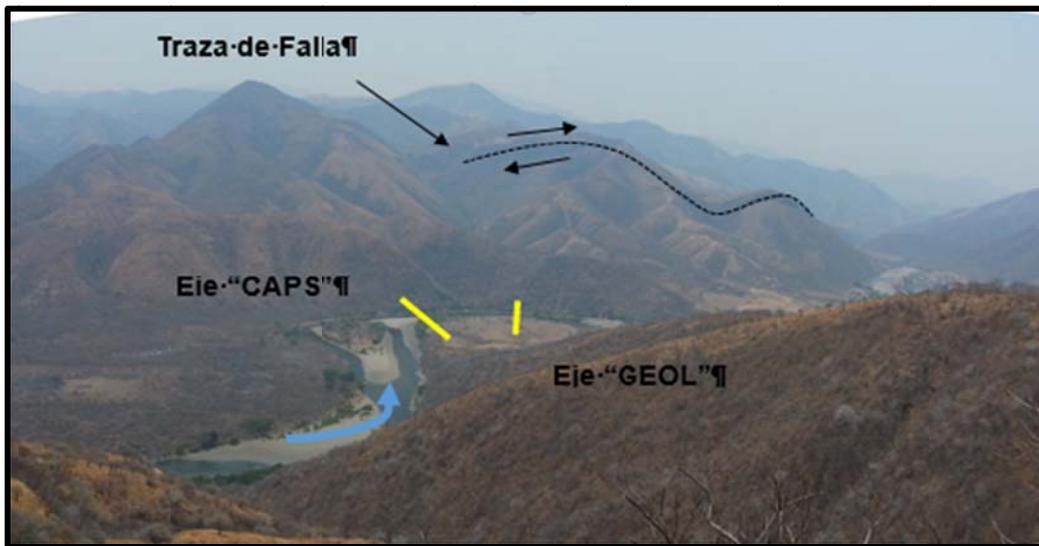
Importante mención requiere el lineamiento L12, debido a que presenta una traza regional de gran extensión identificada en el análisis estructural regional. Dicha discontinuidad cruza de margen a margen a la altura casi del eje "CAPS" (Figura 3.4 y 3.5), donde produce un cambio del río bruscamente, por lo que se le relaciona con un fallamiento lateral izquierdo, de acuerdo con las características del relieve.

En conclusión, todas estas estructuras presentan orientaciones generales y cinemáticas compatibles con el primer evento de deformación Transcurrente ocurrida en el Terciario, en donde también se generaron fallas normales asociadas a esfuerzos transtensivos que actuaron en dirección NW-SE.

3.3.1.2. Lineamientos N-S.

Los lineamientos identificados con esta orientación son los que mejor representan la deformación Laramide en el sur de México; sin embargo, para la zona del embalse es poco persistente. En margen derecha a 3 000,0 m, aguas arriba de los ejes de cortina, se tiene la cañada de Xochitepec de orientación N-S, con paredes amplias y erosionadas, cuya lineación puede corresponder con alguna estructura antigua producto de dicha orogenia (Figura 3.5).

Además, hacia aguas abajo de los ejes de cortina fue posible determinar una cabalgadura de orientación N10°E con inclinación de 40° al NW, cuya traza observable alcanza aproximadamente 1 350,0 m de longitud (Fotografía 3.11), que si bien, se encuentra fuera de la zona de influencia del proyecto, acusa de manera importante la magnitud de la deformación contráctil en la región.



Fotografía 3.11. Traza de falla inversa, donde la parte que se encuentra detrás de la línea punteada cabalga a la parte inferior de la foto.

3.3.1.3. Lineamientos NW-SE

Estas discontinuidades son las menos persistentes y continuas, por lo que pueden ser reflejo del fracturamiento o foliación de las rocas mesozoicas. No obstante, en la zona de boquilla, se identificó la traza de la Falla 1 y 4 (Figura 3.6) de tipo inverso, y la Falla 8 de cinemática normal con un movimiento de menor magnitud de tipo lateral izquierdo, localizadas en margen derecha e izquierda.

Por sus orientaciones y el tipo de desplazamiento, las Fallas 1 y 4, así como los lineamientos relacionados a ellas, pueden estar estrechamente vinculadas a la deformación Laramide con propagación de esfuerzos hacia el NE. De igual forma, los lineamientos NW-SE quedan bien representados por estructuras tales como la Falla 8, vinculados a esfuerzos transtensivos en dirección NE-SW del evento más reciente de fallamiento transcurrente en el sur de México.

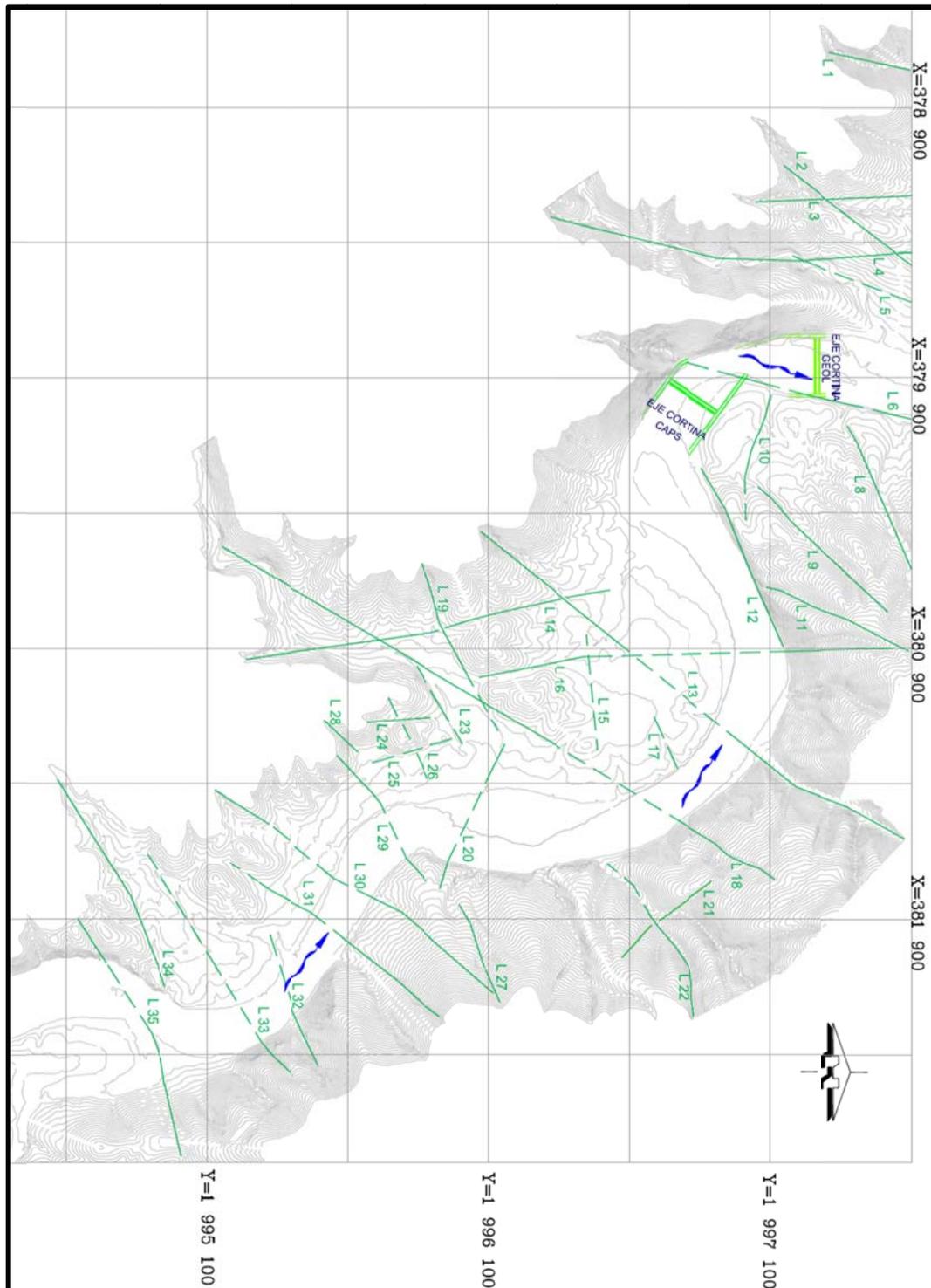


Figura 3.4. Los lineamientos identificados en el área de embalse corresponden con discontinuidades de orientaciones generales que de acuerdo a su persistencia son NE-SW, NW-SE y N-S.

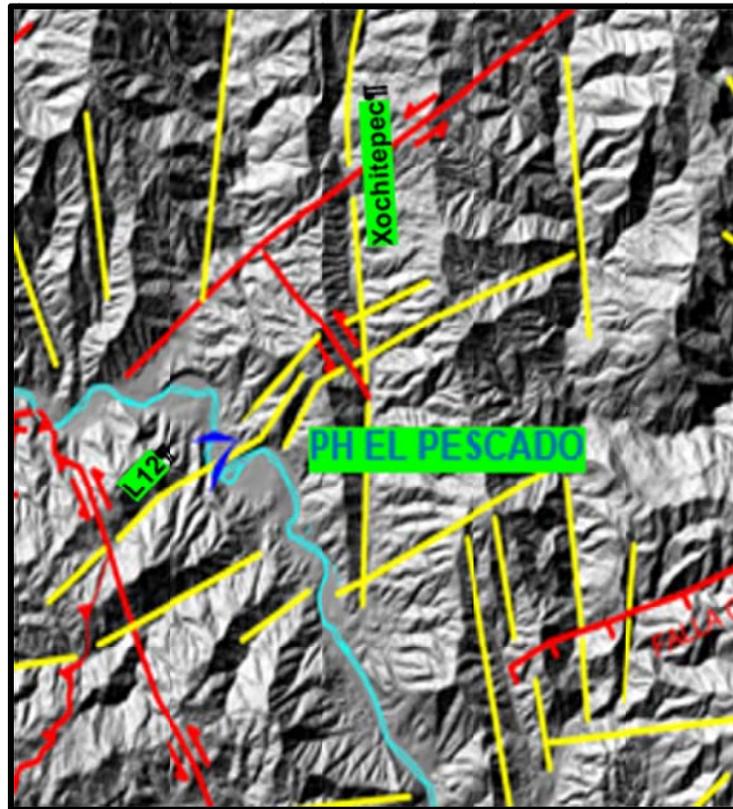


Figura 3.5. Lineamiento de orientación N-S que rige la cañada de Xochitepec, aguas arriba de los ejes y lineamiento L12 que cruza de margen a margen, cerca de la alternativa de eje “CAPS”.

3.3.2. Fallas

Las fallas producidas en condiciones de deformación dúctil son las mejor expresadas en la región. A escala cartográfica del Plano P-PHP-GE (Anexo 1), las estructuras mayores definidas son fallas inversas, pero también se presentan fallas normales y conjugadas (Figura 3.6).

Las fallas 1, 2, 3, 4, 7 y 8 por localizarse en la zona que comprende la cartografía de la Boquilla, se describirán en el apartado correspondiente. De esta manera las fallas 5 y 6 se describen a continuación.

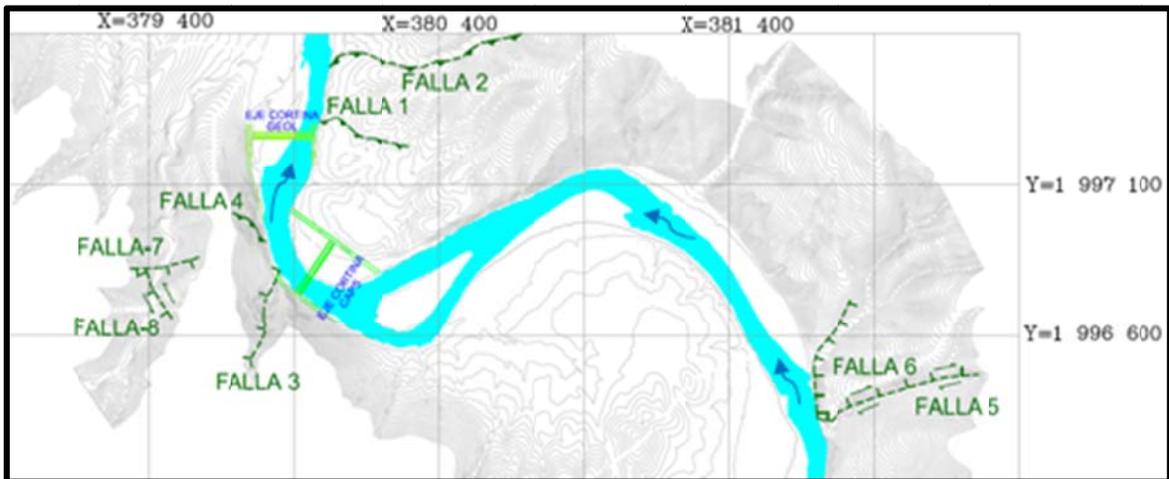


Figura 3.6. Distribución de las fallas localizadas en la zona de boquilla y embalse del PH El Pescado, Guerrero.

Falla 5

Esta discontinuidad se localiza en margen derecha, justamente enfrente del Arroyo Chuluaya, el cual tiene su desarrollo en la margen izquierda. La estructura tiene un rumbo medido N85°W, con inclinación de 49° al NE (Fotografía 3.12), aunque, se infiere que su traza tome una dirección general hacia el NE con 72° a través de una cañada cercana al plano de falla, que bien, pudiera estar regida por esta estructura. Por la cubierta de material de talud y suelo residual, la traza observable es de aproximadamente 5,0 m.

El movimiento entre bloques corresponde con el de tipo normal, evidenciado por escalones y estrías localizados en el plano de falla (Fotografía 3.13). El pitch medido en dichas estrías es de 60° (medida tomada de forma azimutal, en sentido de las manecillas del reloj) por lo que presenta una pequeña componente lateral derecha.

El material de falla corresponde con una brecha de hasta 0,30 m de espesor y en algunos tramos se observa un bajo grado de alteración argílica.



Fotografía 3.12. Falla de tipo normal localizada en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.



Fotografía 3.13. Estrías de falla y escalones que evidencian el movimiento de tipo normal con una componente lateral derecha de menor magnitud, el bloque que falta se movió hacia la parte superior izquierda de la fotografía.

Falla 6

La falla fue localizada a 5,0 m aguas abajo de la falla 5. Muestra una longitud observable de aproximadamente 4,0 m con un rumbo casi perpendicular a la falla 5 de N09°W, con inclinación de 69° al NE.

El movimiento entre bloques de acuerdo a los indicadores cinemáticos (estrías con presencia de mineralización de calcita y escalones) localizados en el plano de falla indican un movimiento de tipo normal (Fotografía 3.14).



Fotografía 3.14. Estrías de falla mineralizadas (Calcita) y escalones congruentes que evidencian un movimiento normal. El bloque caído corresponde con el que contiene las estrías de falla.

La continuidad de la falla hacia el sur, donde se intersecta con la falla 5, no fue posible observarla, debido a que queda cubierta por el espejo de agua del río Balsas. Por lo anterior, la identificación de edades relativas para estas discontinuidades no fue posible establecerla en campo.

Su proyección hacia el Norte, se infiere, que puede estar relacionada con una cañada, donde podría flexionarse hacia el NE a través de la traza de esta, con una longitud de 400,0 m aproximadamente.

3.4. Análisis de discontinuidades

En la cartografía superficial de la zona de embalse se identificaron lineamientos, fallas, fracturas y foliación, cuyas discontinuidades proporcionan gran información sobre los esfuerzos que produjeron la deformación en los cuerpos de roca de la región, así como su análisis en la red estereográfica para cada discontinuidad, en el sentido geotécnico, nos permitirá empezar a reconocer los problemas que pudieran presentarse en cuanto a la formación de cuñas, el cierre hidráulico y óptimo llenado del vaso en el caso de una futura construcción.

3.4.1. Lineamientos

Con base en el análisis de la roseta estructural obtenida con el paquete de computo “*Dips*” versión 5.0.1.3, se determinó un patrón estructural con tres sistemas principales de lineamientos L1, L2 y L3, con rumbos N60°-70°E, N0°-10°W y N40°-50°E, respectivamente (Figura 3.7).

En campo se determinó que los sistemas L1 y L3 cortan a los de orientación con tendencia N-S (L2); esta condición es bastante congruente si se toma en cuenta las deformaciones que afectaron la región; en efecto, la Orogenia Laramide (de edad más antigua) en sus dos eventos de deformación originó estructuras principalmente de tipo inverso con orientaciones N-S y variaciones de algunos grados hacia el NE y NW; la deformación Transcurrente (de edad más reciente) originó principalmente fallas laterales de orientaciones principales NW-SE con tendencias claras hacia el E-W y más escasamente NE-SW a ENE-WSW, por lo que es característico del área observar los lineamientos asociados con la Orogenia Laramide (sistema L2) desplazados y seccionados por aquellos relacionados a la deformación Transcurrente (lineamientos L1 y L3).

La orientación principal (L1) obtenida estadísticamente no corresponde con la deformación regional más importante que originó estructuras de orientación paralela a la trinchera del pacífico, sino más bien, parece responder a los sistemas conjugados de estas estructuras principales.

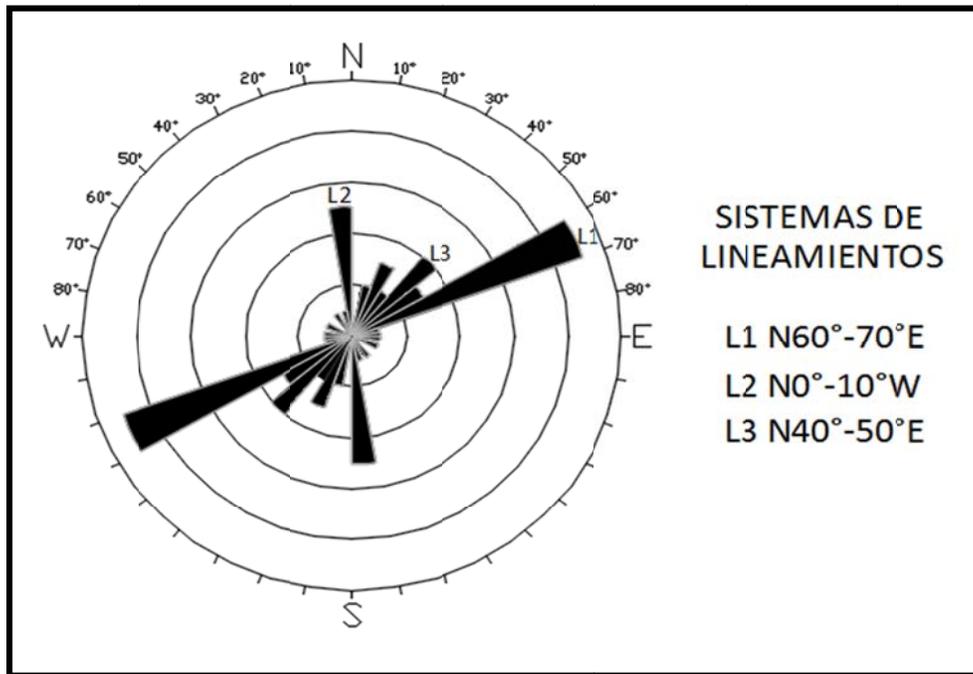


Figura 3.7. Sistemas principales (L1, L2 y L3) de lineamientos para la zona de embalse.

3.4.2. Foliación

Esta discontinuidad es una de las más importantes, debido a que es bastante persistente en la unidad lítica de la Formación Acapetlahuaya.

Para identificar los sistemas preferenciales de esta discontinuidad, se utilizó el paquete de computo "Dips" versión 5.1.0.3, bajo la convención dip/direction, en la proyección estereográfica del hemisferio inferior de la red de schmit de igual área.

Se procesaron un total de 76 datos de foliación correspondientes a la zona del embalse, y se obtuvieron tres sistemas preferenciales para esta discontinuidad (Figura 3.8).

Estos sistemas son los siguientes: el sistema principal debido a su frecuencia y continuidad en el macizo rocoso corresponde con el denominado fo1 de orientación N86°E/53°SE y un segundo sistema denominado fo2 con orientación N29°E/34°NW.

Esta discontinuidad afecta en mayor medida a las metalutitas; sin embargo, las metaareniscas, en ocasiones, también llegan a presentar incipientes planos de foliación debido a la fuerte deformación compresiva a la que fueron sometidas.

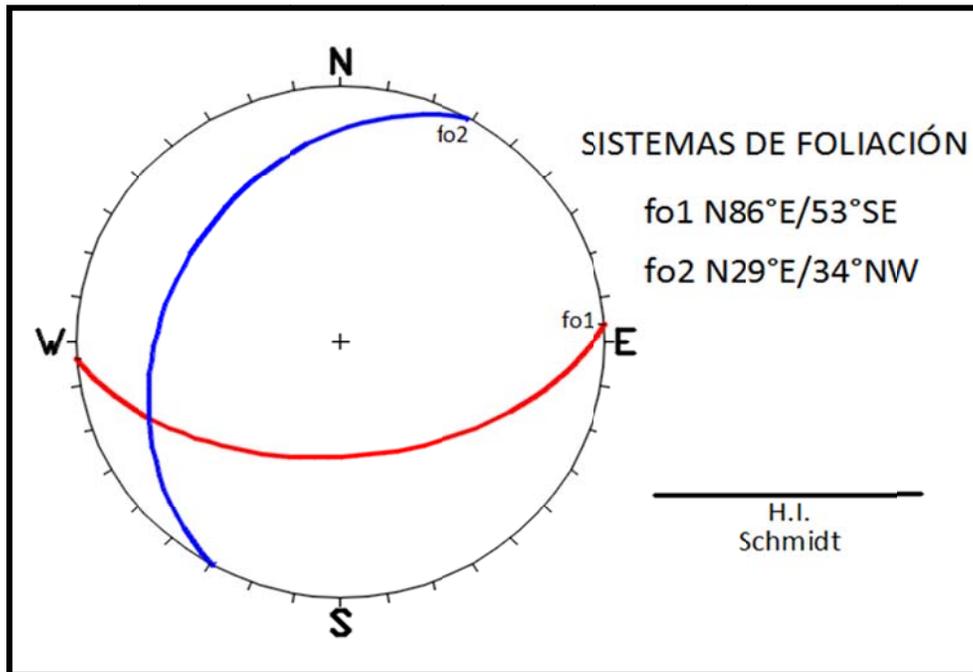


Figura 3.8. Se identificaron dos sistemas preferenciales de foliación para la zona del embalse del PH El Pescado: fo1 N86°E/53°SE y fo2 N29°E/34°NW.

En la Tabla 3.1 se muestran las características de los sistemas preferenciales determinados para la foliación.

Tabla 3.1. Resumen de los sistemas preferenciales de foliación determinados en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.

Sistema	Rumbo	Echado	Litología afectada
fo1	N86°E	45°SE	Metalutitas y en ocasiones meta areniscas (Kap-ma)
fo2	N29°E	34°NW	

Del análisis estereográfico realizado para la foliación podemos comentar lo siguiente:

- El sistema fo2 por su orientación, infiere una estrecha relación con la Orogenia Laramide que plegó y deformó todas las secuencias cretácicas en el sur de México.
- El sistema predominante fo1 de orientación casi E-W también responde a la deformación Laramide, aunque, por su disposición espacial y los cambios repentinos del cauce del río Balsas, no se descarta la posible rotación de las estructuras antiguas laramídicas por la cizalla lateral más reciente de una posición N-S a casi E-W.

3.4.3. Fracturas

El análisis de esta discontinuidad se realizó con 122 datos estructurales, procesados en el paquete de computo "Dips", bajo las mismas características ya citadas, con el cual, se obtuvieron cuatro sistemas preferenciales (Figura 3.9).

El sistema principal por su frecuencia y continuidad en el macizo rocoso corresponde con el denominado f1 de orientación N41°W/63°NE, el segundo sistema f2 de orientación N54°E/66°NW, un tercer sistema f3 de orientación E-W/71°N y, finalmente, el sistema f4 de orientación N15°E/81°SE.

El fracturamiento en la roca presenta en los cuatro sistemas preferenciales, características similares; en roca descomprimida se observan principalmente, superficies abiertas hasta 0,004 m. En roca sana el fracturamiento es, en general, cerrado o con relleno de calcita, que ocasionalmente presenta pirita finamente diseminada.

En superficie, estas discontinuidades presentan sus caras oxidadas, debido al intemperismo que sufre la roca insitu, con superficies plana-lisa, plana-rugosa y en ocasiones ondulada-rugosa.

Los sistemas de fractura en toda la zona de estudio, tienen orientaciones generales en dos pares conjugados, uno NE-SW y NW-SE (f3 y f4) y otro E-W y NNE-SSW (f1 y f2), los cuales determinan un patrón estructural en forma de reja.

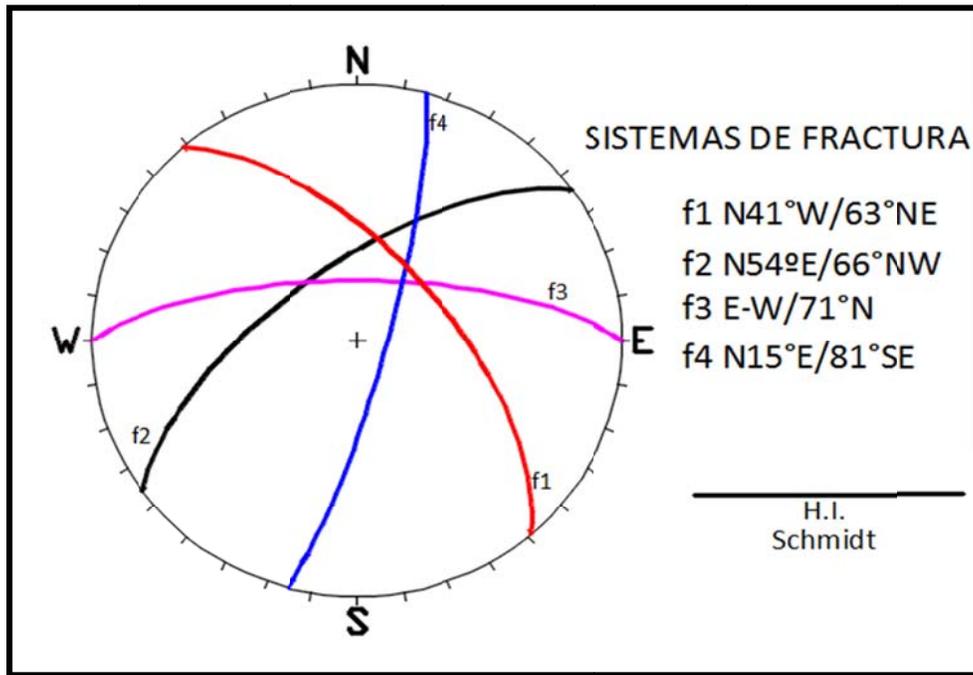


Figura 3.9. Sistemas principales del fracturamiento (f) presente en la Formación Acapetlahuaya, que aflora en la zona de embalse.

En la Tabla 3.2 se resumen los sistemas de fracturamiento presentes en la zona de embalse, los cuales afectan al macizo rocoso de la Formación Acapetlahuaya.

Tabla 3.2. Resumen de los sistemas preferenciales de fracturamiento presentes en el macizo rocoso en la zona de embalse del PH El Pescado, Guerrero.

Sistema	Rumbo	Echado	Litología afectada
f1	N41°E	63°NE	Metalutitas y meta-areniscas (Kap-ma)
f2	N54°W	66°NW	
f3	E-W	71°N	
f4	N15°E	81°SE	

CAPÍTULO 4. GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA

Los trabajos consistieron en caracterizar las unidades litológicas y materiales localizados en las alternativas para eje de cortina (24,0 m de altura), tanto superficialmente como hacia el subsuelo con ayuda de la información geofísica existente en el área de interés; todo esto apoyado con planos topográficos a escala 1:1 000.

En la zona de boquilla y, en particular, en la margen izquierda se presentan pendientes con una fuerte inclinación, lo cual llega a propiciar la formación de cantiles abruptos con inclinaciones subverticales, esta margen llega a alcanzar alturas de hasta 119,0 m; por el contrario, en la margen derecha se llegan a desarrollar terrazas y lomeríos, que alcanzan alturas de hasta 50,0 m, para posteriormente hacia el Este conformar propiamente la sierra con alturas de hasta 80,0 m. El espejo de agua del río se establece en la cota 381 msnm (Fotografía 4.1).



Fotografía 4.1. Se muestra la localización de los ejes de cortina considerados para el proyecto PH El Pescado y las condiciones topográficas y geomorfológicas del sitio.

4.1. Litología

En la zona de la boquilla aflora una secuencia de rocas metamórficas que en gran parte del área se encuentran cubiertas por depósitos de materiales poco consolidados, cuyos espesores pueden pasar los 20,0 m de profundidad aproximadamente (Anexo 2, Plano P-PHP-GB).

4.1.1. Formación Acapetlahuaya (Kap-ma)

En la zona de boquilla La Formación Acapetlahuaya está representada por una secuencia de metalutitas y metaarenisca, así como de afloramientos puntuales de metaconglomerados.

Debido a que la alternancia de metalutitas y metaareniscas aflora en toda el área del embalse y de la boquilla sus características litológicas y estructurales son similares; en donde las metalutitas, en estado sano, presentan un color gris oscuro a gris claro, de textura foliada de grano fino, con estructura compacta y plegada, debido a la deformación compresiva a la que fue sujeta. Estructuralmente presenta esitilolitas, ocasionalmente esquistosidad y fracturamiento cerrado o sellado por calcita en roca sana, y abierto cuando está intemperizada. Mineralógicamente, solo es observable, cristales de pirita finamente diseminada, dispuesta en los planos de foliación y en algunas fracturas (Fotografía 4.2).

De manera superficial la roca a nivel de río se presenta con buenas características geotécnicas, es dura, resistente al golpe con el martillo, densa y con un grado de fracturamiento regular.

En condiciones de intemperismo la roca adquiere un color pardo amarillento, es deleznable, se rompe a lo largo de los planos de foliación y con un grado de fracturamiento regular a alto (Fotografía 4.3 y 4.4), lo que llega a producir la formación de suelo residual.

La metaarenisca en estado fresco tiene un color gris claro, presenta buena resistencia mecánica, es dura, compacta y densa, estas características se observan principalmente en los afloramientos a nivel del río.

De manera general, este tipo de roca tiene una textura granoblástica de grano fino a medio y en escasas ocasiones llega a presentar foliación; sin embargo, la característica principal de su textura es el grado de recristalización de los componentes minerales que da un aspecto sacaroso a la roca. Mineralógicamente se observa calcita, escaso cuarzo y principalmente fragmentos de roca.



Fotografía 4.2. La metalutita en estado fresco presenta resistencia al golpe del martillo. En la imagen se muestra claramente el desarrollo de los planos de foliación.



Fotografía 4.3. La metalutita en roca alterada es de color pardo amarillento y está muy fracturado, cuyo rompimiento es a través de los planos de la foliación.



Fotografía 4.4. Cuando la alteración es muy avanzada es fácilmente disgregable y tiende a formar espesores de suelo residual de hasta 0,50 m.

El fracturamiento en esta roca es regular a moderado; hacia la cima de la formación la roca presenta un grado de intemperismo avanzado imprimiéndole un color pardo amarillento (Fotografía 4.5) y menor resistencia mecánica, lo que permite que la roca se rompa fácilmente al golpe con el martillo.

Es común observar calcita relleno las discontinuidades y ocasionalmente cuarzo de segregación con espesores de hasta 0,10 m, debido a la fuerte deformación a la que estuvo expuesta.

Las alteraciones superficiales presentes en las metalutitas y metaareniscas son la oxidación, argilización, silicificación y cloritización.

En la zona de boquilla, el metaconglomerado tiene una distribución puntual, se identificó únicamente un afloramiento de dimensiones del orden de metros en margen derecha y a nivel del río. Sus características geotécnicas corresponden con una roca de alta resistencia mecánica, es muy dura, resistente al golpe con el martillo debido a que presenta alteración por silicificación.



Fotografía 4.5. El intemperismo avanzado en la metaarenisca permite que se disgregue con facilidad a través de los planos de fractura. Nótese la textura granoblástica de la roca.



Fotografía 4.6. Detalle del afloramiento de metaconglomerado de la formación Acapetlahuaya ubicado en margen derecha del río balsas en la zona de boquilla.

Esta roca tiene un color gris claro a oscuro, de textura granoblástica de grano fino recrystalizada, debido al incipiente metamorfismo que rodea los clastos subangulosos a subredondeados de hasta 0,03 m de tamaño (Fotografía 4.6), afectada por un grado bajo de fracturamiento y con alteración por oxidación.

Las rocas metamórficas de la Formación Acapetlahuaya tienen una distribución en toda la zona de estudio, afloran en ambos márgenes del río, pero, en la margen derecha se encuentra cubierta en gran medida por depósitos no consolidados conformados por terrazas aluviales, suelo residual y aluvión, en comparación con la margen izquierda.

4.1.2. Terraza Aluvial (Qtal) – Arenas (Qar)

Con este nombre se identificó a un depósito de sedimentos de tipo aluvial más antiguos que los del cauce del río. Estos materiales se encuentran distribuidos mayormente en la margen derecha, y están en contacto discordante sobre las rocas de la Formación Acapetlahuaya.

En la zona de boquilla se conforman de un paquete de gravas y guijarros sostenidos en una matriz de arena media a gruesa, medianamente compacta, de color gris oscuro o bien de color amarillo ocre; los clastos adoptan formas que van de subangulosos a subredondeados (Fotografía 4.7).

Particularmente en la boquilla y en margen derecha, la terraza aluvial presenta un horizonte intermedio de 5,0 a 12,0 m de espesor, de arenas gruesas de color gris claro a oscuro (Qar) y medianamente consolidado. El Qar se constituye principalmente por fragmentos de roca que varían en sus formas de redondeados a subredondeados (Fotografía 4.8).

Este horizonte de arena se puede interpretar como un cambio en el régimen de energía en la sedimentación, que se puede asociar a un depósito de tipo cíclico o repetitivo.

Geomorfológicamente, la terraza aluvial es muy importante, debido al área de influencia en la zona de ejes de cortina, particularmente en la margen derecha, donde forma terrenos semiplanos con pendientes suaves inclinadas hasta 20°

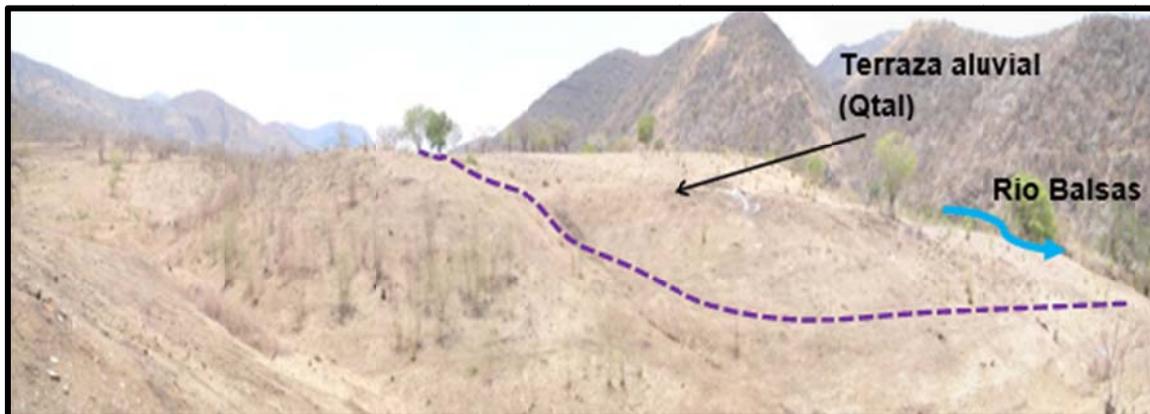
hacia el cauce del río, lo que hace contrastante la topografía del terreno con respecto a la margen izquierda (Fotografía 4.9).



Fotografía 4.7. Detalle de la terraza aluvial constituida por cantos, gravas y arenas que en ocasiones están cementados por carbonato de calcio.



Fotografía 4.8. Los depósitos de arena que afloran en la zona representan uno de varios cambios o variaciones en la granulometría de los sedimentos transportados y depositados por el río.



Fotografía 4.9. La morfología del terreno en margen derecha está conformada por terrenos peniplanares, con pendientes suaves, dados por los depósitos de terraza aluvial.

En general los materiales de la terraza aluvial que incluyen el horizonte de arenas, pueden alcanzar en la zona de boquilla un espesor de hasta 20,0 m. El sitio donde se presenta esta condición se localiza en la margen derecha sobre el trazo del eje "CAPS".

4.1.3. Depósitos Aluviales (Qal)

Estos materiales se componen de arenas, gravas y cantos rodados, que en general están bien redondeados y clasificados. Su distribución en la zona de la boquilla forma grandes playones a la orilla del río Balsas y sobre el cauce del mismo. Su composición litológica es muy variable, incluye fragmentos de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas. Los espesores sobre el trazo de las alternativas de eje de cortina tienen un promedio de 10,0 m (Fotografía 4.10).

Al igual que en los depósitos aluviales a lo largo de la zona de embalse, estos se componen de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas, tanto de composición ácida como básica.



Fotografía 4.10. Los depósitos aluviales se ubican en las orillas del río, en las partes bajas de las laderas.

4.1.4. Depósitos de Talud (Qdt)

Los depósitos de talud (Qdt) están formados de materiales procedentes principalmente de las zonas escarpadas y se depositan prácticamente al pie de las laderas, su granulometría es variable, desde bloques de grandes tamaños hasta el de las gravas, todo empacado en arenas medias a finas y más escasamente arcilla. Asimismo, las aristas de los bloques generalmente son angulosas, porque el transporte de los sedimentos es muy corto.

Estos materiales tienen una distribución escasa en la zona de estudio, se localizan principalmente al pie de las laderas y en las cañadas, están relacionados con zonas donde las pendientes son muy pronunciadas y ocurren desprendimientos constantes del material rocoso. Los espesores son variables, aunque, posiblemente no rebasen los 1, 20 m.

4.1.5. Suelo residual (Qsr)

Son el producto de la alteración de la misma roca que aflora in situ y, generalmente, se utilizan para la agricultura que se practica en la localidad; en este caso se trata de un suelo de color gris oscuro con tonalidades amarillentas por el contenido de micas y óxidos. El espesor es variable, pero no va más allá de los 1,20 m (Fotografía 4.11).



Fotografía 4.11. Capa de suelo de color gris oscuro de apenas 0,27 m de espesor, derivado del intemperismo de la Formación Acapetlahuaya.

4.2. Estructuras y Discontinuidades

En general los rasgos estructurales que se encuentran en la cartografía del Plano P-PHP-GB (Anexo 2), están representados por pliegues, fracturas, foliación, contactos litológicos y fallas laterales con desplazamiento conjugado, fallas de tipo normal e inversas de diferente dimensión y orientación que responden a esfuerzos regionales que afectaron a las metalutitas y metaareniscas de la Formación Acapetlahuaya.

4.2.1. Fallas

Las fallas cartografiadas en la zona de boquilla corresponden con estructuras de tipo inverso principalmente, reflejo de patrones de deformación compresivos; así como fallas normales asociadas a esfuerzos transtensivos (Figura 4.1, Anexo 2 y Plano P-PHP-GB).

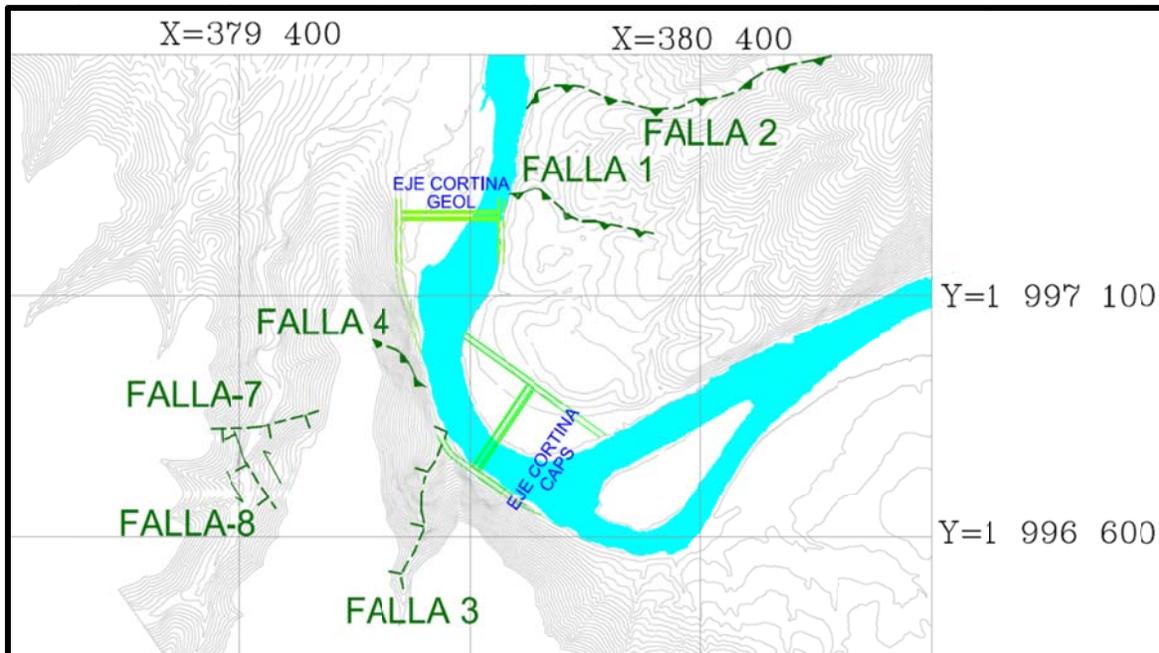


Figura 4.1. Fallas geológicas cartografiadas en la zona de boquilla y su influencia en los ejes de cortina propuestos.

Falla 1

Esta discontinuidad corresponde con una falla de tipo inversa, ubicada en margen derecha del río, aguas abajo del Eje GEOL (Anexo 2, P-PHP-GB y Figura 4.1).

La traza de la falla fue posible determinarla a nivel del río con un rumbo de N36°E y echado de 39° al SE y una continuidad observable de 50,0 m; sin embargo, es posible que se extienda poco más de 300,0 m con dirección hacia el SW a lo largo de una cañada localizada a 15,0 m aguas abajo, que puede estar regida por dicha estructura, aunque no fue posible seguir la traza, debido a que se encuentra cubierta por suelo residual que no rebasa los 0,50 m de espesor.

En la zona de falla, es decir, cerca de la cañada, se observaron estructuras sigmoidales de hasta 1,5 m de longitud (Fotografía 4.12) y acúñamiento de las capas de roca, por lo cual se infiere que la estructura este cabalgando a lo largo de la cañada con una dirección general de NW-SE y echado hacia el SW.

Esta falla por su ángulo de inclinación cruza a la alternativa del eje “GEOL” en la margen derecha; en su plano de cizallamiento aparentemente no se observa una zona de alteración, aunque muestra un espesor de roca fracturada y deformada de aproximadamente dos metros.

La gran formación y acumulación del suelo residual que cubre la traza principal de la falla no presenta desplazamiento alguno, por el contrario, la fuerte meteorización y erosión ha formado una cañada de paredes erosionadas, poco profunda y amplia, con una topografía suave lo cual nos indica que la estructura corresponde con una falla antigua.



Fotografía 4.12. La falla cruza a la alternativa del eje propuesto “GEOL”, con formación de estructuras de tipo sigmoidal, que determinan un sentido de desplazamiento inverso.

Falla 2

Corresponde con una falla de desplazamiento inverso, su traza observable es de 45,0 m; no obstante, se le infiere una longitud mayor a los 400,0 m, a través de la traza de una cañada bastante erosionada que no permite observarla en superficie, debido a la acumulación de depósitos no consolidados, por lo que, aparentemente, presenta las mismas condiciones que la Falla 1, donde se interpreta como una estructura antigua bastante erosionada.

La Falla se encuentra aguas abajo del área de influencia de los ejes propuestos, sobre la margen derecha (Anexo 2, Plano P-PHP-GB y Figura 4.2) El rumbo de la estructura geológica es N38°E, inclinándose hacia el SE con 35°, en donde fue posible determinar estructuras sigmoidales (Fotografía 4.13) de hasta 2,0 m de longitud, acuñamiento de las secuencias metamórficas y un grado alto de fracturamiento.



Fotografía 4.13. Sigmoide de 2,0 m de longitud formado por esfuerzos compresivos en la Falla 2 de tipo inverso.

Falla 3

La Falla 3 presenta un rumbo N-S e inclinación de 20° hacia el W. Se trata de una falla con movimiento normal; su continuidad observable es de 5,0 m

aproximadamente, posteriormente queda cubierta hacia el N como al S por materiales de talud y suelo residual (Fotografías 4.14).

La traza de esta falla se localiza en una cañada de orientación NE-SW que desemboca en la margen izquierda del río Balsas, entre los dos ejes propuestos, por lo cual es posible que alcance una longitud de aproximadamente 350,0 m con un rumbo general paralelo al de la cañada (Anexo 2, Plano P-PHP-GB y Figura 4.1).

En la zona cartografiada fue posible observar en ciertas zonas, material de brecha de falla con espesores de hasta 0,30 m, sin presencia de alguna alteración.

Aparentemente el segmento cartografiado no representa ningún tipo de influencia a los trazos de las alternativas, pero si es evidente el alineamiento de esta cañada con la dirección del río y con la margen derecha, representado por el lineamiento L1 (Anexo 2, Plano P-PHP-GB), por lo que en caso de que la Falla 3 se prolongue hacia la porción norte, de margen izquierda a margen derecha y exista la traza bajo los depósitos aluviales que se encuentran en el cauce, entonces se tendrá algún tipo de influencia en la alternativa del eje "GEOL".



Fotografía 4.14. La Falla 3 puede alcanzar una longitud aproximada de 350,0 m; presenta un rumbo general de NE inclinada al NW. Se trata de una falla con movimiento normal.

Falla 4

Se localiza en la margen izquierda a 264,0 m aguas abajo de la Falla 3 (Anexo 2, P-PHP-GB y Figura 4.1); presenta un rumbo general NW-SE con inclinación de 38° a 41° al SW.

Se trata de una estructura inversa en donde fue posible tomar dos datos del plano de falla a dos niveles topográficos distintos, uno a nivel del río, con orientación N68°W e inclinación de 38° al SW y uno más, hacia la cima de la ladera de orientación N12°W con inclinación de 41° al SW.

La traza de falla corresponde con el contacto que separa un estrato de metalutita de uno de metaarenisca. Luego entonces, el bloque bajo de la estructura se encuentra en la unidad de las metalutitas, mientras que la cima se observa en la metaarenisca (Fotografía 4.15). Su traza presenta una superficie tipo alabeada y se considera que tiene una zona de influencia de hasta 10,0 m.



Fotografía 4.15. La Falla 4 es de componente inversa. La imagen muestra la pared semivertical a nivel del río donde se tomó el rumbo y echado del plano de falla.

La zona de falla presenta estructuras sigmoidales y material altamente fracturado con un espesor de hasta 0,60 m; además se tiene presencia de material arcilloso

de color pardo con un espesor de 0,003 m. Las alteraciones observables son hematización y argilización.

A esta estructura se le infiere una longitud mayor a los 100,0 m y, en el caso de tener continuidad hacia el E, presentaría algún tipo de influencia en la alternativa del eje “CAPS”; sin embargo, no se observa algún rasgo que acuse esta condición.

Falla 7

Corresponde con una falla de componente normal con un rumbo N80°E inclinada 79° al SE, localizada en el arroyo “El Brinco”, el cual tiene una dirección general hacia el NE subparalelo al cauce principal del río Balsas, con el cual confluye (Anexo 2, Plano P-PHP-GB y Figura 4.1).

La estructura presenta una zona de falla de 1,0 m de espesor relleno de roca triturada con alteración argílica, el plano de falla tiene una superficie plana-rugosa y plana-ondulada (Fotografía 4.16). Su longitud observable es de 6,0 m aproximadamente donde, a partir de aquí, se encuentra cubierta por un depósito de talud.



Fotografía 4.16. Se observa la traza del plano de falla de tipo normal, la estructura presenta 1,0 m de espesor de material triturado con alteración por argilización.

Falla 8

Esta estructura se localiza aguas arriba de la Falla 7, aproximadamente a 85,0 m (Anexo 2, P Plano P-PHP-GB y Figura 4.1).



Fotografía 4.17. En la parte inferior izquierda se observa el plano de falla, la zona de material triturado y harina de falla; las dos fotografías superiores son un acercamiento del plano de falla donde se presentan estrías y las características del material arcilloso.

Se trata de una falla de tipo normal con un desplazamiento de menor magnitud de tipo lateral izquierdo; tiene un rumbo N27°W e inclinación de 73° al SW, con un espesor de material de brecha de falla de 1,0 m y de 0,40 a 0,60 m de arcilla de color amarillento a rojizo (Fotografía 4.17). El plano de falla se observa escarpado-ondulado con presencia de estrías de falla, cuyo pitch es de 47° con salida hacia el SW.

La Falla tiene una continuidad observada de aproximadamente 5,0 m para, posteriormente, quedar cubierta hacia el SE por suelo residual y hacia el NW no fue posible seguirla, debido a que se tienen pendientes muy abruptas con cubierta de suelo residual.

4.2.2. Lineamientos

Los lineamientos determinados en el análisis regional y que tienen influencia en la zona del embalse y a su vez en el sitio donde se proyectan los ejes de cortina, fueron verificados en campo con el objetivo de descartar su relación con fallas que pudieran poner en riesgo la viabilidad del proyecto; sin embargo, en algunos casos no se pudo distinguir esta relación mediante la cartografía superficial, debido a que estas se encuentran cubiertas por materiales poco consolidados.

Con base en lo anterior, especial cuidado se debe de considerar en los lineamientos 6, 4, y 2, debido a la continuidad que presentan y a su posición respecto a las alternativas de eje de cortina (Figura 4.2).

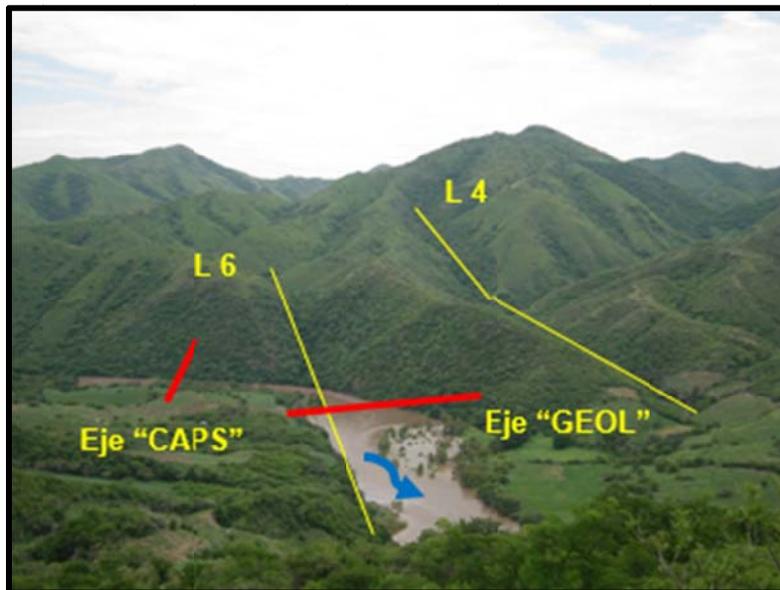
Lineamiento 6

Por la orientación NE-SW y la distribución que alcanza (Figura 4.2 y Fotografía 4.18) en toda la margen derecha hasta atravesar el eje de cortina "GEOL", es importante considerar en etapas posteriores la exploración del subsuelo para determinar su posible relación con la Falla 3, mediante estudios geofísicos, o bien con la planeación de algunos barrenos inclinados en dirección contraria al echado de la estructura para tratar de cortarla a profundidad.

Lineamiento 4

Se localiza en la margen izquierda, cuya orientación N-S parece regir claramente la cañada que desemboca hacia el río Balsas (Fotografía 4.18 y Figura 4.2). La importancia de este lineamiento radica en la posible relación que pueda tener con una falla importante, y en el caso de que ésta presente algún espesor considerable de material triturado y alterado, permita la fuga de agua y, en consecuencia, el deficiente llenado del embalse.

La posible conexión entre estas dos subcuencas, puede verificarse con la configuración de tendidos de refracción sísmica (TRS) y sondeos eléctricos verticales (SEV) para determinar las condiciones del subsuelo en este sitio.

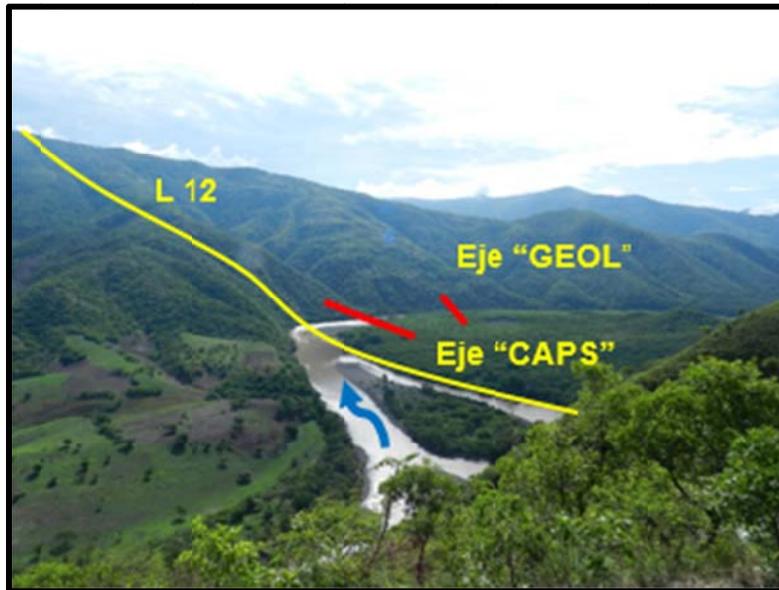


Fotografía 4.18. Los lineamientos L6 y L4 tienen cierto paralelismo entre sí. Ambos presentan una orientación casi N-S.

Lineamiento 12

Este lineamiento se localiza en la margen derecha del sitio, aguas arriba de ambos ejes de cortina (Fotografía 4.19 y Figura 4.2). En esta zona el lineamiento parece regir el quiebre del río Balsas de una dirección NW-SE a NE-SW con un ángulo casi de 90°.

Si bien, su proyección hacia el NW no parece tener influencia sobre la alternativa “CAPS”, pudiera ser una vía franca del agua a subcuencas adyacentes como la cañada que contiene el lineamiento 4 (ver Figura 4.18). De tratarse de alguna estructura importante; situación que aparentemente se observa regionalmente, donde su traza pudo ser identificada de margen a margen con una extensión de al menos 6,620 km (ver Figura 3.4).



Fotografía 4.19. El lineamiento L12 llega a alcanzar una traza del orden de kilómetros que cruza de margen a margen.

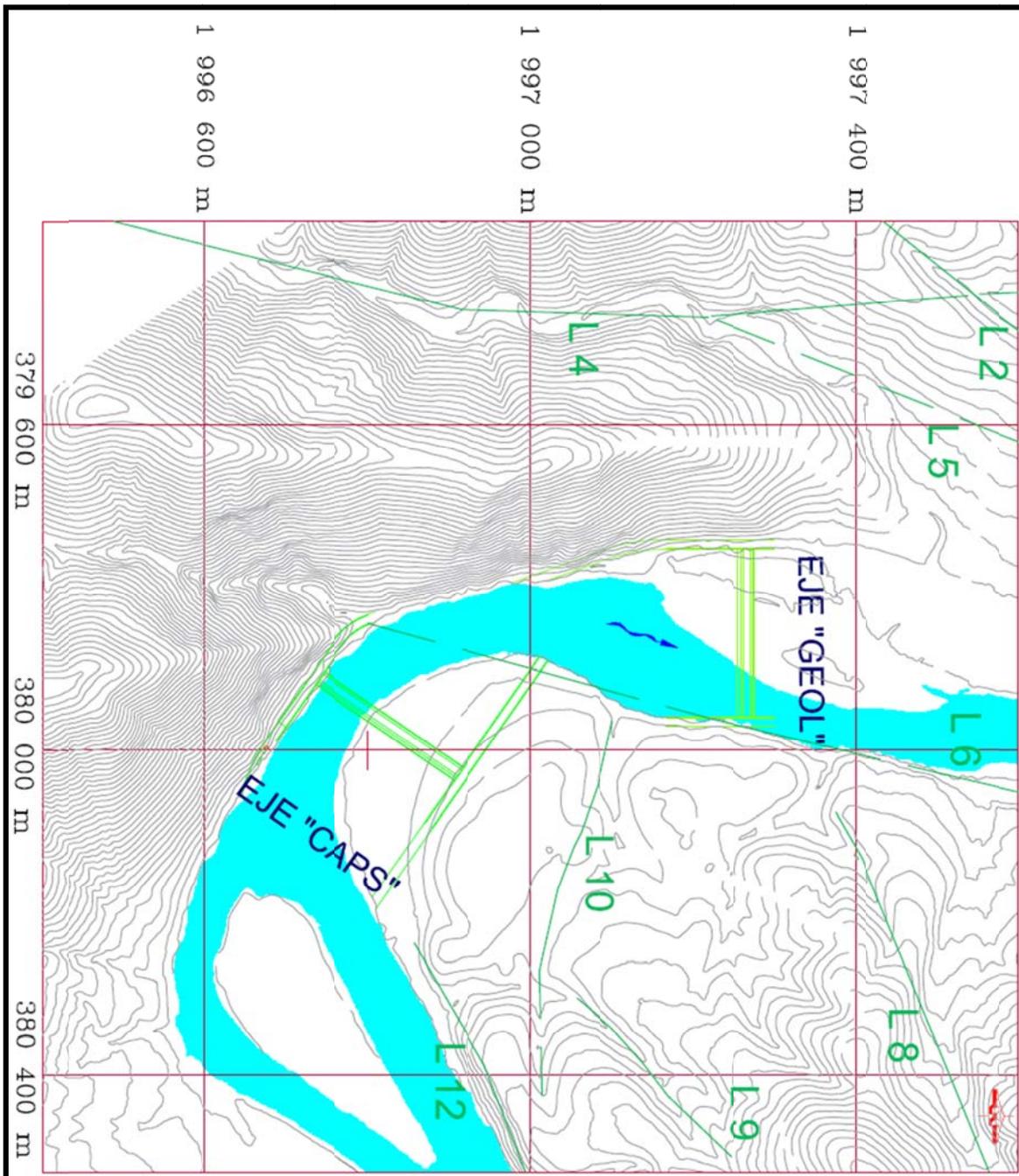


Figura 4.2. Localización de los lineamientos más importantes en la zona de boquilla del PH. El Pescado.

4.2.3. Foliación

La discontinuidad principal corresponde con la foliación (Fotografía 4.20), presente en toda la unidad lítica y desarrollada mayormente en las metalutitas, en ocasiones se llega a presentar desarrollo de esquistosidad. Esta discontinuidad, en general, tiene sus superficies en contacto roca a roca, empero, también se llegan a presentar vetillas de calcita paralelas a los planos de foliación generadas por esfuerzos de compresión; asimismo, no se tienen planos abiertos o con algún material de relleno que propicie un deslizamiento a lo largo de esta discontinuidad en el caso de las dos alternativas de eje de cortina.



Fotografía 4.20. Los planos de foliación se desarrollan de mejor manera en la metalutita e incluso llega a alcanzar un cierto desarrollo de esquistosidad en los afloramientos cercanos al río.

Específicamente en la zona donde se proyecta desplantar la obra de contención para el eje “GEOL”, la foliación en margen derecha tiene un rumbo de NE-SW con un echado hacia el SE, lo que favorece al proyecto porque se inclina en contra de la dirección de flujo del río, el cual tiene una dirección N-S en esta zona (Fotografía 4.21). En margen izquierda ocurre lo mismo, ya que esta discontinuidad tiene una orientación NNW-SSE inclinada hacia el SSW, de manera que actúa como una barrera natural en contra del flujo del río.

En cuanto al eje “CAPS”, el rumbo de la foliación en margen izquierda es casi paralela a la dirección de flujo del río con echados hacia el SW, por lo que la discontinuidad puede ser un paso franco a nivel superficial del agua, donde los planos de foliación se encuentran en ocasiones abiertos del orden máximo de centímetros. Hacia la margen derecha se presentan depósitos poco consolidados que cubren a la unidad lítica, impidiendo el registro de datos que permitan establecer la condición de la foliación en esa área.



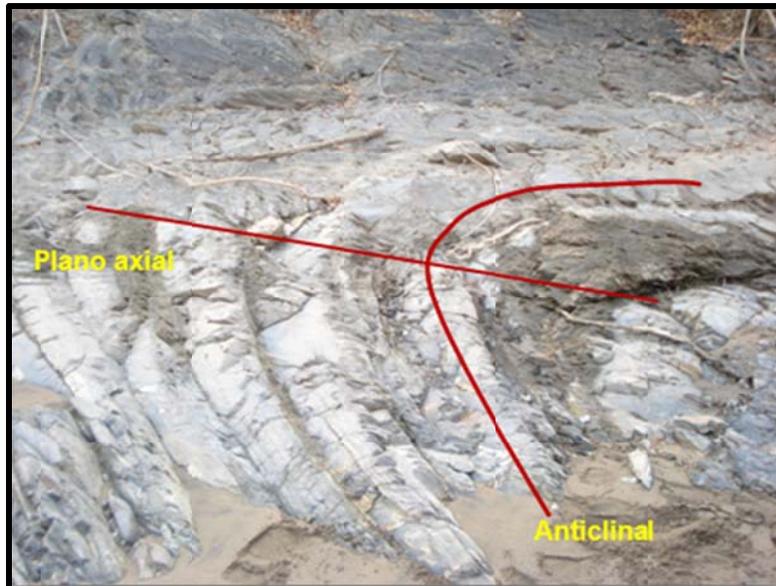
Fotografía 4.21. En la zona del eje de Cortina “GEOL”, sobre la margen derecha, la foliación favorece a la construcción de la obra, debido a que tiene una dirección de inclinación contraria a la dirección de flujo del río.

4.2.4. Pliegues

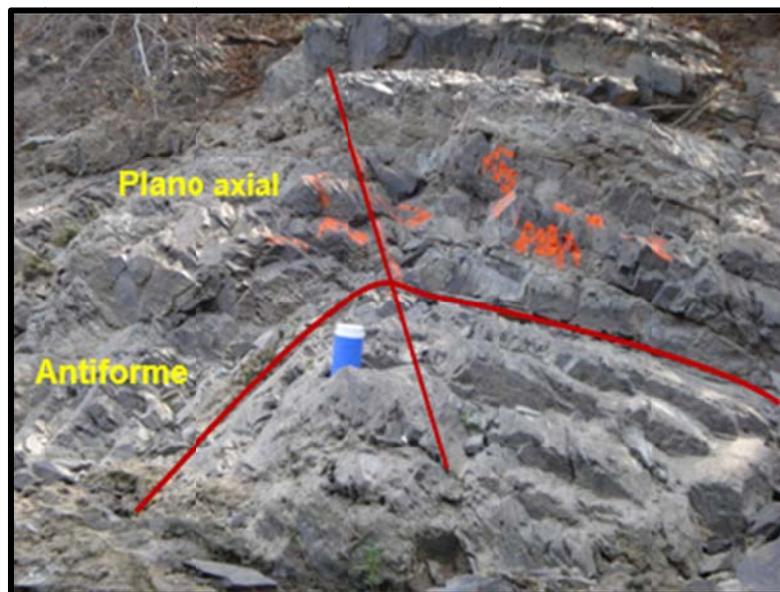
El plegamiento en la zona está representado por estructuras antiformes y sinformes que de acuerdo a los planos axiales se identificaron tumbados e inclinados y en base al ángulo entre sus flancos se observaron pliegues abiertos y cerrados; así también, se tienen pliegues de arrastre (Fotografías 4.22, 4.23 y 4.24).

Los mejores afloramientos donde se pueden observar estos tipos de estructura producto de la deformación dúctil se encuentran a nivel del río en margen derecha; en esta margen y en particular en la zona del eje “GEOL”, estas estructuras se

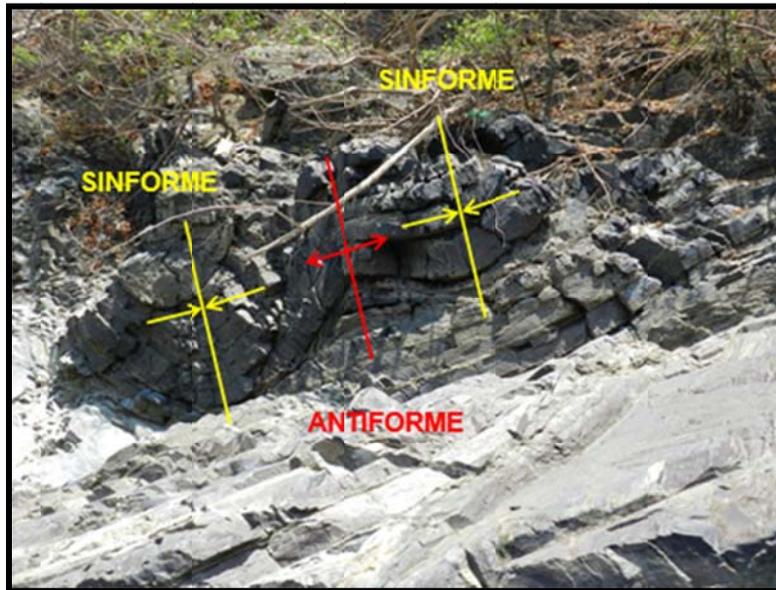
concentran en buena medida y forman, en ciertas partes, una serie de pliegues antiformes y sinformes con sus planos axiales inclinados hacia el SE.



Fotografía 4.22. Pliegues tumbados con sus flancos inclinados hacia el SE.



Fotografía 4.23. Pliegue antiforme abierto; su plano axial tiene una inclinación hacia el SE.



Fotografía 4.24. Pliegues sinformes y antifformes; así como pliegues de arrastre en donde los estratos superficiales se deformaron de manera independiente a los estratos inferiores.

4.2.5. Fracturas

El fracturamiento es quizás la segunda discontinuidad con mayor persistencia y frecuencia en el macizo rocoso; estas se observan a nivel superficial cerradas o con relleno de calcita con espesores de hasta 0,03 m en roca sana (Fotografía 4.25 y 4.26) y abiertas hasta 0,005 m cuando está intemperizada.

Grosso modo, todas las fracturas presentan superficies plana-lisa y plana-rugosa principalmente y, en menor medida, ondulada-rugosa con planos lustrosos, oxidados y con diseminación de pirita.

La persistencia de esta discontinuidad en conjunto con la foliación propician la disgregación de la roca en fragmentos tabulares y prismáticos de acuerdo a la separación de las familias de fracturas (Figura 4.25 y 4.26).



Fotografía 4.25. Se identifican 4 fracturas de diferente orientación para este afloramiento. Nótese la formación de fragmentos tabulares por la intersección de fracturas y foliación.



Fotografía 4.26. Fracturas con relleno de calcita que afectan la metaarenisca. Nótese los fragmentos prismáticos formados por la intersección de las fracturas.

4.3. Análisis estructural

Se realizó un análisis de las estructuras reconocidas en campo, con la finalidad de identificar el o los sistemas preferenciales presentes en el macizo rocoso, tales como la foliación, fracturas, fallas y ejes de pliegues.

El análisis de datos se realizó mediante el programa de cómputo “Dips” Versión 5.1.0.3, bajo la convención de dip/ direction, en la proyección estereográfica del hemisferio sur de la red de Schmit de igual área.

4.3.1. Fallas (F)

El análisis de las fallas para la zona de boquilla se realizó de acuerdo a la tendencia general inferida de los rumbos que presentan. De esta manera, se procesaron 6 fallas localizadas en ambas márgenes del río Balsas y las tendencias principales se muestran en la Figura 4.3.

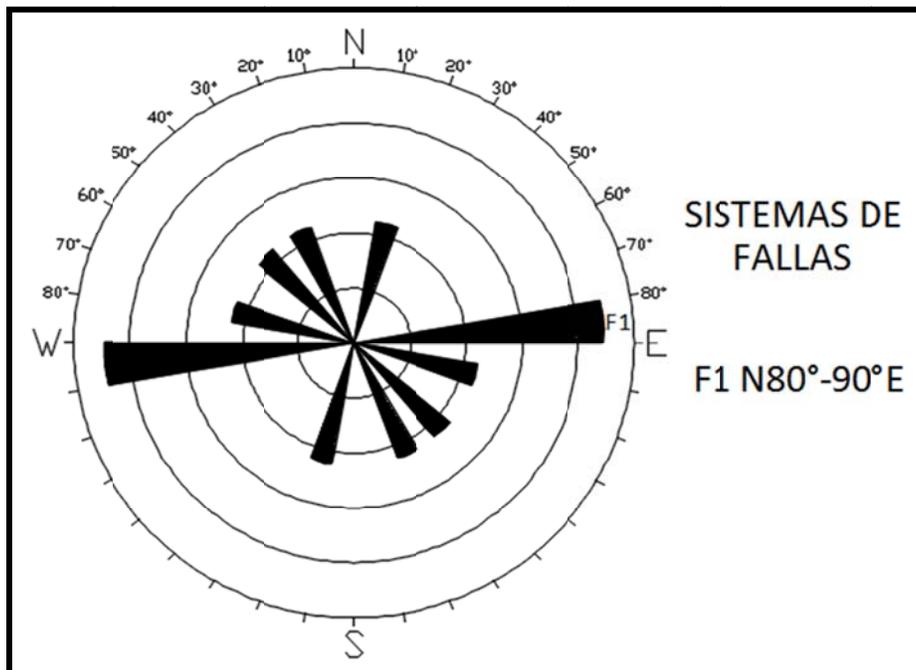


Figura 4.3. Se distingue un sistema preferencial de fallas F1 de orientación N84°E/31°SE en la zona de boquilla.

4.3.2. Foliación (fo)

Para el análisis de esta discontinuidad se procesaron en total 186 datos de foliación, 112 datos corresponden con la margen izquierda y 84 datos con la margen derecha.

En la margen izquierda se obtuvo un sistema principal fo1 de orientación N77°W con inclinación de 25° al SW (Figura 4.4).

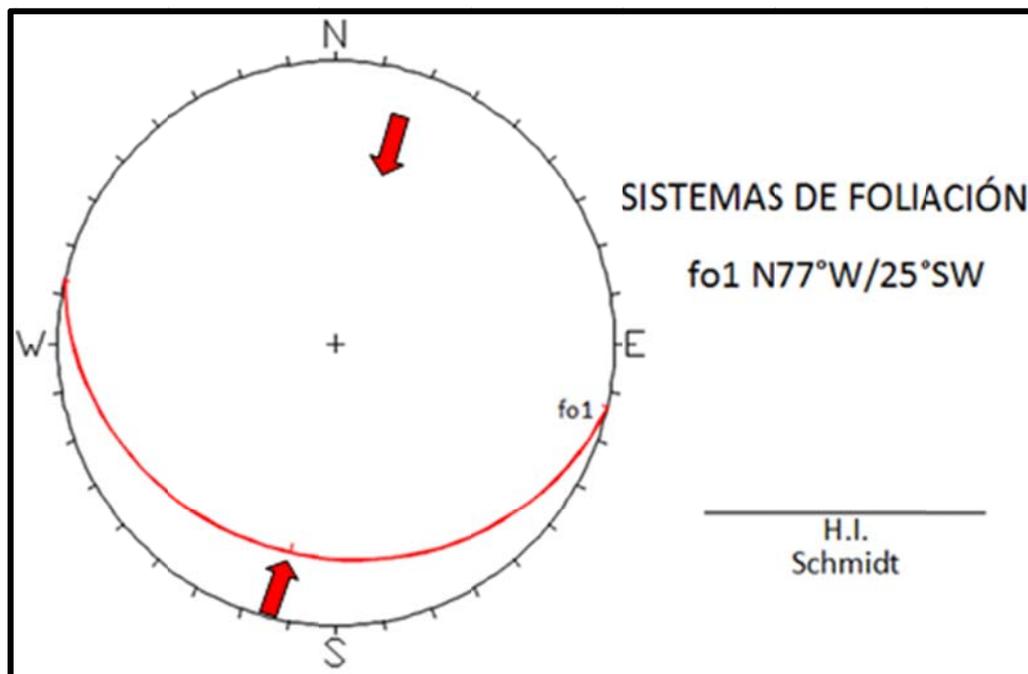


Figura 4.4. Con el análisis y procesado de datos de foliación de la margen izquierda se obtuvo un sistema preferencial fo1 de rumbo N77°W/25° al SW y un esfuerzo principal NE-SW con 15° que actúo del SW hacia el NE.

En la margen derecha el sistema preferencial determinado (fo1) presenta un rumbo N71°E con una inclinación de 34° hacia él SE (Figura 4.5).

Las orientaciones de los sistemas principales (Tabla 4.1), evidencian una fuerte tendencia casi E-W con inclinaciones hacia el Sur, situación que acusa esfuerzos compresivos que actuaron en dirección aproximada N-S (Figura 4.4 y 4.5), lo que causó el desarrollo de la foliación en las rocas mesozoicas del sitio de boquilla.

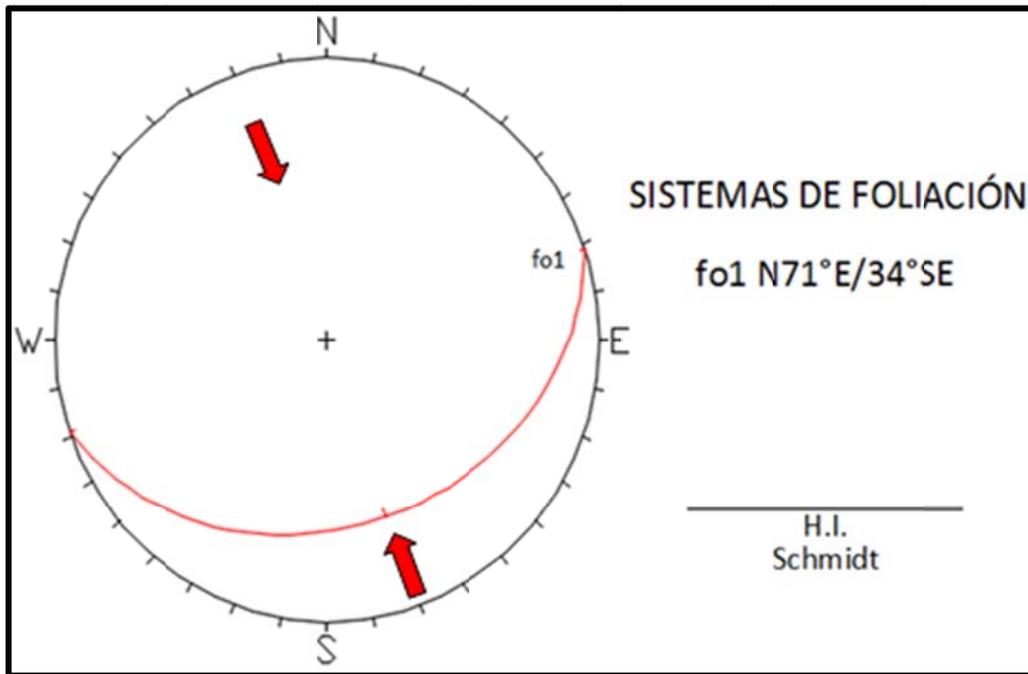


Figura 4.5. Sistema preferencial de foliación (fo1) de rumbo N71°E e inclinación de 34° al SE, que expone un sistema principal compresivo de orientación NW-SE con 20° y propagación hacia el NW.

Tabla 4.1. Resumen de las orientaciones preferenciales de la foliación obtenidos para la zona de boquilla.

Foliación (fo)		
Margen	Izquierda	Derecha
Rumbo y Echado	N77°W/25°SW	N70°E/30°SE

4.3.3. Pliegues (P)

Se procesaron 16 datos de ejes de pliegue y se obtuvo un sistema preferencial con rumbo N78°E e inclinación de 62° al SE (Figura 4.6).

Esta orientación del plegamiento con inclinación hacia el SE acusa un esfuerzo compresivo NW-SE con 13° y vergencia del SE al NW; además, tiene una estrecha correlación con el esfuerzo principal de compresión, el cual originó el fallamiento inverso en la zona de boquilla y la foliación.

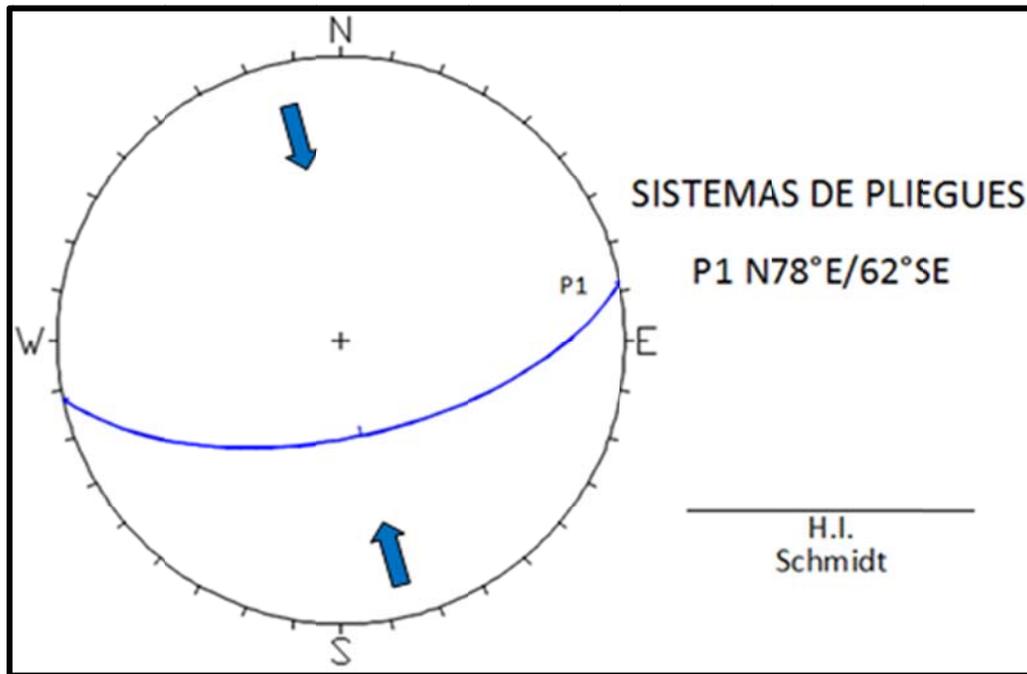


Figura 4.6. El plegamiento presenta un sistema preferencial de rumbo N78°E, con 62° de inclinación al SE, que acusa un esfuerzo principal NW-SE con 15°, el cual actuó del SE hacia el NW.

4.3.4. Fracturas (f)

El análisis de 318 datos de fracturas obtenidos en toda la zona de boquilla, permitió establecer los sistemas preferenciales de esta discontinuidad para cada margen del río.

En la Figura 4.7 se puede observar cuatro familias de fracturas denominadas f1, f2, f3 y f4, derivadas del análisis estadístico de 167 datos que afectan el macizo rocoso en la margen izquierda de la zona de boquilla.

En cuanto a la margen derecha, se analizaron 151 datos de fracturas y se obtuvieron cuatro sistemas principales (f1, f2, f3 y f4) que afectan el macizo rocoso metamórfico (Figura 4.8).

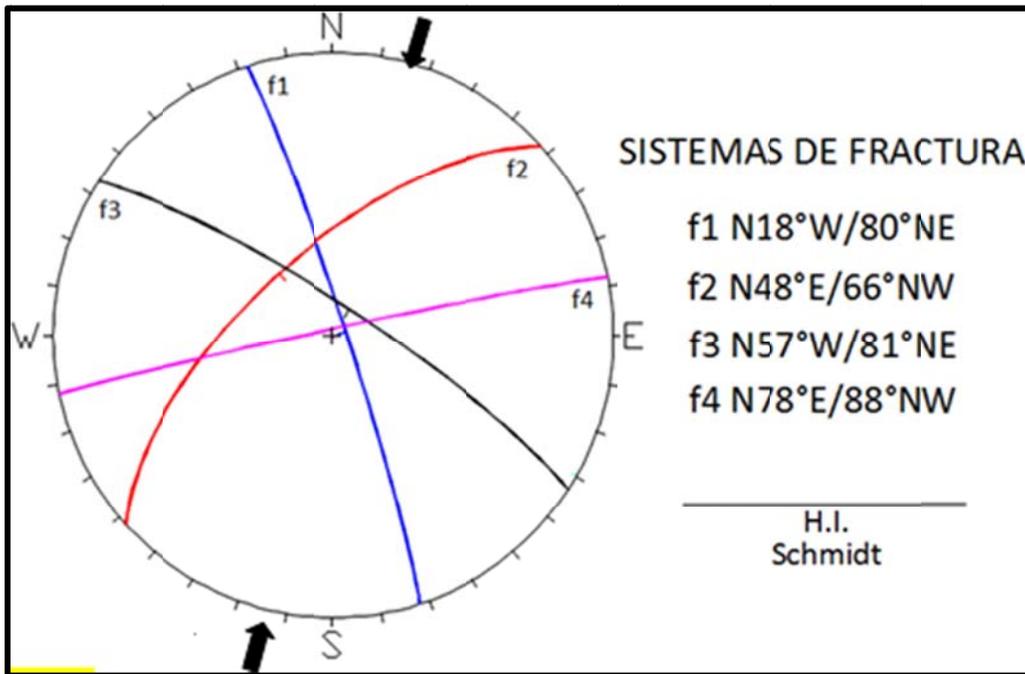


Figura 4.7. La margen izquierda está afectada por cuatro sistemas preferenciales, mismos que acusan un esfuerzo principal NE-SW con 15° y propagación hacia el NE.

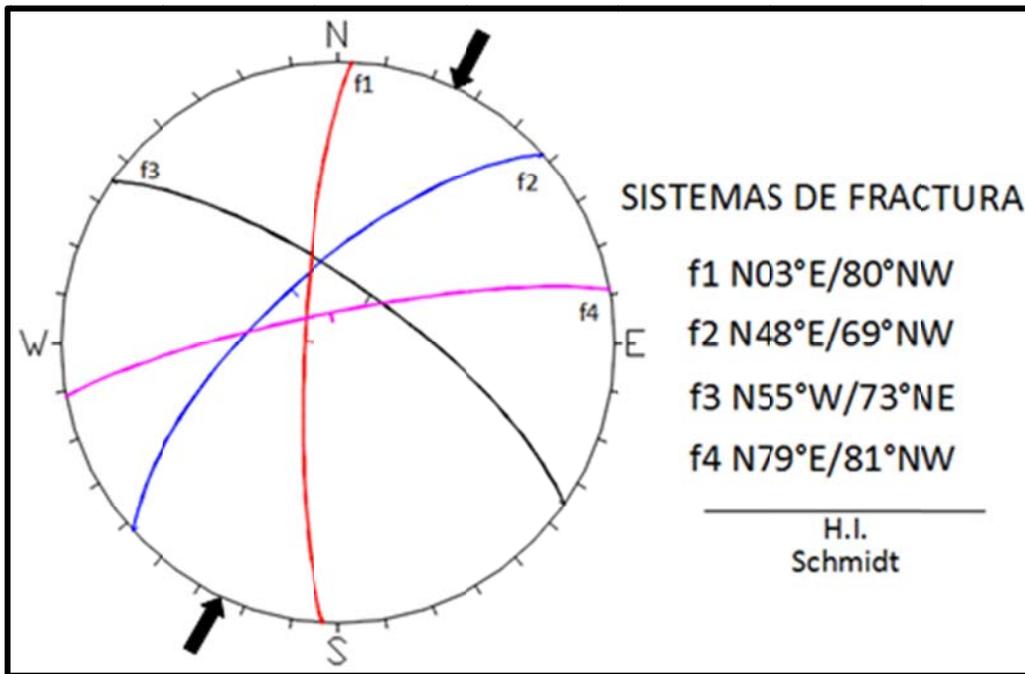


Figura 4.8. Sistemas principales de fractura que afectan la margen derecha. Asimismo, su distribución infiere esfuerzos principales de orientación NE-SW con 25° y vergencia al NE

Debido a la fuerte deformación que afecta a las rocas, no es posible observar con exactitud la relación de corte entre las fracturas; empero, fue posible diferenciar la edad relativa de dos familias de fracturamiento (f1 y f4) cuyos rumbos tienden a ser N-S y E-W respectivamente, a partir del análisis de la continuidad o corte de fracturas rellenas de calcita. De esta manera se distinguió que la familia (f1) es cortada por la familia de fractura (f4) como lo muestra la (Fotografía 4.27).

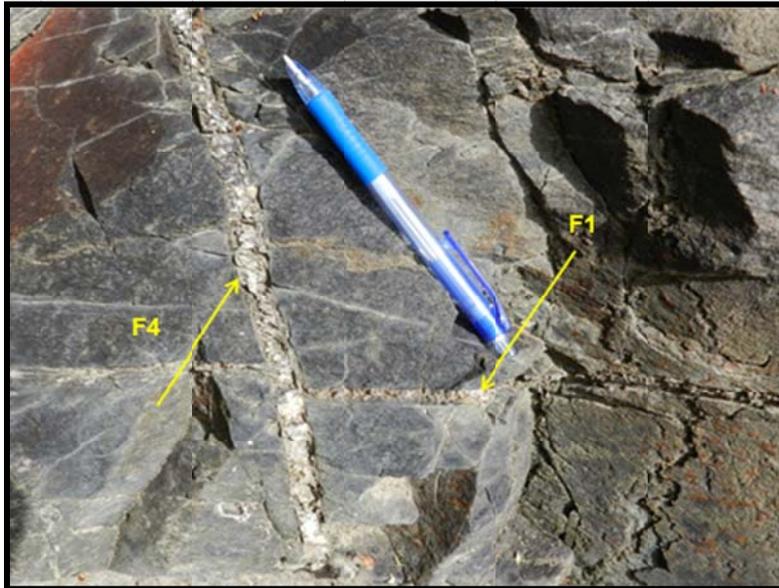
Los resultados del análisis estructural de las fracturas en la zona de boquilla (Figura 4.7 y 4.8), que se resumen en la Tabla 4.2, sugieren un patrón de esfuerzos de orientación NE-SW con una variación de 15° a 25° y movimiento de propagación hacia el NE.

En adición a lo anterior, el patrón de esfuerzos NE-SW parece ser compatible con las fallas, foliación y pliegues de orientaciones perpendiculares a este (casi E-W) e inclinadas, en general, hacia el sur, así como de los sistemas principales de fracturas f1 y f2.

Tabla 4.2. Resumen de los sistemas principales de fracturas para ambas márgenes de la zona de boquilla.

Fracturas (fo)		
Sistema	Margen	
	Izquierda	Derecha
f1	N18°W/80°NE	N03°E/80°NW
f2	N48°E/66°NW	N48°E/69°NW
f3	N57°W/81°NE	N55°W/73°NE
f4	N78°E/88°NW	-----

Sin embargo, y con base en la información regional analizada en el capítulo 2, la deformación laramídica parece ser la más penetrativa en las rocas cretácicas, donde se formaron estructuras con orientaciones N-S, con variaciones al NW y NE, por lo que las fallas inversas, pliegues y la foliación identificadas en la zona de boquilla, en una posición casi a 90° de las discontinuidades laramídicas, no parece corresponder con los patrones de esfuerzos que dieron origen a esta deformación, al menos en esta zona.



Fotografía 4.27. La fractura de rumbo con tendencia E-W (f4) corta a la fractura de rumbo casi N-S (f1), lo que permite establecer una edad más reciente a la familia f4 sobre la familia f1. Ambas presentan relleno de calcita.

Finalmente, es posible suponer algún tipo de influencia dada a partir de la activación del cizallamiento lateral del terciario que es evidenciado en la zona de estudio por los cambios de dirección repentinos del río Balsas. Esta característica es evidente en la zona de boquilla, donde el lineamiento 12 rige el cambio en la dirección del río en un sentido de cizalla inferido de tipo lateral izquierdo, pudiendo generar una rotación de las estructuras de una posición original con tendencia N-S a casi E-W, aunque esta situación debe de ser más argumentada.

CAPÍTULO 5. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

En términos generales las obras de ingeniería se proyectan en unas intercalaciones de metalutitas y metaareniscas fracturadas y deformadas correspondientes a la Formación Acapetlahuaya, las cuales se encuentran cubiertas por materiales no consolidados de fácil remoción mecánica, con espesores aparentemente mayores hacia el cauce del río (aluvión Qal) y en la margen derecha de ambas alternativas (terraza aluvial Qtal- arenas Qar).

Bajo este contexto, el estudio consiste en definir preliminarmente mediante cartografía superficial y su correlación con la información geofísica existente, el espesor de los materiales no consolidados que se encuentran sobre el trazo de las dos alternativas propuestas, así como definir el espesor de roca descomprimida y alterada y, con ello, concluir cuál de las dos es más factible para llevarla a una etapa de estudios más avanzados.

Cabe señalar que la interpretación de ambas secciones para ejes de cortina en la zona del cauce del río, es inferida a partir de proyectar la información geofísica obtenida en los puntos más cercanos al río, tanto de los SEV's como de los TRS.

5.1. Integración de la información geológica y geofísica

Para realizar la integración, se utilizó la información geofísica de los SEV's, los TRS y los resultados de Dispersión de Ondas Superficiales que se trataron en el capítulo 2 (ver Figura 2.11 y 2.17), en conjunto con los levantamientos geológicos de semidetalle de las alternativas de eje de cortina (Figura 5.1 y 5.2). Los resultados de esta integración definieron cuatro unidades geológica-geofísicas cuyas características se presentan en la Tabla 5.1.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

Tabla 5.1. Unidades geológicas-geofísicas en el sitio PH El Pescado.

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (Vp) (Km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLÓGICA	
U ₁	U _{1a}	0,5 - 1,5	22 - 195	1,5 - 20		Qal. Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
	U _{1b}	0,4 - 1,7	19 - 267	1,0 - 20		Qta. Depositos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
	U _{1c}	0,5 - 1,7	21 - 297	1,0 - 6,0		Qar. Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U ₂	0,3 - 0,8	15 - 334	3,0 - 5,0	Muy mala	Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descomprimida y meteorizada)	
U ₃	1,5 - 2,5	28 - 545	7,0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada	
U ₄	2,6 - 4,5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada	

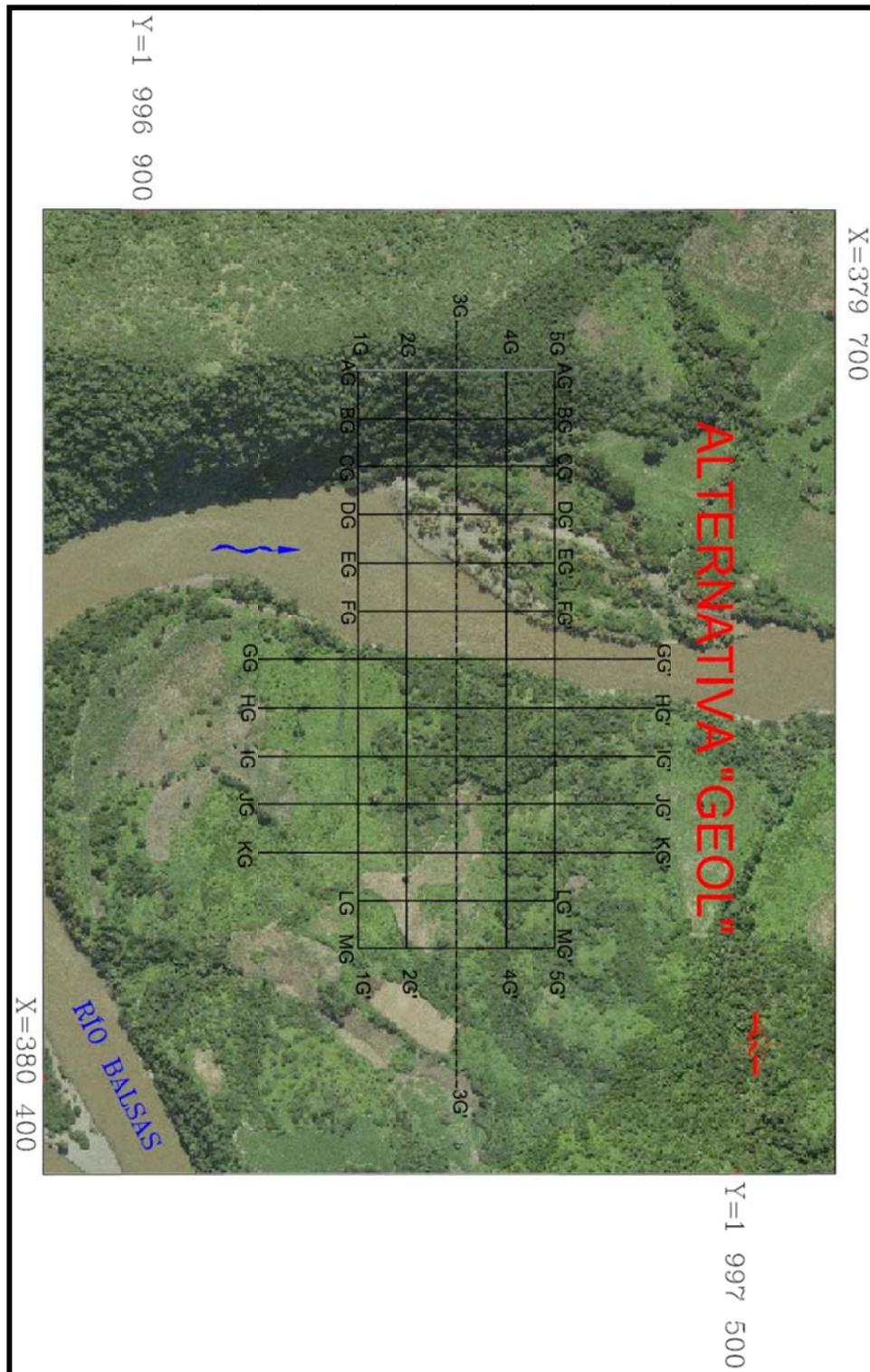


Figura 5.1. Distribución de las secciones geológicas-geofísicas que conforman la alternativa de eje "GEOL".

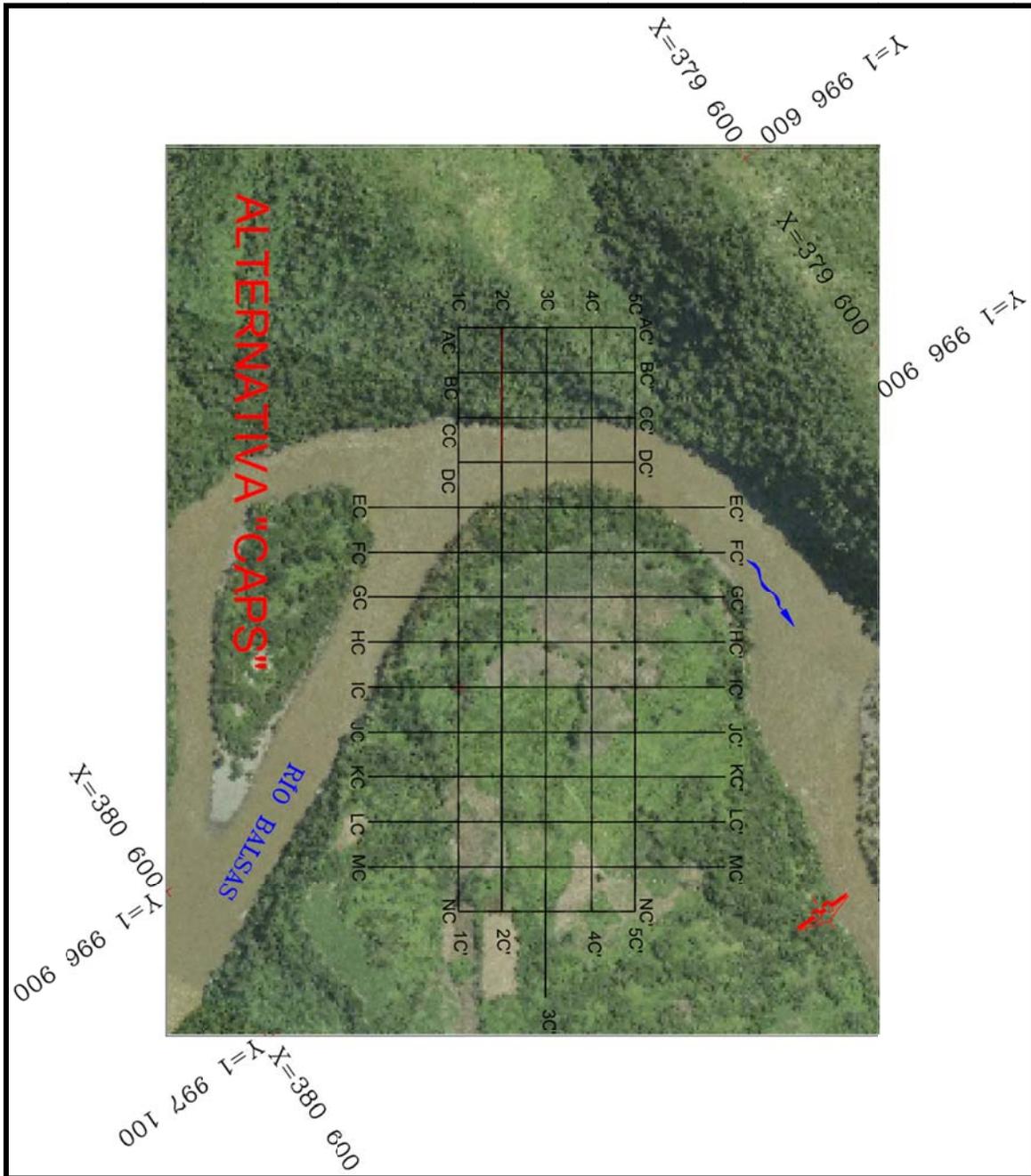


Figura 5.2. Distribución de las secciones geológicas-geofísicas que conforman la alternativa de eje "CAPS".

5.1.1. Eje de Cortina “GEOL” (Sección 3G-3G’)

La geomorfología a través de la traza de eje de cortina es contrastante; la margen izquierda consiste de un cantil abrupto con pendientes de 60° aproximadamente y alcanza una altura de hasta 89,0 m y, hacia la margen derecha, la ladera tiene una pendiente de 23° con una altura promedio de 29,0 m, donde forma lomeríos cubiertos con materiales no consolidados (Fotografía 5.1), lo que provoca que la extensión lateral del contacto de roca hacia el cauce del río tienda a profundizar. Estas características del terreno generan un trazo asimétrico del eje.

La altura propuesta para la cortina es de 24,0 m (cota 409 msnm), con una longitud de corona aproximada de 486,9 m y una orientación de E-W. Las obras de desvío y obra de toma se proyectan preliminarmente en la cota 385 msnm (Figura 5.3).

En el área de influencia del eje de cortina propuesto por Geología (Anexo 3; Plano P-PHP-SG02; Sección 3G-3G’), se interpretaron 17 secciones geológico-geofísicas dispuestas en una retícula de 50,0 m por lado, cinco se trazaron perpendicularmente al cauce del río y el resto paralelas (Anexos 5; Planos del P-PHP-SG01 al P-PHP-SG05 y Figura 5.1).



Fotografía 5.1. Trazo del eje de cortina “GEOL” cuya orientación es E-W; sección 3G-3G’.

La margen izquierda de esta alternativa en el cadenamamiento de 0+00 a 0+140 m, el empotramiento de la obra, quedará totalmente en roca de la secuencia metamórfica Acapetlahuaya. Los primeros 2,0 a 3,0 m de la superficie se relacionan con la unidad geofísica U2 debido a que los valores de resistividad obtenidos van de 71 a 104 Ωm y velocidad sísmica de 0,3 a 0,6 km/s. Litológicamente se asocia con metalutitas y metaareniscas alteradas, de mala calidad y muy fracturadas.

En seguida de los 3,0 a 10,0 m de profundidad, la calidad de roca mejora; se asocia a la unidad geofísica U3; no obstante, todavía el macizo rocoso se encuentra afectado por fracturamiento, muy posiblemente con superficies abiertas, lo que le imprime mala a regular calidad. Los valores de velocidad sísmica van de 1,5 a 1,6 km/s y los de resistividad van de 436 a 472 Ωm en la pendiente y, hacia la proximidad con el río, se presentan valores de 76 y 93 Ωm , los cuales evidencian mayor alteración y fracturamiento de la roca conforme se aproxima al río, condición que se observa en todas las secciones para este eje de cortina.

Luego a una profundidad mayor de los 10,0 m, se manifiesta la unidad geofísica U4 que se correlaciona con metalutitas y metaareniscas de mejor calidad; es decir, la roca presenta poco fracturamiento, es más compacta y resistente; los valores resistivos van de 230 a 247 Ωm , con una velocidad de onda de 2,6 a 4,0 km/s. Esta característica se conserva en toda la margen izquierda como se ve en las secciones 1G-1G', 2G-2G', 3G-3G', 4G-4G', 5G-5G', AG-AG' y BG-BG' (Anexo 3 y 5; Planos del P-PHP-SG01 al P-PHP-SG04).

Del cadenamamiento 0+140 a 0+340 m de la Sección 3G-3G', en el cauce del río, se tiene el depósito aluvial con un espesor máximo estimado de 9,0 m aproximadamente, hacia las inmediaciones del río. Este material desde el punto de vista geofísico se correlaciona con la Unidad U1a cuyos valores de resistividad varían de 80 a 150 Ωm y una propagación de onda de 0,5 a 0,8 km/s. En general, este material tiene un espesor más o menos constante en las secciones paralelas y perpendiculares para esta alternativa (9 a 11 m), aunque puede alcanzar hasta los 12,0 m de profundidad en la sección 5G-5G' (Anexo 5 y Plano P-PHP-SG03).

Para todas las secciones interpretadas en esta alternativa, cuando se pasa el contacto del material aluvial, se infiere, por proyección, que continúa el macizo rocoso de la Formación Acapetlahuaya poco fracturado y con superficies cerradas

o rellenas de calcita y sílice; es decir, posiblemente de buena calidad ya que se asocia con la unidad geofísica U4 el cual tiene un intervalo de resistividades de 103 a 700 Ωm y velocidad de onda sísmica de 2,6 a 4,5 km/s (Anexo 3 y 5, Planos de P-PHP-SG01 al P-PHP-SG04). Para la sección del eje 3G-3G', los valores de resistividad van de 242 a 146 Ωm y velocidad sísmica de 4,0 km/s.

A partir de 0+340 y hasta el final de la sección, aflora la secuencia metamórfica Acapetlahuaya, con una pequeña cubierta sedimentaria formada de gravas, bloques y guijarros sostenidos en una matriz de arena fina a gruesa (Qtal), con un horizonte superficial de arenas gruesas de diferente compacidad (Qar) y de fácil remoción con medios mecánicos, en el intervalo que va de 0+375 a 0+ 460 m.

El valor resistivo de las arenas va de 21 a 108 Ωm y el de velocidad sísmica de 0,8 Km/s, correlacionándose con la unidad geofísica U1c y los valores de velocidad de cortante del Modelo L2 va de 300 a 400 m/s. El horizonte de la terraza aluvial que se encuentra abajo de las arenas, se correlaciona con la unidad U1b, los valores de resistividad van de 150 a 219 Ωm y velocidad sísmica de 1,2 km/s. Los valores de velocidad de cortante del Modelo L2 son de 600 a 650 m/s.

En general todos los materiales sedimentarios pueden alcanzar espesores de hasta 14,0 metros y se localizan en la porción media de la margen derecha (Anexo 3 y 5; secciones 1G-1G', 2G-2G', 3G-3G', GG-GG', HG-HG' e IG-IG', Planos P-PHP-SG01 al P-PHP-SG02, P-PHP-SG04 y P-PHP-SG05).

Con relación a la roca de la secuencia metamórfica que es la que ocupa la mayor área de la margen derecha de este trazo (Anexo 3 y 5; Planos del P-PHP-SG01 al P-PHP-SG05), se observa que en la parte superficial, los primeros cinco metros, se asignaron a la unidad geofísica U2 debido a que los valores de resistividad van de 15 a 344 Ωm , velocidad sísmica de 0,3 a 0,8 km/s y velocidad de cortante de 350 a 600 m/s (Modelos L1, L3 y L4). Litológicamente se correlaciona con metalutitas y metaareniscas plegadas, alteradas y muy fracturadas. Para el trazo de la sección del eje 3G-3G', los valores de resistividad van de 15 a 110 Ωm y velocidad sísmica de 0,3 a 0,8 Km/s.

Posteriormente, se tiene una capa que puede profundizarse hasta los 20,0 m, aquí, la roca mejora de calidad, aunque, el macizo rocoso aún se encuentra fracturado, de mala a regular calidad y se correlaciona con la unidad geofísica U3 cuyos valores de resistividad van de 39 a 148 Ωm , velocidad sísmica de 1,5 a 1,9

km/s y velocidad de cortante según los modelos L1, L3 y L4 son de 800 a 900 m/s. Esta unidad, según las secciones IG-IG' y 3G-3G' (Anexo 3 y 5; Planos P-PHP-SG02 y P-PHP-SG05), se encuentra en contacto por debajo de los materiales que conforman la terraza aluvial (Qtal); sin embargo, en las secciones 2G-2G' y HG-HG' (Anexo 5, Planos P-PHP-SG01 y P-PHP-SG04) el contacto de estos materiales es con la unidad U4.

Finalmente, hacia el fondo, la unidad geofísica U4 puede correlacionarse con roca poco fracturada y más competente; los valores resistivos varían de 153 a 348 Ω m, velocidad de onda de 3,8 a 3,5 km/s y velocidad de cortante según el Modelo L4 es poco menor a 1000 m/s (Anexo 3 y 5; secciones 1G-1G', 2G-2G', 3G-3G', 4G-4G', 5G-5G', GG-GG', HG-HG', IG-IG', JG-JG', KG-KG', LG-LG' y MG-MG', Planos del P-PHP-SG01 al P-PHP-SG05).

Por su parte, las estructuras determinadas en esta alternativa de eje (sección 3G-3G') corresponden con la traza del lineamiento 6 (L6) localizada en la margen derecha del río, en el cadenamiento 0+343 m y la traza de la Falla 1 aproximadamente en el cadenamiento 0+539 m de la misma margen (Figura 5.3). Ambas estructuras parecen no generar alguna anomalía geofísica en superficie y hacia el subsuelo, pero, para el caso del lineamiento, el cual, a diferencia de la Falla 1, no se pudo correlacionar superficialmente con alguna estructura importante, es necesario continuar con los estudios de tales zonas en etapas más avanzadas.

La Falla 1 se determinó en superficie cerca del lecho del río Balsas; no obstante, su traza se pierde por debajo de los materiales no consolidados. Luego entonces, las propiedades determinadas en superficie y aparentemente con la información geofísica del subsuelo, se infiere preliminarmente que dicha estructura no presenta condiciones desfavorables que puedan ocasionar problemas para la estanqueidad del sitio, aunque, tal condición debe ser reevaluada en la etapa siguiente.

Se identificaron algunas anomalías geofísicas a escasos metros de profundidad y todos ubicados sobre la margen derecha del río balsas. Dichas anomalías se asocian preliminarmente con roca deformada y plegada, afectada por un alto grado de fracturamiento abierto y alteración por argilización, aunque, es recomendable que estas correlaciones se revaloren en las etapas siguientes.

Las anomalías determinadas se presentan en la sección 2G-2G' en el cadenamiento 0+310 y 0+405 m (Anexo 5; Plano PHP-SG01); sección 4G-4G' sobre el cadenamiento 0+310 m (Anexo 5; Plano PHP-SG03); la sección GG-GG', aproximadamente en los cadenamientos 0+130 m y a partir del 0+220 m, extendiéndose por debajo del río (Anexo 5; Plano PHP-SG04). Esta última anomalía se encuentra cerca de la zona de influencia de la Falla 1 de tipo inversa, por lo que se asocia a dicha estructura. Por último, en la sección IG-IG' (Anexo 5; Plano PHP-SG05) se define una anomalía que propicia la extensión del contacto a profundidad para encontrar la roca de mejor calidad (U4), al rededor del cadenamiento 0+137 m.

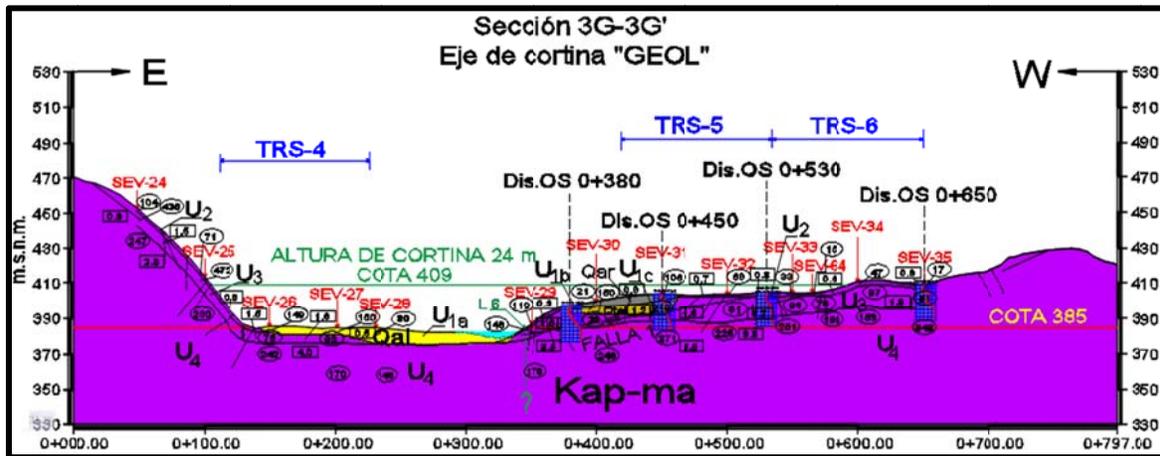


Figura 5.3. Sección geológica-geofísica del eje de cortina “GEOL”. Resalta las condiciones topográficas contrastantes entre ambas márgenes, así como, aparentemente, la poca cubierta sedimentaria no consolidada distribuida en el cauce del río y en la margen derecha.

5.1.2. Eje de cortina “CAPS” (Sección 3C-3C’)

Para verificar el área de influencia de la propuesta de eje de cortina “CAPS” (Anexo 4; Plano P-PHP-SC02; Sección 3C-3C’), se interpretaron 18 secciones geológico-geofísicas dispuestas en una retícula de 50,0 m por lado, cinco se trazaron perpendicularmente al cauce del río y el resto paralelas, de manera que cubrieran ambas márgenes de la alternativa (Anexo 6; Planos P-PHP-SC01 a P-PHP-SC06 y Figura 5.2).

La Sección 3C-3C' del Plano P-PHP-SC02 (Anexo 4) corresponde con el trazo del eje propuesto (Figura 5.4). Topográficamente se trata de un eje asimétrico (Fotografía 5.2), donde se ve claramente el contraste del relieve de ambas márgenes; la margen izquierda está formada de una pendiente fuerte que desarrolla una altura aproximada de 119,0 m con relación al cauce del río, al contrario de la margen derecha con pendientes suaves que alcanza un promedio de 25,0 m de altura.

La altura propuesta para la cortina es de 24,0 m (cota 409 msnm), con base en este dato se observa que en dicha sección la obra desarrollará una longitud de corona aproximada de 484,19 m con una orientación N35°E. Las obras de desvío y obra de toma se proyectan preliminarmente en la cota 385 msnm.

Es importante mencionar que en la margen derecha se encuentra un bajo topográfico por la erosión de un arroyo que desemboca hacia el río, por esta razón es necesario prolongar la sección para el empotramiento.



Fotografía 5.2. El eje de cortina “CAPS” tiene una orientación NE-SW con 35° y se encuentra aguas arriba del eje “GEOL”.

En la margen izquierda de la Sección 3C-3C' (cadenamiento 0+00 a 0+120 m), el empotramiento de la cortina del eje “CAPS”, quedará totalmente en roca de la secuencia metamórfica compuesta de metalutitas y metaareniscas fracturadas y

deformadas. Los primeros 2,0 m superficiales se correlacionan con la unidad geofísica U2 y los valores de resistividad van de 88 a 180 Ωm y velocidad sísmica de 0,5 km/s, que litológicamente pueden correlacionarse con roca alterada, altamente fracturada y, por lo tanto de mala calidad.

En seguida de los 2,0 a 20,0 m de profundidad, el macizo rocoso mejora su calidad, pero es posible que todavía corresponda con la zona de descompresión, asociado a la unidad geofísica U3, con roca de mala a regular calidad y fracturada, los valores de resistividad van de 32 a 104 Ωm y velocidad de 1,5 km/s.

Después de los 20,0 m hacia el fondo, se detectó la unidad geofísica U4 que probablemente pueda correlacionarse con roca de mejor calidad que los tramos descritos anteriormente, los valores resistivos varían de 105 a 248 Ωm , velocidad de onda de 2,6 km/s y velocidad de cortante >800 m/s. Todos estos valores indican que la roca a profundidad presenta fracturas rellenas o bien cerradas en contacto roca a roca.

Las condiciones anteriores se conservan prácticamente en toda la margen izquierda como se indica en las secciones 1C-1C', 2C-2C', 3C-3C', 4C-4C', 5C-5C', AC-AC', BC-BC' y CC-CC' (Anexo 4 y 6, Planos del P-PHP-SC01 al P-PHP-SC04).

Del cadenamamiento 0+120 a 0+280 m, de la misma Sección 3C-3C', en el cauce del río, aflora el depósito de materiales aluviales con un espesor estimado de 12,0 m, aunque según la Sección 4C-4C' (Anexo 6, Plano P-PHP-SC03) este espesor puede alcanzar hasta los 20,0 m. En general este material desde el punto de vista geofísico se correlaciona con la Unidad U1a cuyos valores de resistividad pueden variar de 22 a 195 Ωm y una propagación de onda de 0,5 a 1,5 km/s. Esta característica se aprecia en las secciones 1C-1C', 2C-2C', 3C-3C', 4C-4C', 5C-5C', DC-DC', EC-EC' y FC-FC' (Anexo 4 y 6, Planos del P-PHP-SC01 al P-PHP-SC05).

Para todas las secciones mencionadas se infiere, por proyección, que al pasar el contacto del aluvial, continua la roca metamórfica poco fracturada y posiblemente de buena calidad debido a que se correlaciona con la unidad geofísica U4 de resistividades que van de 103 a 700 Ωm y velocidad de onda sísmica de 2,6 a 4,5 m/s. Específicamente para la sección del eje 3C-3C', en este cadenamamiento, los

valores de resistividad y sísmica para el material aluvial va de 22 a 82 Ωm y 0,7 km/s, y para la unida U4 va de 194 a 336 y velocidad de 4,5 km/s.

En el cadenamamiento que va de 0+280 a 0+470 m, de acuerdo a las secciones 1C-1C', 2C-2C', 3C-3C', 4C-4C', 5C-5C', GC-GC', HC-HC', IC-IC' y JC-JC' (Anexo 4 y 6, Planos del P-PHP-SC01 al P-PHP-SC03, P-PHP-SC05 y P-PHP-SC06) superficialmente aflora una secuencia sedimentaria no consolidada y de fácil remoción con medios mecánicos, que corresponde con una terraza aluvial (Qtal), la cual consiste en gravas, bloques y guijarros sostenidos en una matriz de arena fina a gruesa, con un horizonte intermedio de arenas gruesas de diferente compacidad, según lo muestran los valores de velocidad de cortante del Modelo L7, que varía de 400 a 630 m/s.

Los materiales de la terraza aluvial desde el punto de vista geofísico se correlacionan con la unidad U1b, los valores de resistividad van de 19 a 267 Ωm y velocidad sísmica de 0,4 a 1,7 km/s; es importante mencionar que esta terraza aluvial se compone de dos horizontes, donde el paquete más superficial al parecer es menos compacto que el que se encuentra por abajo del horizonte de arena según lo muestran los valores de velocidad de cortante de los Modelos L5, L6 y L7. Para el paquete superficial los valores van de 200 a 500 m/s y para el inferior según el Modelo L7 puede variar de 600 hasta los 800 m/s.

Por otro lado, los valores específicos para la terraza aluvial en la sección 3C-3C' de resistividad y de velocidad sísmica correspondientes al horizonte superficial de la unidad Ub1 van de 20 a 45 Ωm y 0,4 km/s respectivamente, y para el inferior las resistividades van de 77 a 91 Ωm y velocidades sísmicas de 0,4 a 1,1 km/s.

Como se puede observar, todo este paquete sedimentario, incluyendo al horizonte de arenas, la compacidad del material aumenta conforme se profundiza, es por esta razón que dicha propiedad para las arenas se encuentre en un término intermedio en relación con las dos capas de la terraza aluvial ya mencionadas.

El valor resistivo de las arenas va de 21 a 297 Ωm y el de velocidad sísmica de 0,5 a 1,7 km/s, correlacionándose con la unidad geofísica U1c, y los valores de velocidad de cortante del Modelo L7 muestran un intervalo de 400 a 630 m/s. Específicamente para esta unidad en la sección 3C-3C' los valores de resistividad obtenidos van de 213 a 297 Ωm y velocidad sísmica de 0,5 a 1,7 km/s.

En general todos los materiales sedimentarios pueden alcanzar espesores de hasta 20,0 metros y se localizan básicamente en la porción media a alta de la margen derecha (Anexo 4 y 6; secciones 1C-1C', 2C-2C', 3C-3C', 4C-4C', 5C-5C', GC-GC', HC-HC', IC-IC', JC-JC' y KC-KC', Planos del P-PHP-SC01 al P-PHP-SC03, P-PHP-SC05 y P-PHP-SC06).

Debajo del contacto de la terraza aluvial, y de acuerdo con los datos de velocidad de cortante de los Modelos L6 y L7, es posible que se presente la unidad geofísica U4 relacionada litológicamente con una roca de buena calidad constituida por metaareniscas y metaluttas poco fracturadas, cerradas en contacto roca a roca o bien, rellenas de calcita o sílice, debido a que los valores de velocidad de cortante varían de 600 a 800 m/s.

Mientras tanto, del cadenamiento 0+470 y hasta el final de la sección, el empotramiento de la cortina del eje "CAPS", quedará totalmente en roca de la secuencia metamórfica. Los primeros 5,0 m superficiales se correlacionan con la unidad geofísica U2 y los valores de resistividad van de 22 a 102 Ω m y velocidad sísmica de 0,5 a 0,6 km/s, que litológicamente pueden correlacionarse con roca alterada, de mala calidad y muy fracturada, esta condición se observa en general en las secciones 1C-1C', 2C-2C', 3C-3C', 4C-4C', 5C-5C', KC-KC', LC-LC', MC-MC' y NC-NC' (Anexo 4 y 6, Planos del P-PHP-SC01 al P-PHP-SC03 y P-PHP-SC06).

En seguida de los 5,0 a 20,0 m de profundidad, el macizo rocoso mejora su calidad, pero todavía se asocia a la zona de descompresión, se correlaciona con la unidad geofísica U3, y se infiere que puede corresponder con roca de mala a regular calidad y fracturada, los valores de resistividad van de 52 a 99 Ω m y velocidad de 2,3 a 2,5 km/s.

Posteriormente a profundidad, se presenta la unidad geofísica U4 la cual se puede correlacionar con roca de mejor calidad, los valores resistivos varían de 131 a 484 Ω m y velocidad de onda de 3,5 a 4,5 m/s.

En cuanto a la presencia de estructuras geológicas que pudieran poner en riesgo la construcción de esta alternativa, es necesario hacer notar que la presencia de materiales no consolidados cubre un área importante del sitio, lo que impide hacer una evaluación preliminar en este aspecto. Así entonces, en el cadenamiento 0+493 m aproximadamente, de la sección 3C-3C' que corresponde a la alternativa

del eje "CAPS" (Figura 5.4) se tiene la traza del lineamiento 10 (L10) y al rededor del cadenamiento 0+728 m la Falla 1 de cinemática inversa.

Si bien, en ambas discontinuidades geológicas no se identifica alguna anomalía asociada a estas, su existencia hacia el subsuelo no se puede descartar, por lo que se deben considerar estudios dirigidos a determinar su área de influencia en la zona de boquilla.

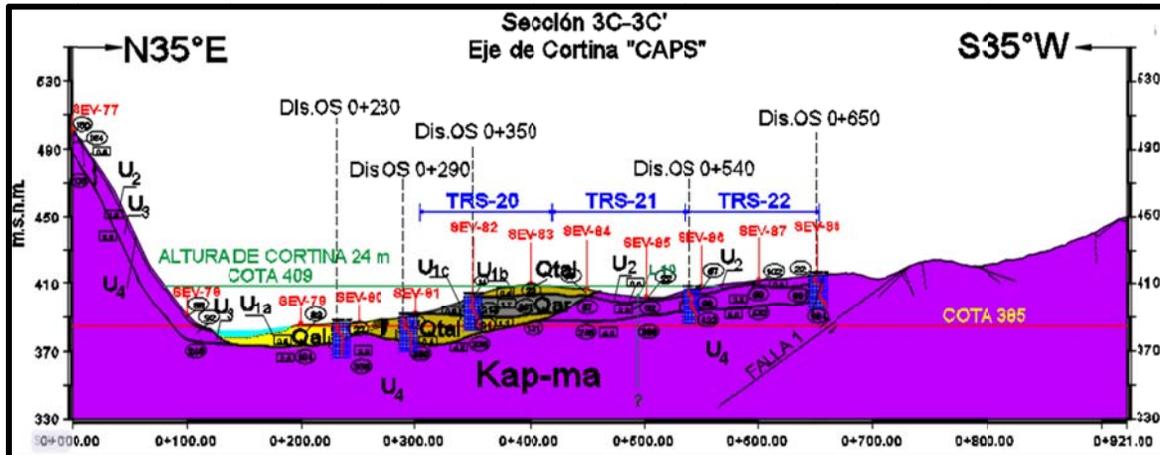


Figura 5.4. Sección geológica-geofísica de eje de cortina "CAPS". Nótese la asimetría del eje, debido a las condiciones topográficas entre ambas márgenes del río; además, la acumulación de materiales poco consolidados en el cauce del río y en la margen derecha, cuyos espesores se infieren más allá de los 20,0 m.

5.2. Resultados y discusión

Con base en los levantamientos geológicos-estructurales en superficie y su correlación hacia el subsuelo mediante la información geofísica existente de la zona de estudio, se definió preliminarmente el modelo geológico para ambas alternativas de eje de cortina, cuyas características se contrastan en la Tabla 5.2 y en la Figura 5.5 se muestra en tres dimensiones (3d) las condiciones topográficas y geomorfológicas de la zona de boquilla.

Tabla 5.2. Puntos de comparación entre las dos alternativas propuestas.

Alternativas de Eje de Cortina			
Alternativa	Sección	Rumbo	Longitud de corona (m)
"GEOL"	3G-3G'	E-W	486,9

Resultados			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ El área cubierta por materiales no consolidados (Qtal) es menor; el espesor más profundo aparentemente alcanza los 14,0 m según la sección IG-IG' (Anexo 5 y Plano P-PHP-SG05) en el cadenamiento 0+151 m. ➤ En el cauce del río, los depósitos aluviales presentan un espesor más o menos homogéneo en todas las secciones, de 9,0 a 11,0 m; sin embargo la profundidad máxima que alcanza es de 12,0 m en la sección 5G-5G' (Anexo 5, Plano P-PHP-SG03). ➤ La roca descomprimida (U2) se presenta de manera superficial y hasta los 3,0 m de profundidad aproximadamente en la margen izquierda, y hacia la margen derecha alcanza una profundidad de 5,0 m aproximadamente. Dichos espesores son constantes en todas las demás secciones. ➤ Posterior a los 3,0 y 5,0 m de profundidad, se presenta la unidad U3 que corresponde con roca de mala a regular calidad (grado alto a regular fracturamiento), con un espesor de 7,0 m y 15,0 m para la margen izquierda y derecha respectivamente. ➤ La unidad U4 correlacionada con roca poco fracturada y de mejor calidad que las anteriores, se presenta a partir de los 10,0 m para la margen izquierda y a los 20,0 m en la margen derecha. En la zona del cauce del río, los depósitos aluviales, aparentemente, subyacen sobre metalutitas y metaareniscas poco fracturadas y competentes de la unidad U4; esta condición se manifiesta en todas las secciones que conforman la alternativa "GEOL". 			
Alternativa	Sección	Rumbo	Longitud de corona (m)
"CAPS"	3C-3C'	N35°E	484,19
Resultados			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La cubierta de materiales no consolidados (Qtal) rebasa aparentemente los 20,0 m de profundidad (se constata de manera general en todas las secciones). ➤ Los depósitos aluviales en la zona de cauce alcanzan un espesor para esta sección (3G-3G') de 12,0 m y llegan a profundizar hasta 20,0 m según la sección 4C-4C' (Anexo 6, Plano P-PHP-SC03). ➤ El espesor de roca altamente fracturada, meteorizada y de mala calidad que (U2) aflora en superficie tiene un espesor que alcanza, en general, para todas las secciones en la margen izquierda los 2,0 m y en la margen derecha 5,0 m. ➤ Asimismo, la unidad U3 que corresponde con un macizo rocoso afectado por un grado alto a regular fracturamiento asociado aún a la zona de descompresión puede profundizar hasta los 20,0 m, es decir, tiene un espesor de 18,0 y 15,0 m para la margen izquierda y derecha respectivamnte. ➤ La roca de mayor calidad (U4) se presenta, en todas las secciones a una profundidad aproximada de 20,0 m en ambas márgenes y, aparentemente, se encuentra en contacto directo con los materiales aluviales y la terraza aluvial. 			

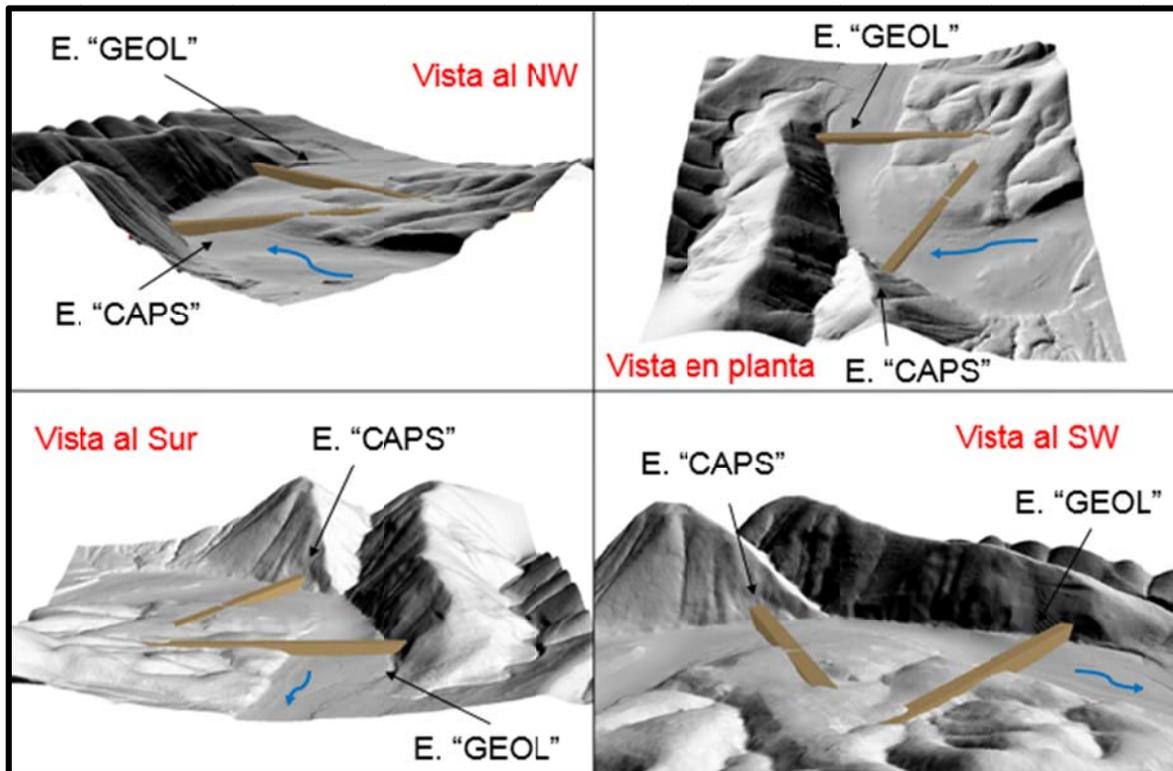


Figura 5.5. Modelo 3d de las alternativas de eje d cortina, procesado con el paquete de cómputo Argis. En él se muestran las características del relieve y la disposición espacial de los ejes.

CAPÍTULO 6. BANCOS DE MATERIALES

El nivel de estudio en esta etapa, considera la identificación de sitios con probabilidad de ser considerados como bancos de grava-arena y arcillas. En general, el sitio cuenta con la cantidad suficiente de estos materiales para la construcción de la cortina y las obras complementarias. En este sentido, el proyecto considera la construcción de una cortina tipo CCR (Concreto Compactado con Rodillo) de 24,0 m de altura.

La cartografía de los bancos de material abarca un radio de estudio de hasta 3,0 km, medido a partir del eje de cortina "GEOL" (Figura 6.1). En toda esta zona se pudieron diferenciar 8 bancos de dimensiones y espesores variables, cuyas características se describen a continuación.

6.1. Materiales de acarreo (grava-arena)

Se determinaron 7 bancos (Figura 6.1) de material de acarreo, constituidos por gravas y arenas, cuya distribución abarca toda la traza del río en ambos márgenes. Estos depósitos son abundantes y llegan a formar playones de grandes dimensiones (Fotografía 6.1) e incluso, islotes como el banco B3 (Fotografía 6.2);

Se constituyen de fragmentos de tamaños muy homogéneos y de regular a buena clasificación (Fotografía 6.3); predominan principalmente los tamaños de la grava y arena sobre los boleos; no obstante, en algunos bancos, los boleos son los de mayor abundancia. Estos depósitos se caracterizan por sus formas subredondeadas a redondeadas, lo cual muestra un transporte de distancias importantes.



Fotografía 6.1. En la imagen se observa un playón de dimensiones importantes aproximadamente a 500,0 m aguas arriba del sitio del proyecto.



Fotografía 6.2. Islote localizado a 300,0 m aguas arriba del eje "GEOL". El banco está formado por una gran acumulación de materiales de acarreo (gravas, arenas y algunos bloques) subredondeados.



Fotografía 6.3. Distribución de la granulometría de los bancos de material de grava y arena. En general las gravas y los cantos rodados se encuentran en una matriz de arena gruesa.

La composición de los clastos en los diferentes bancos es más o menos la misma; predominan las rocas de composición ígnea intrusiva como granitos, granodioritas y pórfidos andesíticos sobre las rocas ígneas extrusivas ácidas e intermedias como las riolitas y andesitas respectivamente, así como de las rocas metamórficas representadas por metaareniscas y metalutitas. Además, los fragmentos de cuarzo y feldespatos también están presentes en cantidades regulares.

En la Tabla 6.1 se describen las peculiaridades sobre cada uno de los bancos de grava y arena cartografiados de acuerdo a la Figura 6.1. Es preciso mencionar que los espesores son estimados a partir de observación en perfiles naturales del terreno, por lo que los volúmenes pueden resultar diferentes una vez que se realice la prospección mediante métodos geofísicos o directos.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

Tabla 6.1. Aspectos generales y características litológicas de los diferentes bancos de arena y grava.

Banco	Área estimada (m ²)	Margen	Espesor estimado (m)	Volumen estimado (m ³)	Radio de influencia (km)
B1	26 657,41	Derecha	6,0	159 944,46	<1,0
B2	38 854,94	Izquierda	8,0	310 839,52	<1,0
B3	42 737,75	Islote	5,0	213 688,75	<3,0
B4	268 195,44	Izquierda	5,0	1 340 977,2	<3,0
B5	13 765,08	Izquierda	5,0	68 825,4	<3,0
B7	102 988,80	Derecha	9,0	926 899,2	<3,0
B8	46 472,78	Izquierda	8,0	371 782,24	<3,0
Total				3 392 956,77	
Descripción					
B1	Superficialmente el banco cuenta con una cobertura de boleos y gravas subredondeados, embebidos en una matriz de arena gruesa.				
B2	Consiste en un banco con clastos que van desde el tamaño de las gravas hasta Bloques de 0,12, m; predominan los primeros y están subredondeados e inmersos en una matriz de arena gruesa.				
B3	En su mayoría se conforma de gravas con escasos boleos subredondeados, inmersos superficialmente en un material limo-arenoso y, a medida que aumenta la profundidad, la matriz es arena gruesa.				
B4	Se conforma en su mayoría de arena, gravas, guijas, gujarros y, esporádicamente, de bloques rodados, de formas subangulosas a subredondeadas. Hacia las partes lejanas al río, el material se conforma principalmente de arenas gruesas a finas con una porción menor de limos.				
B5	Constituido por cantos rodados de diversos tamaños que van desde las gravas hasta los bloques (0,07 a 0,12 m), predominan los primeros; todos inmersos en una matriz de arena gruesa. Los clastos son subangulosos a subredondeados.				
B7	Este banco presenta una concentración de bloques de 0,10 a 0,15 m y clastos subredondeados del tamaño de las gravas, guijas y gujarros; todo el material se encuentra embebido en una matriz de arena gruesa. Conforme se aleja del río, el material se compone en su mayoría por arena fina y limos.				
B8	Presenta una concentración de guijas, gujarros y escasos boleos subangulosos a subredondeados, inmersos en una matriz de arena gruesa.				

6.2. Bancos de material impermeable (arcillas)

Para diferenciar preliminarmente estos tipos de materiales, se realizaron algunas pruebas sencillas directamente en campo; luego entonces, se formaron rollos de 0,01 m de diámetro aproximadamente, con la ayuda de agua y se determinó de forma general, que tan plástico era el material. También se observaron características tales como la dificultad para quitarse los sedimentos de las manos, y la facilidad con la que el agua puede salir de su estructura.

Con lo anterior, se definió un banco de arcilla (B6) factible de ser prospectado con mayor detalle en etapas posteriores. Este banco se localiza a 1,32 km de distancia a partir del eje de cortina “GEOL” medido en línea recta (Figura 6.1).

El banco nombrado B6 corresponde con una arcilla limosa (Fotografía 6.4), cuyo espesor observado en un perfil natural del terreno, se estima de hasta 2,0 m. En la Tabla 6.2 se describen los aspectos generales del banco de material impermeable.



Fotografía 6.4. Las arcillas limosas del banco B6 tienen un espesor estimado por observación directa en campo de hasta 2,0 m aproximadamente.

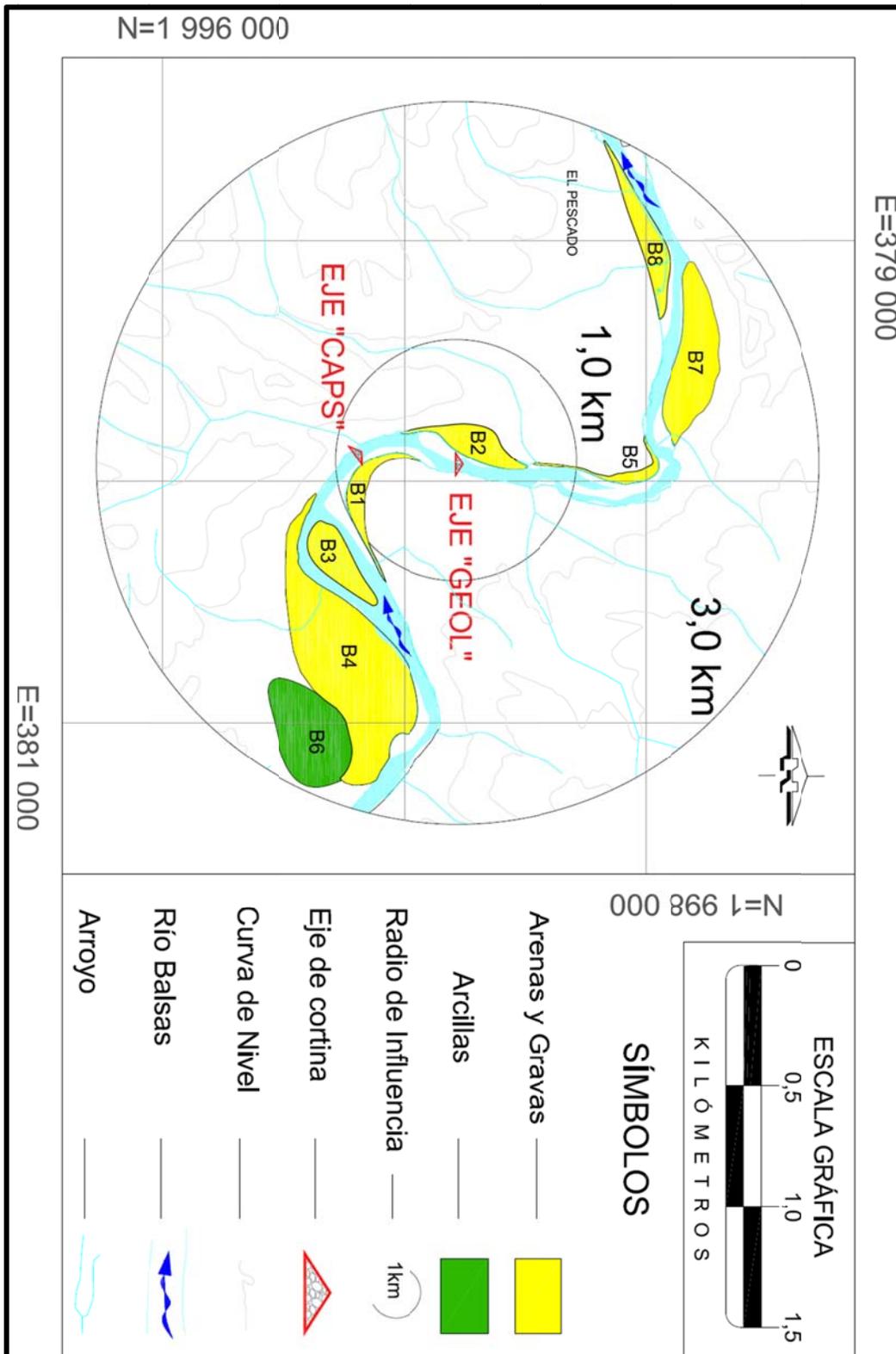


Figura 6.1. Distribución de los bancos de material grava-arena y arcillas que reúnen condiciones favorables para prospectarlos en etapas posteriores.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

Tabla 6.2. Aspectos generales de los materiales que conforman el banco de arcillas.

Banco	Área estimada (m²)	Margen	Espesor máximo estimado (m)	Volumen estimado (m³)	Radio de influencia (km)
B6	110 412,88	Izquierda	2,0	220 825,76	<3,0
Descripción					
B6	Constituido de arcillas con un porcentaje menor de limos. El material tiene un color pardo claro a rojizo.				

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Con base en los objetivos planteados, se detallan las conclusiones que derivaron de los trabajos de campo dirigidos a la futura construcción de la presa El Pescado, Gro.

7.1.1. Zona de embalse

- En el embalse de la presa aflora en toda su extensión una secuencia metamórfica compuesta por metalutitas y metaareniscas deformadas, plegadas y fracturadas de la Formación Acapetlahuaya del Cretácico Inferior, y una importante serie sedimentaria de tipo continental del Cuaternario, compuesta de una terraza aluvial no consolidada que en gran medida modifica la paleotopografía y depósitos aluviales localizados en el lecho del río.
- En general, los rasgos estructurales identificados en los 7,0 km² de embalse de la presa, están representados por fallas de desplazamiento neto de tipo normal y otras con una componente de menor magnitud de tipo lateral derecha de orientaciones NE-SW y N-S respectivamente. Además, aunque no fue posible determinar, en gran medida, la existencia de fallamiento transcurrente, debido a que se encuentran cubiertas por material no consolidado, la morfología del terreno y los cambios de dirección del río muestran una gran influencia de fallas laterales dextrales y sinestrales, manifestadas en el análisis estereográfico de los lineamientos con orientaciones principales N60°-70°E y N40°-50°E.
- Regionalmente el fallamiento laramídico es el más importante, con la formación de cabalgaduras de extensiones distantes, la foliación de las rocas mesozoicas y pliegues de grandes magnitudes. No obstante, en la zona del embalse, el evento de deformación lateral parece ser el sistema más persistente y frecuente, ya que secciona las estructuras más antiguas relacionadas a la Orogenia Laramide

- La discontinuidad más penetrativa en las rocas del sitio es la foliación, cuyos sistemas preferenciales son: $N86^{\circ}E/53^{\circ}SE$ y $N29^{\circ}E/34^{\circ}NW$. Asimismo, los sistemas de fractura en orden de importancia son: $N41^{\circ}W/63^{\circ}NE$, $N54^{\circ}E/66^{\circ}NW$, $E-W/71^{\circ}N$ y $N15^{\circ}E/81^{\circ}SE$.
- Grosso modo, las estructuras geológicas que se encuentran en el área, aparentemente no representan zonas de riesgo para el cierre hidráulico de la obra, aunque, es muy importante continuar con etapas de estudio más avanzados.

7.1.2. Zona de boquilla

- El modelo geológico del sitio donde se pretende construir las obras de la cortina para la presa El Pescado, se compone de una secuencia de rocas metamórficas (metalutitas y metaareniscas) de la Formación Acapetlahuaya cubiertas por materiales sedimentarios poco consolidados que en gran parte del área de la boquilla tienen espesores que pueden alcanzar hasta poco más de los 20,0 m.
- Estructuralmente se definieron fallas inversas y normales que afectan a toda la secuencia metamórfica. El fallamiento inverso es asociado a los eventos de deformación compresivo de la roca derivados de la Orogenia Laramide y el de cinemática normal parece ser compatible con los esfuerzos transtensivos acaecidos en el terciario. De acuerdo al análisis estereográfico de estas estructuras se identificó un sistema principal de orientación $N80^{\circ}-90^{\circ}E$.
- A partir del análisis de discontinuidades (fracturas, pliegues, fallas y foliación) en ambas márgenes del río, se pudo definir preliminarmente, al menos en esta zona, un patrón de esfuerzos que actuaron con una orientación casi N-S y vergencia de Sur a Norte, compatibles con los sistemas principales de las discontinuidades mencionadas.
- La posición de este patrón de esfuerzos en una posición casi N-S con vergencia al N, no parece ser congruente con los esfuerzos contráctiles laramídicos, por lo que no se desecha la posibilidad de una rotación en

sentido antihorario de las estructuras orogénicas por el fallamiento Transcurrente del Terciario.

7.1.3. Eje de cortina “GEOL”

- La sección 3G-3G' corresponde con el eje de cortina “GEOL”, cuya altura se estima en 24,0 m, hasta la cota 409 msnm y desarrollará una longitud de corona aproximada de 486,9 m, y una orientación E-W. Las obras de desvío y obra de toma se proyectan preliminarmente en la cota 385 msnm.
- Con base en los estudios geofísicos y los levantamientos geológicos superficiales, la margen izquierda de esta alternativa quedará totalmente en la secuencia metamórfica Acapetlahuaya. En el cauce del río los depósitos aluviales alcanzan un espesor estimado de 9,0 a 12,0 m, y en la margen derecha aflora la secuencia metamórfica Acapetlahuaya con una pequeña área cubierta de sedimentos que conforman la terraza aluvial, la cual tiene un espesor estimado de hasta 14,0 m.
- En cuanto a los espesores de roca descomprimida y alterada determinados con los estudios geofísicos; hacia la margen izquierda se tiene un espesor más o menos constante de 3,0 m y hacia la margen derecha alcanza los 5,0 m de profundidad. Luego, hacia mayor profundidad la roca mejora su calidad; pero todavía sigue presentando un grado considerable de fracturamiento y superficies abiertas (U3). Finalmente, la roca de mejor calidad (poco fracturada) asociada a la unidad U4 profundiza aproximadamente hasta los 10,0 m en la margen izquierda y hasta 20,0 m en la margen derecha; en la zona de cauce se infiere por proyección, que esta unidad se encuentra en contacto por debajo de los materiales aluviales del río, es decir, entre los 9,0 y 12,0 m.

7.1.4. Eje de cortina “CAPS”

- La propuesta para eje de cortina “CAPS” (Sección 3C-3C'), con 24,0 m de altura quedará en la cota 409 msnm y desarrollará una longitud de corona aproximada de 484,19 m, con una orientación N35°E. Las obras de desvío y obra de toma se proyectan preliminarmente a la cota 385 msnm.

- De acuerdo con los estudios geofísicos y geológicos superficiales, para esta alternativa, las obras de la cortina quedarán empotradas en la secuencia metamórfica de la Formación Acapetlahuaya. Esta situación se presenta en la margen izquierda, debido a que la unidad lítica aflora; sin embargo, en el cauce del río existen materiales aluviales con un espesor estimado de 12,0 m, aunque, se infiere que puede profundizar hasta 20,0 m.
- En la margen derecha una secuencia sedimentaria denominada como terraza aluvial (Qtal) cubre una parte del macizo rocoso con espesores que pueden profundizar poco más de los 20,0 m de espesor.
- A partir de los resultados geofísicos, se determinó que el espesor de roca altamente fracturada, meteorizada y de mala calidad que aflora en superficie tiene un espesor que alcanza los 2,0 m en margen izquierda y 5,0 en la margen derecha del río. A más profundidad la roca mejora su calidad, pero todavía se asocia a la zona de descompresión (U3); en consecuencia, la unidad U4 relacionada a la roca de mayor competencia (buena calidad y poco fracturada) se encuentra hasta los 20,0 m de profundidad aproximadamente, en ambas márgenes del río.
- Por tanto, el trazo del eje “GEOL” parece ser el que reúne mejores condiciones geológicas en superficie y hacia el subsuelo, ya que presenta espesores de aluvión y de terraza aluvial menores respecto al eje “CAPS”; además, el desplante de la cortina aparentemente se puede dar en los primeros 10,0 m de profundidad en la margen derecha, en el cauce posiblemente a una profundidad de hasta 15,0 m, y hasta 20,0 m o menos en la margen izquierda si se considera un tratamiento en la roca para mejorar su competencia.

7.1.5. Banco de materiales

- Se definieron 8 bancos de material en total; siete son bancos de grava y arena y uno de material arcilloso, los cuales reúnen, preliminarmente, condiciones favorables para su prospección en etapas siguientes, ya que se localizan a una distancia no mayor a los 3,0 km, y si fuera necesario ubicar

más bancos para su explotación; estos materiales son lo suficientemente abundantes tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo del sitio.

- El volumen preliminar de material de acarreo (grava y arena) calculado es de 3 392 956,77 m³ y el de material impermeable es de 220 825,76 m³, disponibles para la construcción de las obras de ingeniería.

7.2. Recomendaciones

- Los resultados y las conclusiones deben seguir sometidas a evaluación en etapas de estudio de mayor detalle; por tanto, se recomienda programar campañas de exploración geofísica que nos permita conocer cada vez más con más precisión, la calidad de los materiales, espesores y la influencia de las discontinuidades geológicas ya detectadas en la zona de la boquilla.
- Específicamente, se requiere aplicar TRS y SEV's en la cañada de margen izquierda ubicada en la zona de boquilla, por donde, posiblemente, cruza el lineamiento L1, para descartar su correlación con alguna falla y asegurar el cierre hidráulico del vaso. Asimismo, en la zona del cauce del río ya que no se cuenta con información de esta zona. Su estudio nos permitirá, además de determinar espesores, descartar la existencia de la Falla 3. También se deben de ejecutar estudios de geofísica en la margen derecha sobre la cañada que posiblemente está regida por la Falla 1.
- Además, es sumamente importante programar en etapas posteriores de exploración, barrenos con recuperación de núcleos de roca hasta una profundidad mínima de 50,0 m, con el propósito de verificar la calidad del basamento, cortar estructuras como fracturas, foliación y fallas en el subsuelo, verificar e identificar posibles contactos y litologías, conocer la permeabilidad de las unidades litológicas, y corroborar espesores de los materiales poco consolidados.
- Continuar con los levantamientos superficiales de la geología del embalse, una vez se tengan gestionados los permisos de acceso a esta zona y, así, complementar el modelo geológico del área. Además ubicar zonas potencialmente inestables para el vaso de la presa.

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO.**

- Complementar el levantamiento de bancos de material con la localización de bancos de roca y ampliar la cartografía hasta 7,0 km de radio.

BIBLIOGRAFÍA

Campa, M. F., Campos, M., Flores, R., Oviedo, R., 1974, *La secuencia mesozoica volcánica-sedimentaria metamorfozada de Ixtapan de la Sal, México-Teloloapan, Gro: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 35, p. 7-28.*

Campa, M. F., y Coney, P. J., 1983, *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, pp. 1040-1051.*

Campa, M. F., Ramírez, J., 1979, *La evolución geológica y la metalogénesis del noroccidente de Guerrero. Plan Piloto Proyecto de Recursos Naturales de Guerrero: Taxco, Universidad Autónoma de Guerrero, Serie Científica Técnica, pp. 100.*

Centeno-García, E., Guerrero-Suastegui M., y Talvera-Mendoza O., 2008, *The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone: Geological Society of America Special Paper.*

Cerca, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Martiny, B., Iriando, A., 2007, *Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, northern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction: Tectonics, v. 26.*

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2009, *“Informe Geológico a Nivel Conceptual del Proyecto Hidroeléctrico El Pescado, río Balsas, Guerrero, México”.* Inédito.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2011, *“Estudio de Refracción Sísmica y Resistividad Eléctrica en el PH El Pescado, Edo. Gro.”* Inédito.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2011, *“Dispersión de Ondas Superficiales y Microzonación Sísmica, PH El Pescado, Guerrero”.* Inédito.

Comisión Federal de Electricidad (CFE), 2011, *“Apoyo Topográfico en la zona de cortina del Proyecto Hidroeléctrico (PH) El Pescado, río Balsas Estado de Guerrero”.* Inédito.

Comisión Nacional del Agua (CNA), 1999, *Diagnóstico de la Región IV Balsas. Dirección General de Planeación Hidráulica, 52 pp. Más planos y anexos, México.*

De Cserna, Z., 1983, Hoja Tejupilco 14 Q-g (9), Resumen de la Geología de la Hoja Tejupilco, estados de Guerrero, México y Michoacán: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie 1:100 000, Texto.

De Cserna, Z., Fries, C. Jr., 1981, Hoja Taxco 14Q-h (7), y Resumen de la Geología de la Hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, Series, mapa (1:100,00) y texto, pp. 47.

Demant, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: Revista Instituto de Geología, pp. 172-187.

Dickinson, W., Lawton, T., 2001, Carbonaceous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: GSA Bulletin, v. 113, pp. 1142-1160.

Elias-Herrera, M., Sánchez-Zavala, J. L., Macias-Romo, C., 2000, Geologic and geochronologic data from the Guerrero terrane in the Tejupilco area, southern Mexico: new constraints on its tectonic interpretation: Journal of South American Science, v. 13, pp. 355-375.

Fries, C. Jr., 1960, Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, UNAM, Instituto de geología, vol. 60, pp. 283.

González de Vallejo, I. L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2002, Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall, Madrid, Capítulo 6.4, p. 329 y 334..

Guerrero-Suástegui, M., 2004, Depositional and tectonic history of the Guerrero Terrane, Sierra Madre del Sur; with emphasis on sedimentary successions of the Teloloapan area, southwestern Mexico: Tesis Memorial University of Newfoundland, Canada.

Guerrero-Suástegui, M., Ramírez-Espinosa, J., Talavera-Mendoza, O., 1990, Estudio estratigráfico del arco volcánico Cretácico inferior de Teloloapan, Guerrero: X Convención Sociedad Geológica Mexicana. México.

Howell, J. y Schermer, 1985, Sweeping the oceans –suspect and exotic terranes: Tectonostratigraphic terranes of Circum-Pacific Region, p. 1-9.

Martini Pop, Michelangelo, 2008. *Estratigrafía, deformación y magmatismo de la región comprendida entre Huetamo y Zihuatanejo (Michoacán, Guerrero) implicaciones para la evolución tectónica del Sur de México durante el Cretácico y el Terciario temprano.* Univesidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Grado.

Montufar Benitex, M. A. y Uribe-Carbajal, A., 1988, *Informe tectónico preliminar sobre riesgo sísmico en el P.H. Tepoa, Guerrero, comisión federal de electricidad, México. Informe técnico. Inédito.*

Morán-Zenteno D. J., Cerca M, Duncan K. J., 2005, *La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación: Boletín de la sociedad Geológica Mexicana Volumen conmemorativo del centenario, Tomo LVII, núm. 3, 2005, pp. 319-341.*

Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Silva-Romo, G., Eguiza-Castro, M. H., y Mendoza-Rosales, C. C., 2006, *Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of major structures: GSA Bulletin, v. 118, n. 1/2, pp. 1868-1882.*

Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Dávalos-Álvarez, O. G., 2007, *Edad, cinemática y estilos de las deformaciones cenozoicas en Tehuacán, Oaxaca y Huatulco; implicaciones en la tectónica del sur de México, Simposio sobre la conexión Chortís-sur de México en el tiempo y en el espacio, Resúmenes.*

Nishenko, S.P. y Singh, S.K., 1987, *Conditional probabilities for recurrence of large and great interplate earthquakes along the Mexican subduction zone, Bulletin of the Seismological Society of America Bulletin., v. 77, n. 6, pp. 2095-2114.*

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, Á. F., 1992, *Carta geológica de la República Mexicana, quinta edición escala 1:2.000,000: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa.*

Raiz, E., 1964, *Landforms of Mexico: Cambridge, Massachusetts, Geography branch of the Office of Naval Research, 1 map with text, scale 1:3, 000,000.*

Rivera-Carranza, E., De la Teja, M. A., Motolinia-García, O., Miranda-Huerta, A., León-Ayala, V. M., Lemus-Bustos, O., Moctezuma, M. D., 1998, *Carta geológico-*

minera y geoquímica Cuernavaca E14-5, escala 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, informe.

Salinas-Prieto, J. C., Monod, O., Faure, M., 2000, Ductile deformations of opposite vergence in the Eastern part of the Guerrero Terrane (SW Mexico): *Journal of South American Earth Science*, v. 13, pp. 389-402.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2011, Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas. *Diario Oficial, Primera Sección*, pp. 18.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1999, Carta Geológico-Minera E14-A87 "Apaxtla de Castrejón", escala 1: 50 000, 1ª Edición.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 1996, Carta Geológico-Minera E14-A16 "Tetela del Río", escala 1:50 000, 1ª. Edición.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2003, Carta Geológico-Minera E14A86 "Villa Hidalgo", escala 1:50 000, 1ª. Edición.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2006, Carta Geológico-Minera E14-C17 "Tlacotepec", escala 1:50 000, 1ª. Edición.

Talavera-Mendoza, O., y Guerrero-Suastegui, M., 2000, Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implication for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic: *Journal of South Am. Earth Science*, v. 13, pp. 297-324.

Talavera-Mendoza, O., Ramirez-Espinosa, J., Guerrero-Suástegui, M., 1993, Geochemical evolution of the Guerrero Terrane - Example of a Late Mesozoic multi-arc system: *Proceedings of the First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference*, Guanajuato, Mexico, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 150-152.

Talavera-Mendoza, O., Ramirez-Espinosa, J., and Guerrero-Suástegui, M., 1995, Petrology and geochemistry of the Teloloapan subterranean, a Lower Cretaceous evolved intra-oceanic island-arc: *Geofísica Internacional*, v. 34, pp. 3-22.

Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G. E., Valencia, V. A., y Centeno-García, E., 2007, Detrital zircon U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): *New insights for the tectonic evolution of the*

southwestern North America during the late Mesozoic: GSA Bulletin, v. 119, pp. 1052-1065.

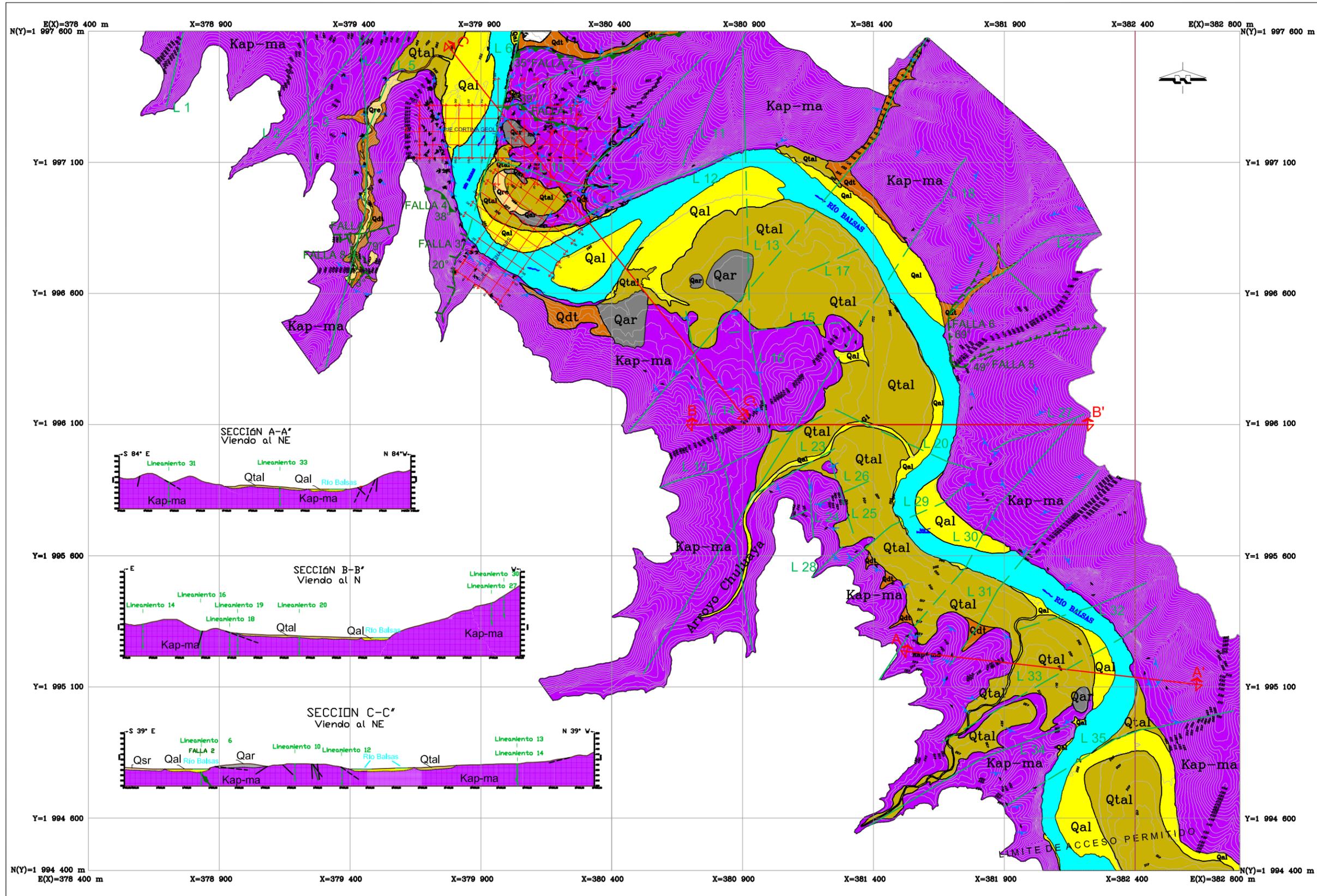
Wilson, J. L., 1975, Carbonate facies in geological history. Springer & Verlag, Berlin, pp. 471.

Referencias en línea:

Página del Servicio Sismológico Nacional

http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

Consultado el 15 de enero de 2012.



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

LITOLOGÍA

	Qsr.- Suelo Residual.
	Qdt.- Depósito de Talud.
	Qal.- Depósito Aluvial.
	Qtal.- Terraza Aluvial.
	Qar.- Horizontes de arenas Intercalados.
	Kap-ma.- Formación Acapeltahuaya Horizontes de metaultras y metaareniscas.

Mesozoico Cenozoico

SÍMBOLOS

	Planta	Sección
Topográficos		
Curva de Nivel		
Flujo del Agua		
Sección Geológica		
Rumbo de sección		
Poblado		
Geológicos		
Contacto Litológico		
Falla Normal		
Falla Lateral		
Cabalgadura		
Falla Lateral con componente normal		
Lineamiento		
Rumbo y echado de foliación		
Rumbo y echado de fractura		

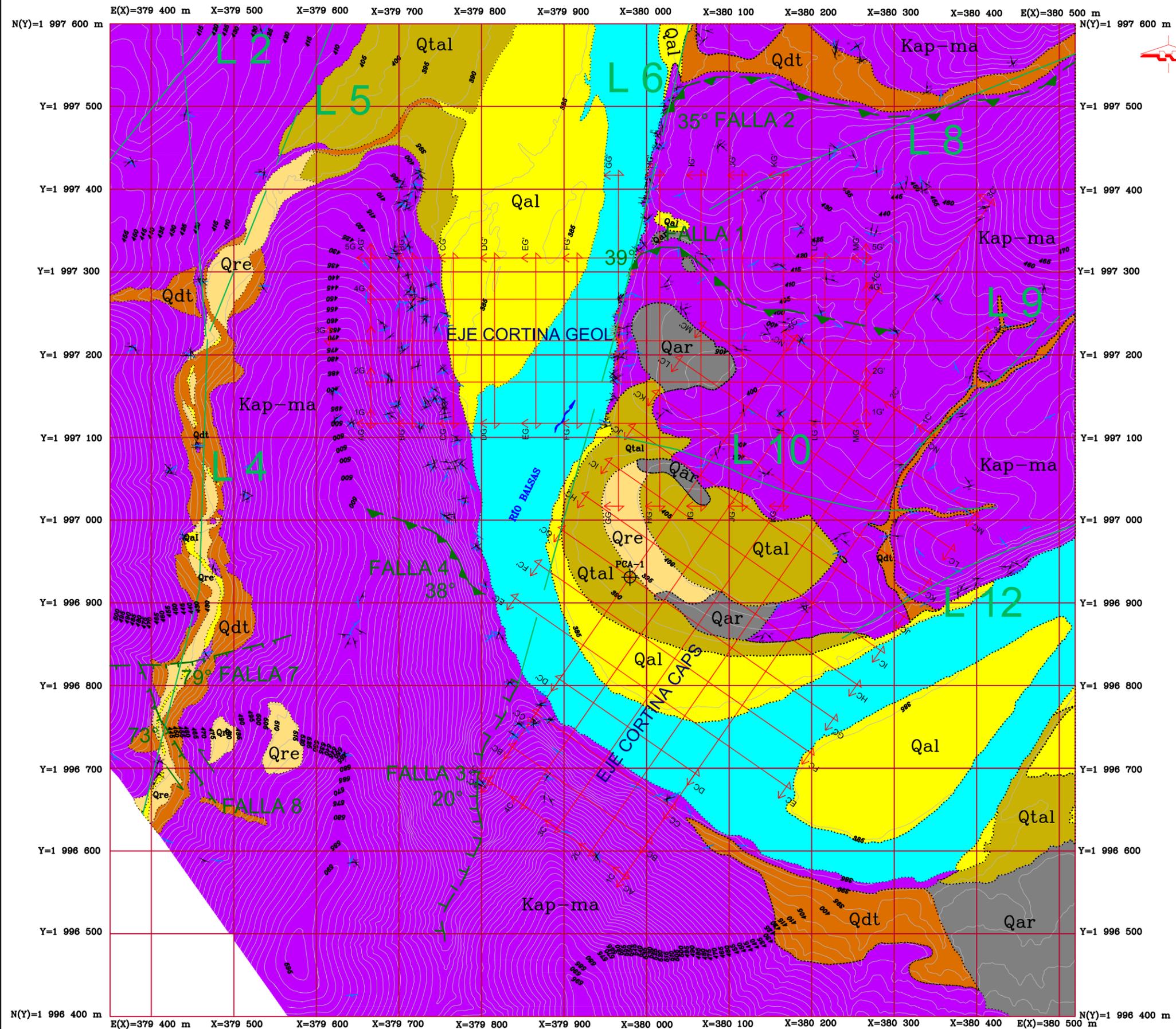
ESCALA GRÁFICA

0 100 250 500 METROS

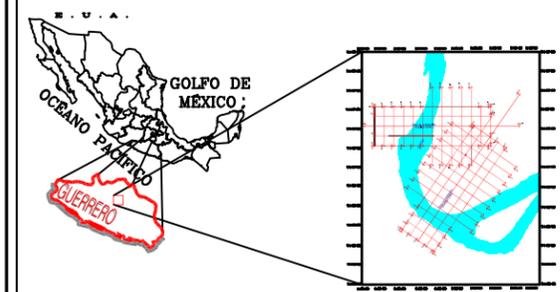
"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

P-PHP-GE

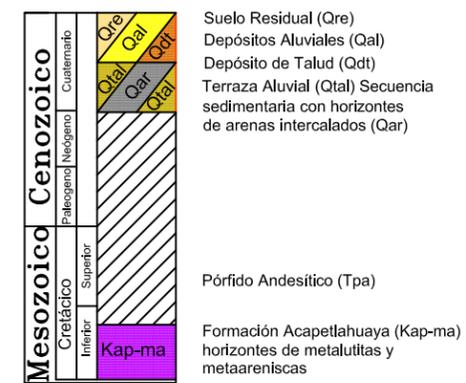
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZA
TESIS DE LICENCIATURA



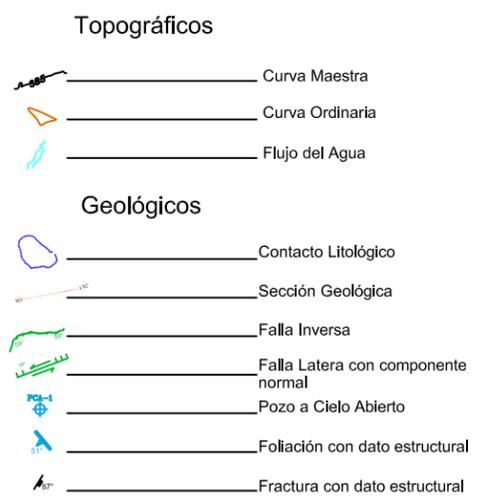
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



LITOLOGÍA



SÍMBOLOS



ESCALA GRÁFICA



"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

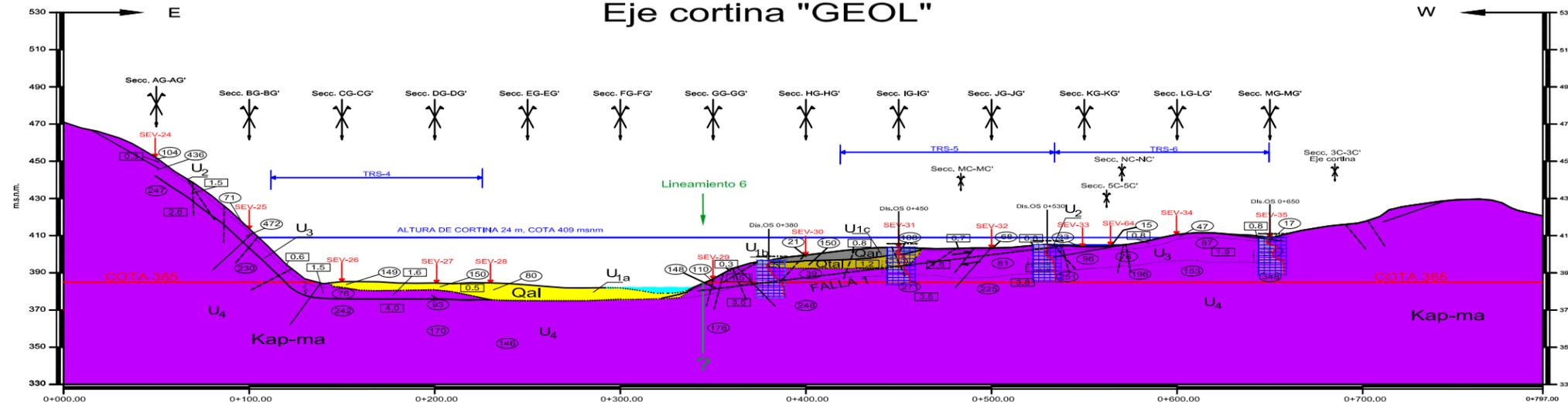
P-PHP-GB



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
TESIS DE LICENCIATURA

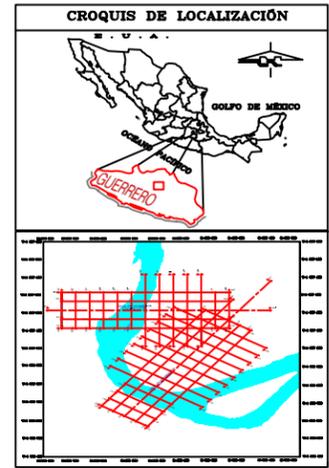
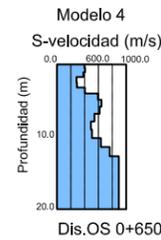
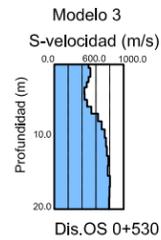
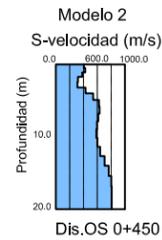
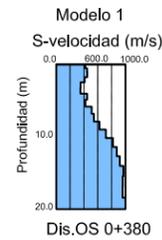


Sección 3G-3G' Eje cortina "GEOL"



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (Vp) (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ωm)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal. Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal. Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar. Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresión y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



SÍMBOLOS
GEOLOGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

Sondeo Eléctrico Vertical	SEV-50
Dispersión de Ondas Superficiales	Dis.OS 0+110
Falla Inversa	---
Falla Proyectada	---
Contacto Geológico	---
Cruce de Secciones	SECCIÓN 1C-1C'
Espejo de Agua	---
Contacto Geofísico	---
Interfase Geofísica Lateral	---
Resistividad (Ωm)	---
Tendido de Refracción Sísmica	---
Velocidad Longitudinal en km/s	0.53
Contacto Geofísico Inferido	---
Pozo a Cielo Abierto	---
Fractura	---
Dirección de Foliación	---

LITOLOGÍA

Mesozoico	Cretácico Superior	Kap-ma	Formación Acapetlahuaya (Kap-ma) horizontes de metalutitas y metaareniscas.
	Paleógeno	Qar	Qar.- Horizontes de arenas intercalados.
		Qtal	Qtal.- Terraza Aluvial.
		Qdt	Qdt.- Depósito de Talud.
Cuaternario	Qsr	Qsr.- Suelo Residual.	
	Qal	Qal.- Depósito Aluvial.	



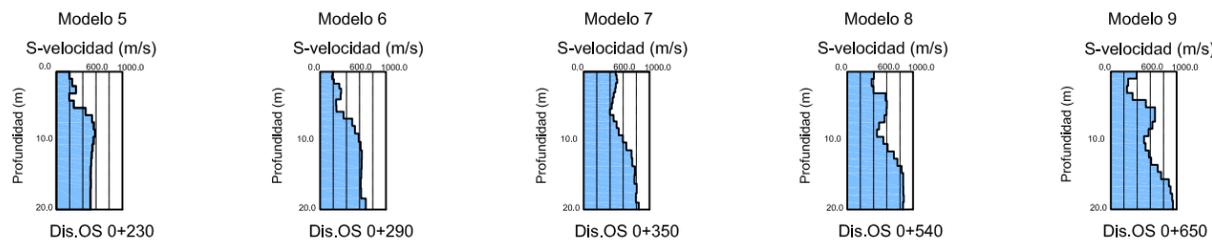
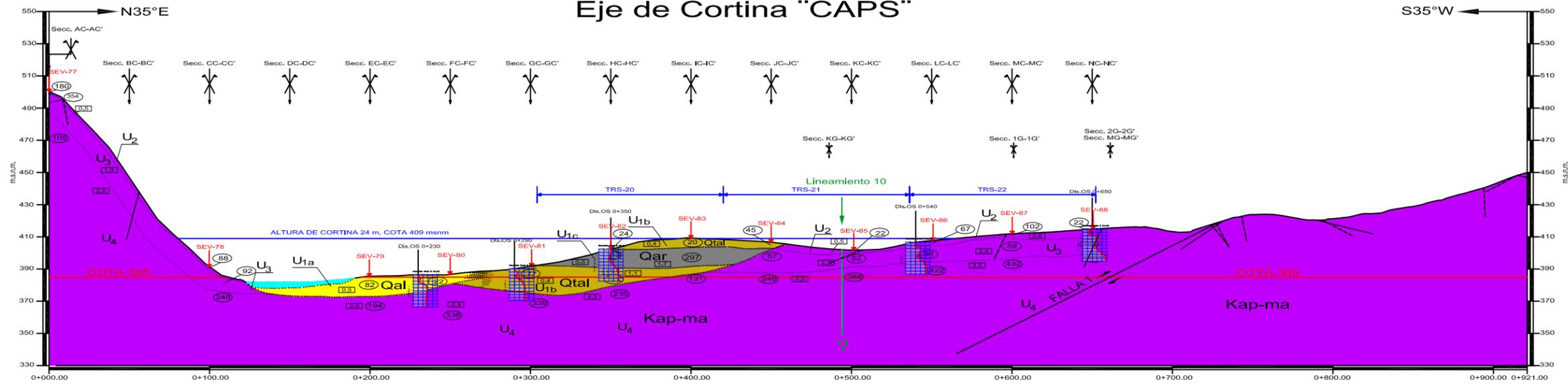
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
TESIS DE LICENCIATURA



P-PHP-SG02

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLOGICA DEL
PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO,
RÍO BALSAS, GUERRERO"

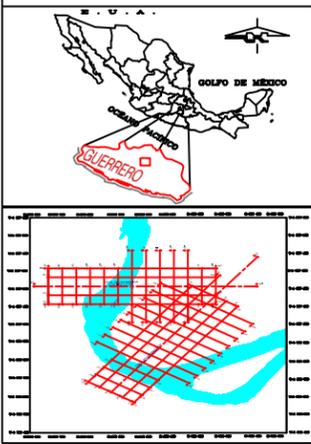
Sección 3C-3C' Eje de Cortina "CAPS"



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL Vp (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U _{1a}	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U _{1b}	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U _{1c}	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U ₂	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresada y meteorizada)
U ₃	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetahuaya fracturada
U ₄	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetahuaya poco fracturada

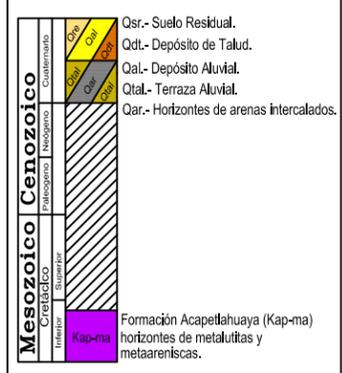
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS

- GEOLOGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.**
- Sondeo Eléctrico Vertical SEV-50
 - Dispersión de Ondas Superficiales Dis.OS 0-110
 - Falla Inversa
 - Falla Proyectada
 - Contacto Geológico
 - Cruce de Secciones SECCIÓN 1C-1C'
 - Espejo de Agua
 - Contacto Geofísico
 - Interfase Geofísica Lateral
 - Resistividad (Ωm)
 - Tendido de Refracción Sísmica
 - Velocidad Longitudinal en km/s 0.51
 - Contacto Geofísico Inferido
 - Pozo a Cielo Abierto
 - Fractura
 - Dirección de Foliación

LITOLOGÍA



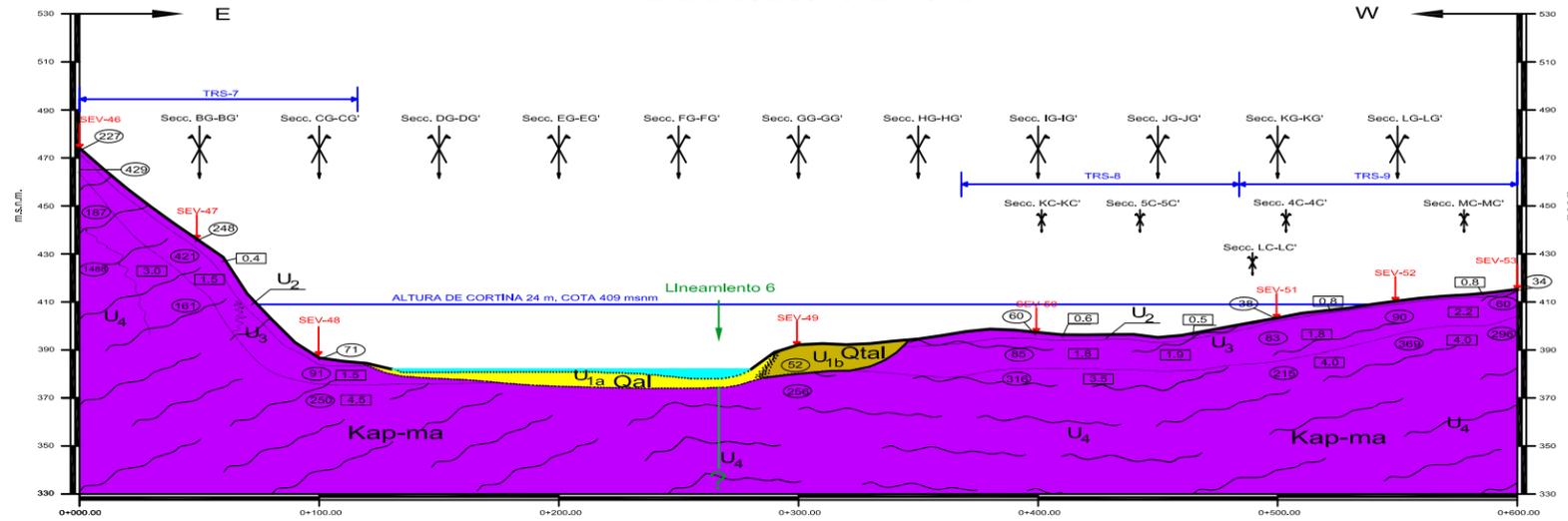
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
TESIS DE LICENCIATURA



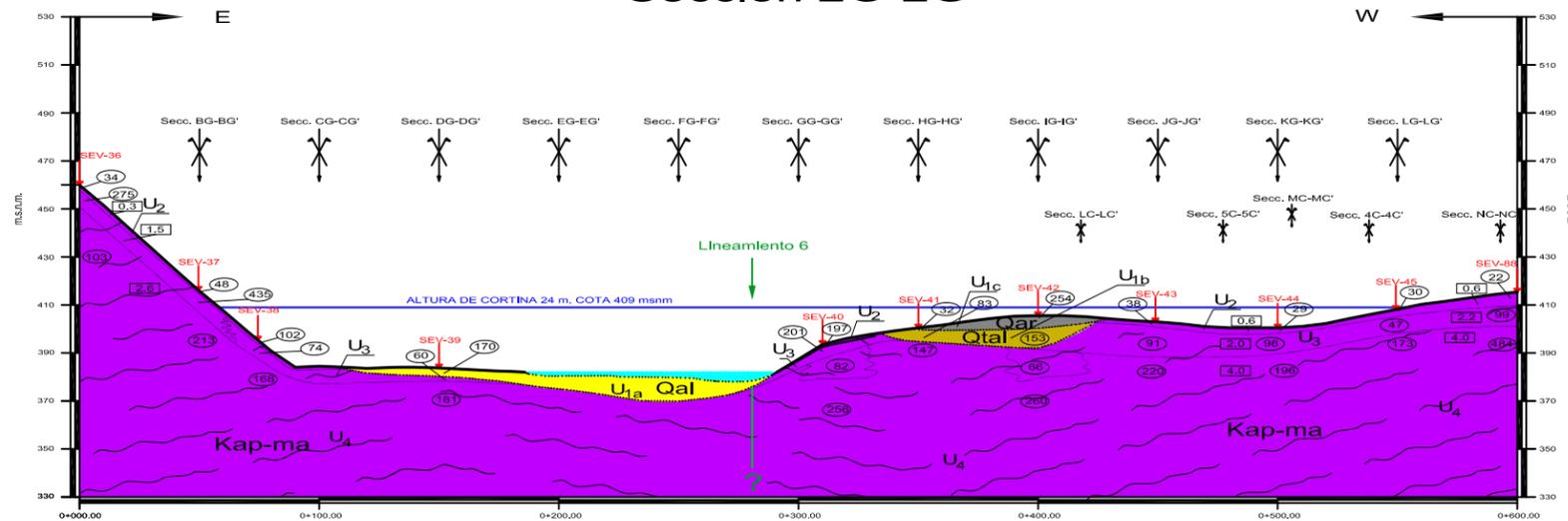
P-PHP-SC02

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLOGICA DEL
PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO,
RÍO BALSAS, GUERRERO"

Sección 1G-1G'

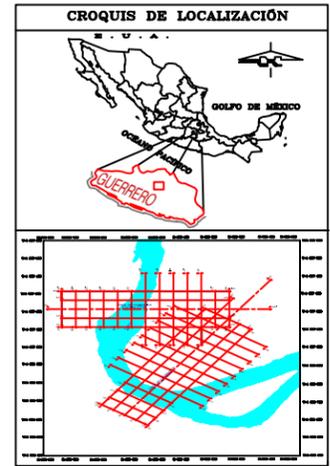


Sección 2G-2G'



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (Vp) (m/s)	RESISTIVIDAD ELECTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACION GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal. Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal. Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar. Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descomprimida y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV-50)
- Dispersión de Ondas Superficiales (Ds-05 +110)
- Falla Inversa
- Falla Proyectada
- Contacto Geológico
- Cruce de Secciones
- España de Agua
- Contacto Geofísico
- Interfase Geofísica Lateral
- Resistividad (Ωm)
- Tendido de Refracción Sísmica
- Velocidad Longitudinal en km/s
- Contacto Geofísico Inferido
- Pozo a Cielo Abierto
- Fractura
- Dirección de Foliación

LITOLOGÍA

Mesozoico	Cretácico Superior	Kap-ma	Formación Acapetlahuaya (Kap-ma) horizontes de metalutitas y metaareniscas.
	Cretácico Inferior		
Cenozoico	Neógeno		
	Plioceno		
	Cuaternario	Qar	Horizontes de arenas intercalados.
		Qal	Terraza Aluvial.
		Qdt	Depósito de Talud.
		Qsr	Suelo Residual.



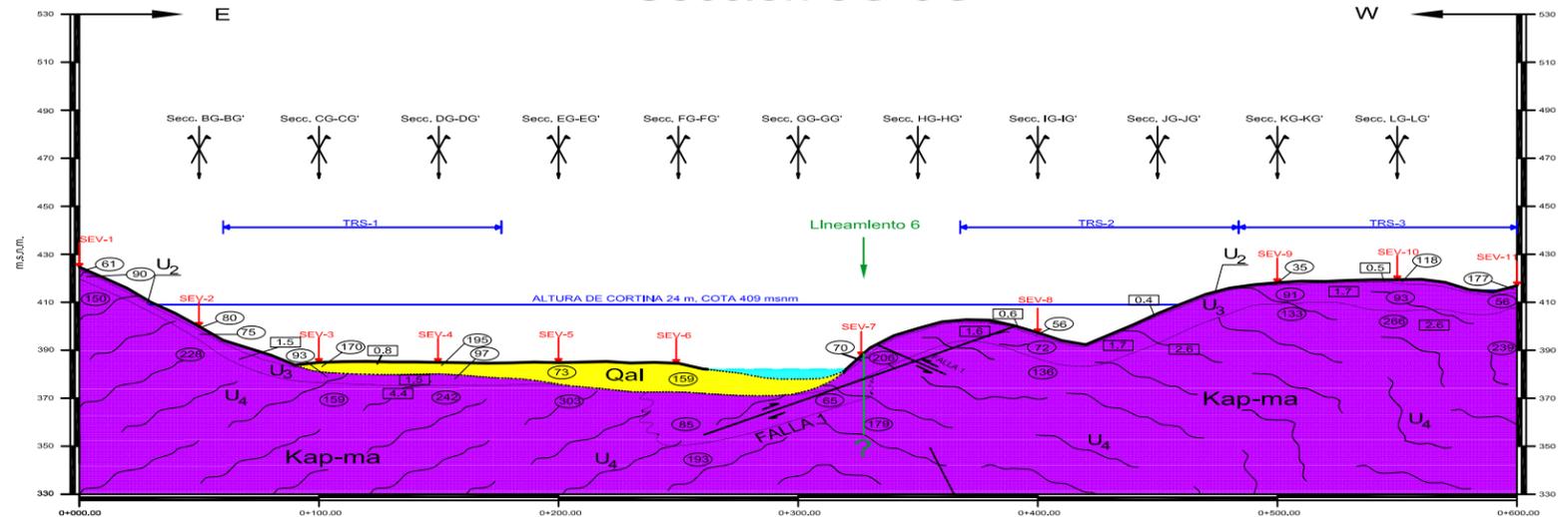
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



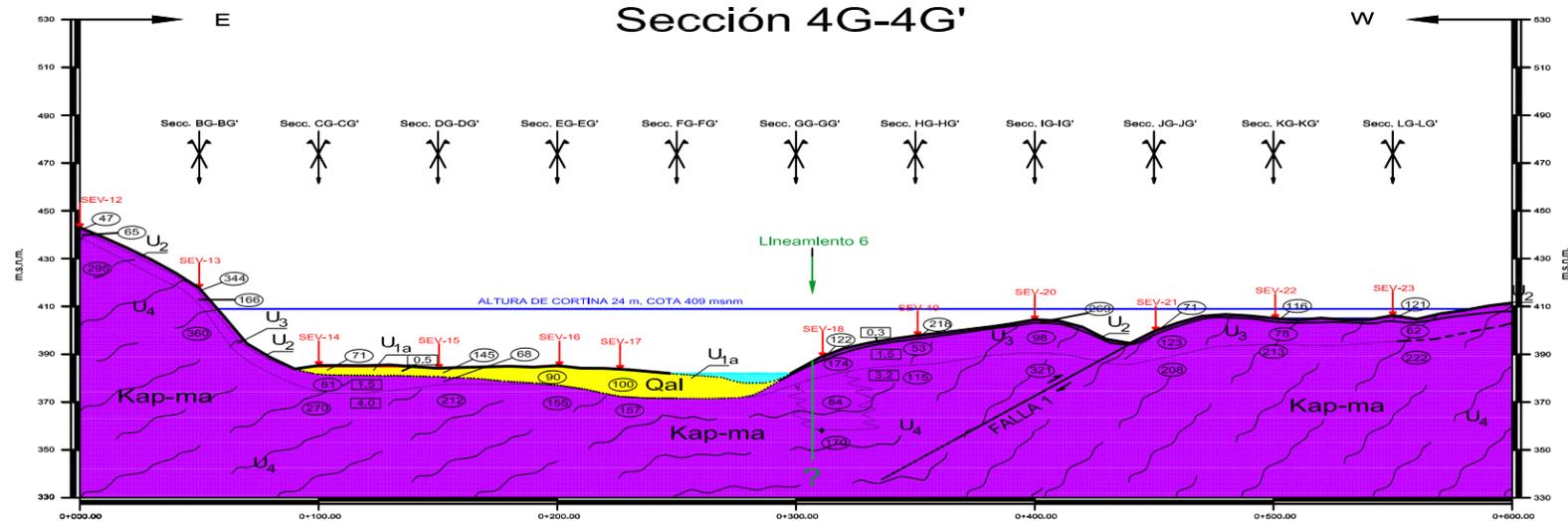
P-PHP-SG01

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

Sección 5G-5G'

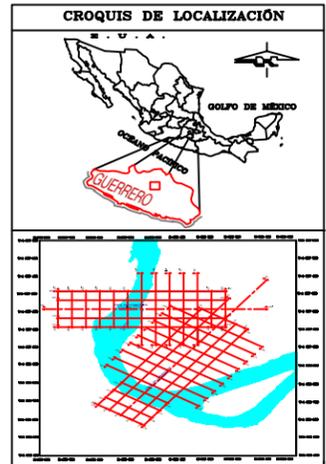


Sección 4G-4G'



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresada y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapellahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapellahuaya poco fracturada



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV-60)
- Dispersión de Ondas Superficiales (D_{0.5} 0.5-110)
- Falla Inversa
- Falla Proyectada
- Contacto Geológico
- Cruce de Secciones
- Espeso de Agua
- Contacto Geofísico
- Interfase Geofísica Lateral
- Resistividad (Ωm)
- Tendido de Refracción Sísmica
- Velocidad Longitudinal en km/s
- Contacto Geofísico Interfio
- Pozo a Cielo Abierto
- Fractura
- Dirección de Foliación



LITOLOGÍA

Quaternario	Qsr.- Suelo Residual.
Cuaternario	Qdt.- Depósito de Talud.
Aluvial	Qal.- Depósito Aluvial.
Aluvial	Qtal.- Terraza Aluvial.
Aluvial	Qar.- Horizontes de arenas intercalados.
Mesozoico	Formación Acapellahuaya (Kap-ma) horizontes de metalutitas y metaareniscas.

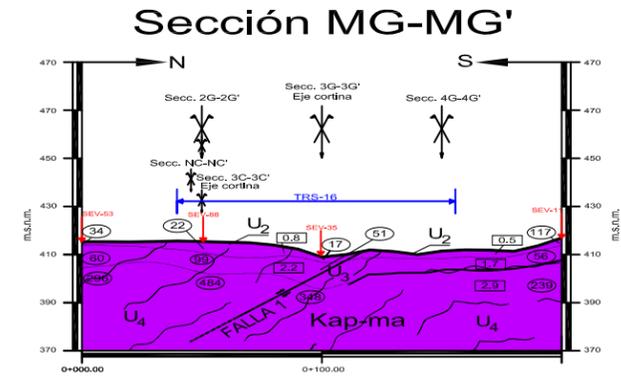
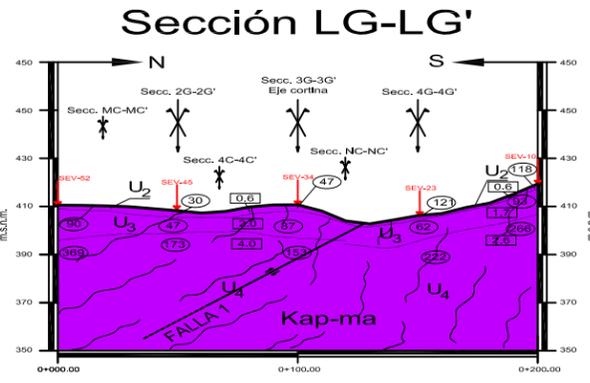
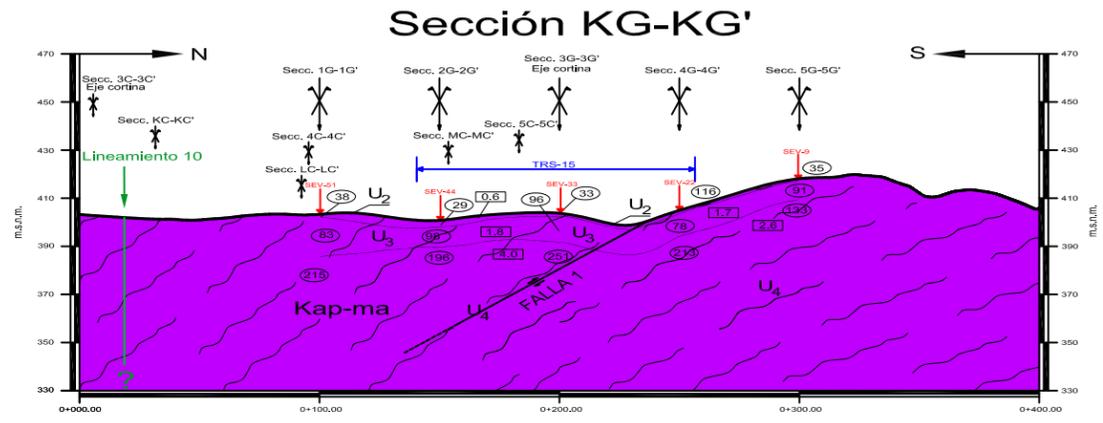
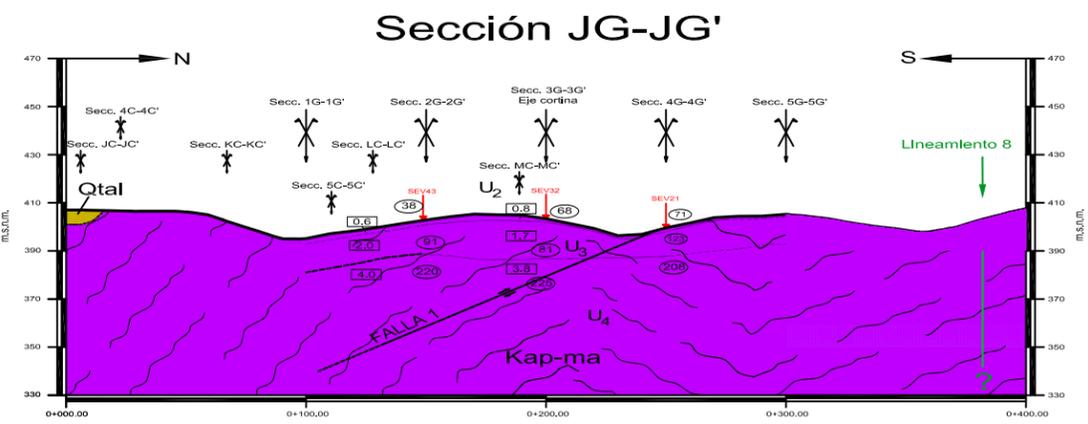
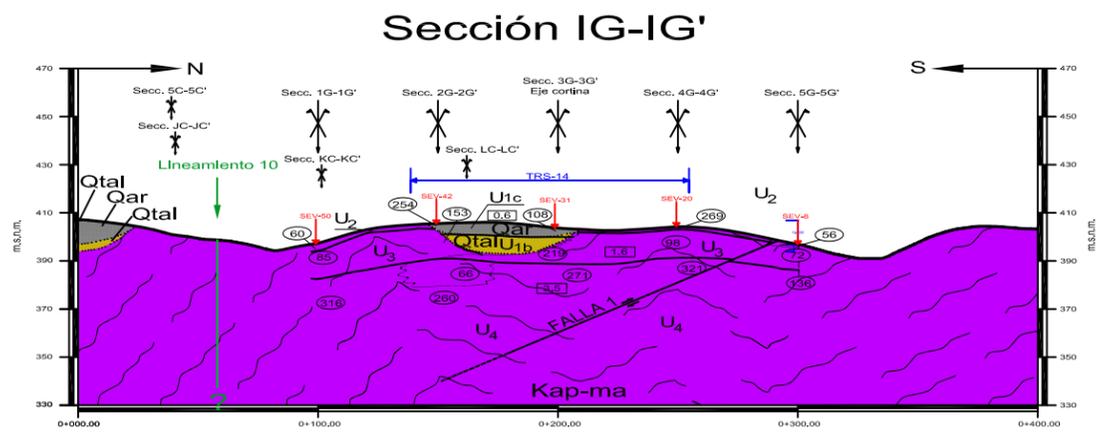


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



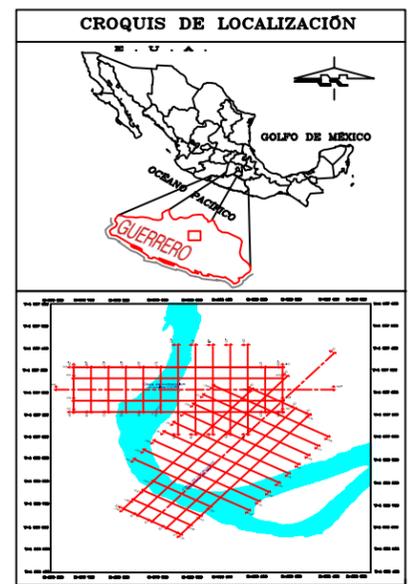
P-PHP-SG03

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"



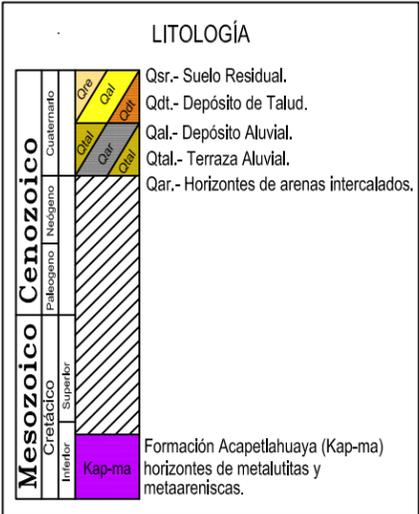
UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (m/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresida y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical: SEV-50
- Dispersión de Ondas Superficiales: Ds.05 0+110
- Falla inversa: [Symbol]
- Falla Proyectada: [Symbol]
- Contacto Geológico: [Symbol]
- Cruce de Secciones: SECCIÓN 1C-1C'
- Espejo de Agua: [Symbol]
- Contacto Geofísico: [Symbol]
- Interfase Geofísica Lateral: [Symbol]
- Resistividad (nm): [Symbol]
- Tendido de Refracción Sísmica: [Symbol]
- Velocidad Longitudinal en km/s: 0.25
- Contacto Geofísico Inferido: [Symbol]
- Pozo a Cielo Abierto: [Symbol]
- Fractura: [Symbol]
- Dirección de Foliación: [Symbol]



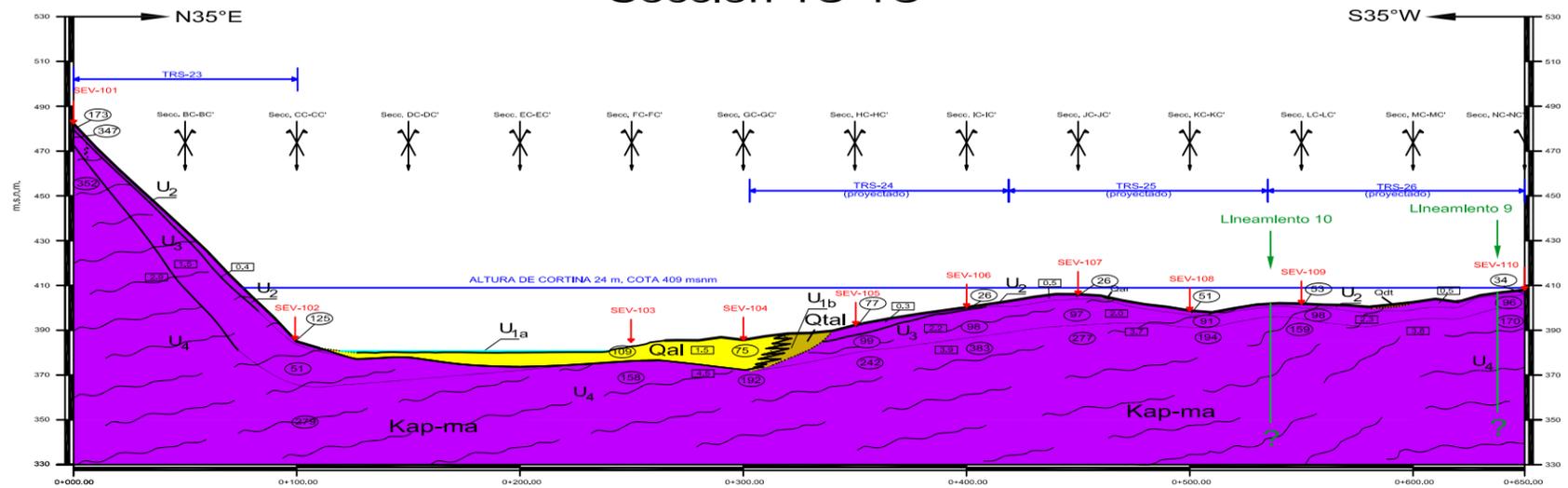
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



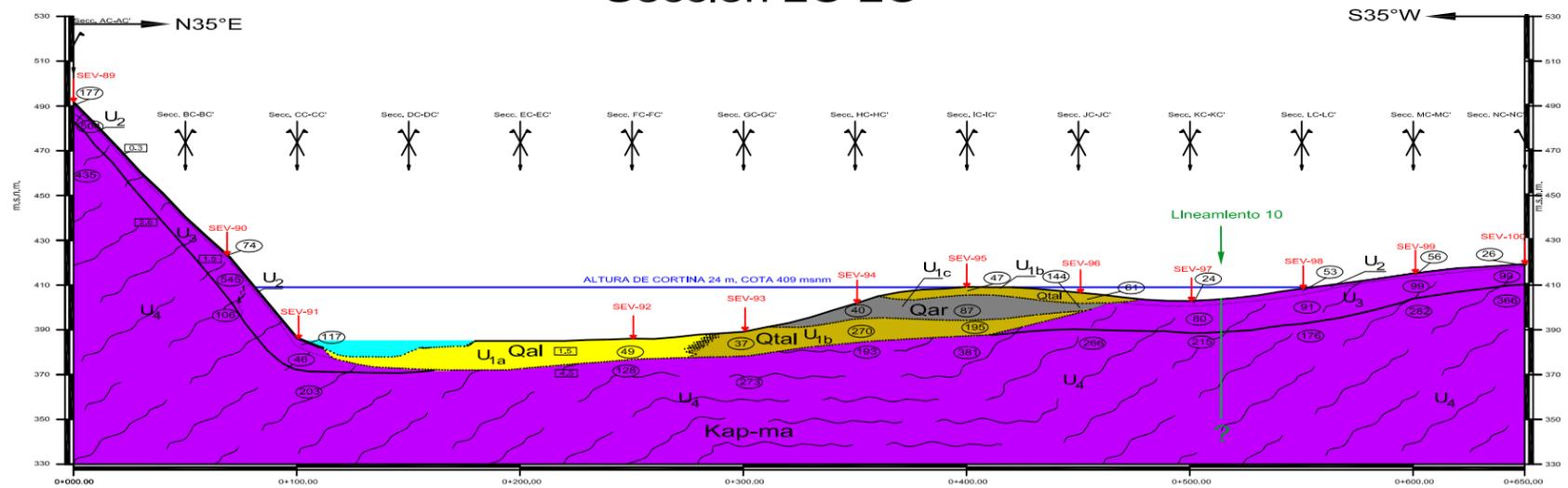
P-PHP-SG05

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

Sección 1C-1C'



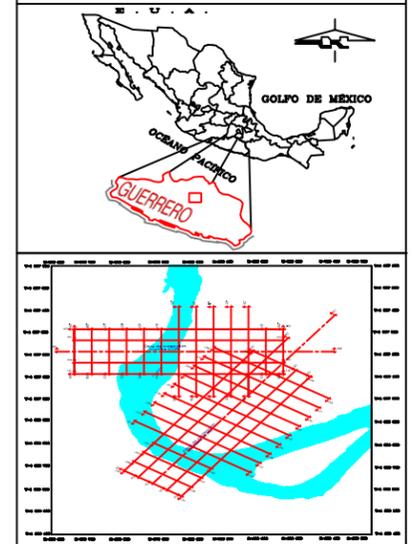
Sección 2C-2C'



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresión y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical SEV-50
- Dispersión de Ondas Superficiales Dis. OS 0+110
- Falla inversa
- Falla Proyectada
- Contacto Geológico
- Cruce de Secciones SECCIÓN 1C-1C'
- Espejo de Agua
- Contacto Geofísico
- Interfase Geofísica Lateral
- Resistividad (Ωm)
- Tendido de Refracción Sísmica
- Velocidad Longitudinal en km/s
- Contacto Geofísico Inferido
- Pozo a Cielo Abierto
- Fractura
- Dirección de Foliación

LITOLOGÍA

Mesozoico	Superior	Qar	Qal	Qtal	Qdt
	Inferior	Kap-ma			

Qsr.- Suelo Residual.
 Qdt.- Depósito de Talud.
 Qal.- Depósito Aluvial.
 Qtal.- Terraza Aluvial.
 Qar.- Horizontes de arenas intercalados.
 Formación Acapetlahuaya (Kap-ma) horizontes de metalutitas y metaareniscas.



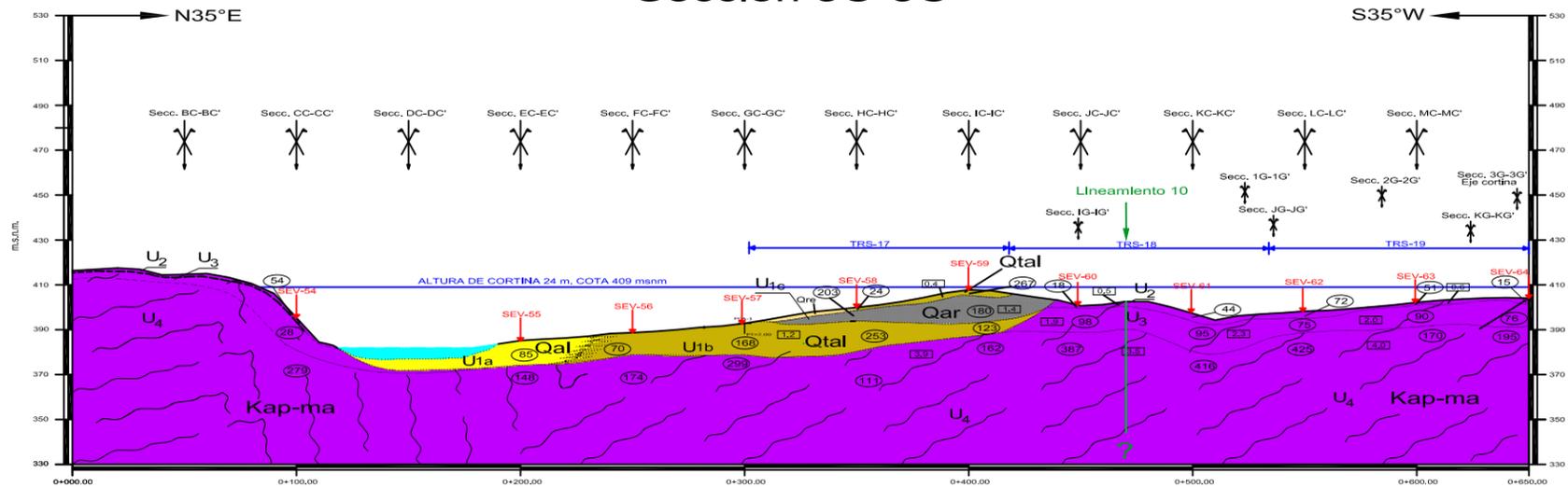
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



P-PHP-SC01

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

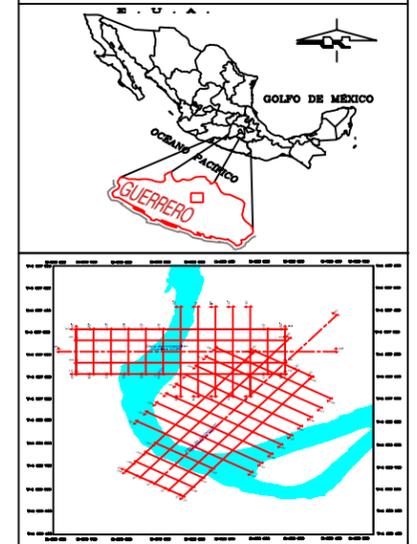
Sección 5C-5C'



UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (Vp) (Km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos lúlicos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompresada y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetahuaya poco fracturada

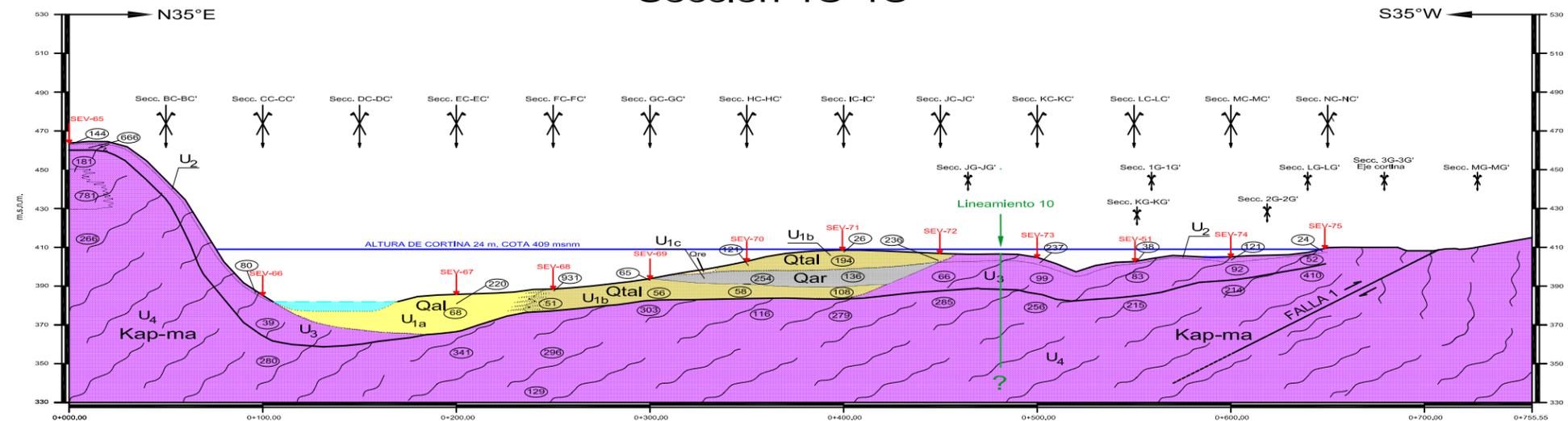
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical: SEV-50
- Dispersión de Ondas Superficiales: DLS OS 0+110
- Falla inversa
- Falla Proyectada
- Contacto Geológico
- Cruce de Secciones: SECCIÓN 1C-1C'
- Espejo de Agua
- Contacto Geofísico
- Interfase Geofísica Lateral
- Resistividad (Ωm)
- Tendido de Refracción Sísmica
- Velocidad Longitudinal en km/s: 0.33
- Contacto Geofísico Inferido
- Pozo a Cielo Abierto
- Fractura
- Dirección de Foliación

Sección 4C-4C'



LITOLOGÍA

Mesozoico	Cretácico	Kap-ma	Formación Acapetahuaya (Kap-ma) horizontes de metalúttas y metaareniscas.
	Paleógeno	Qar	Horizontes de arenas intercalados.
	Neógeno	Qtal	Terraza Aluvial.
	Cuaternario	Qal	Depósito Aluvial.

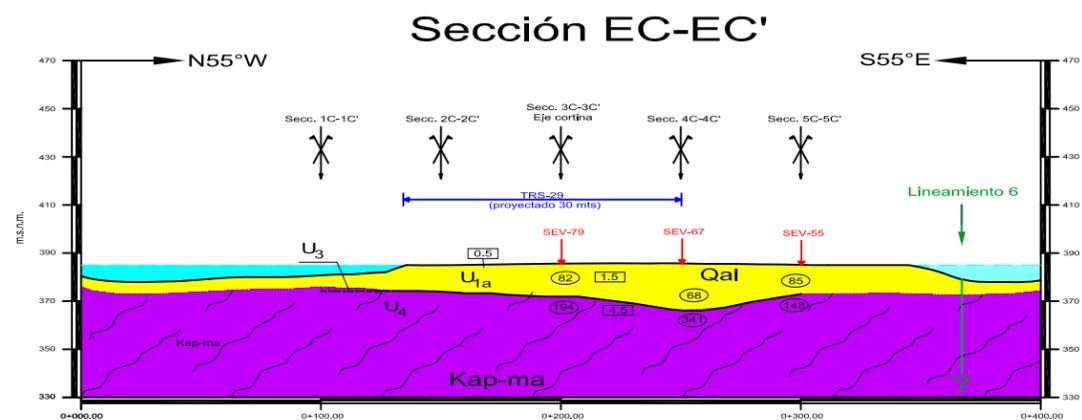
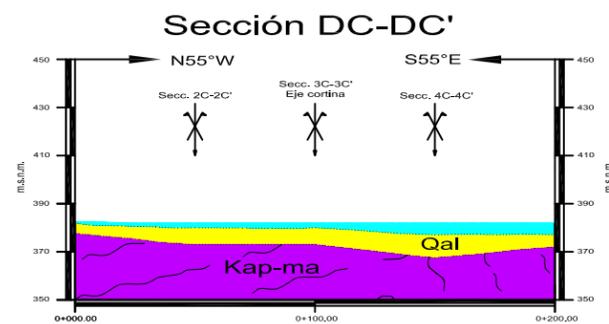
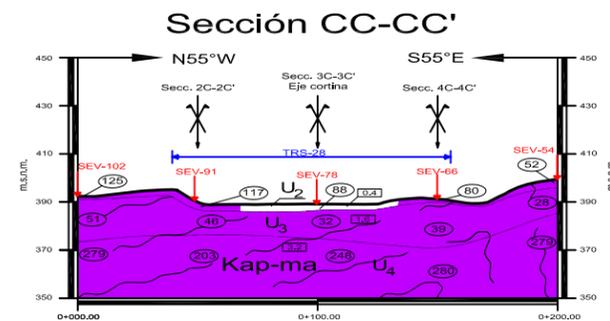
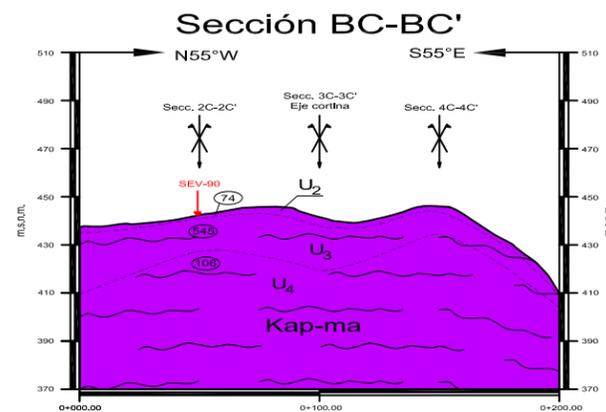
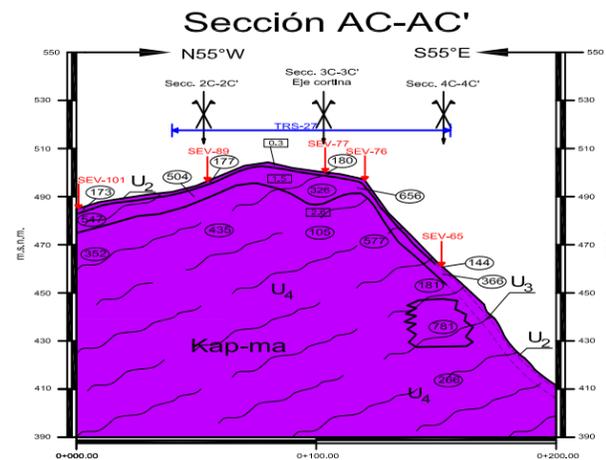


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



P-PHP-SC03

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

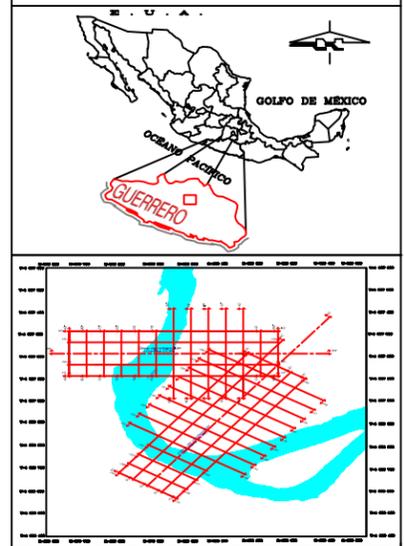


UNIDADES GEOFÍSICAS

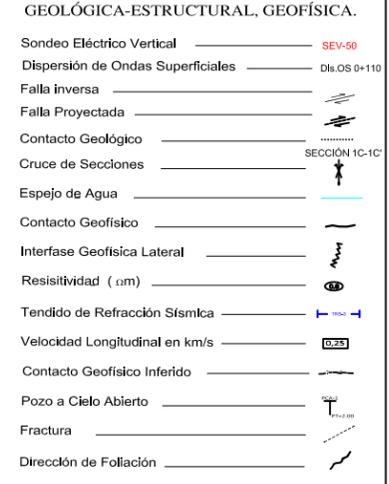
UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ohm-m)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTRATÉGICA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U _{1a}	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U _{1b}	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U _{1c}	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos lílicos en su mayoría.)
U ₂	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descomprimida y meteorizada)
U ₃	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U ₄	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



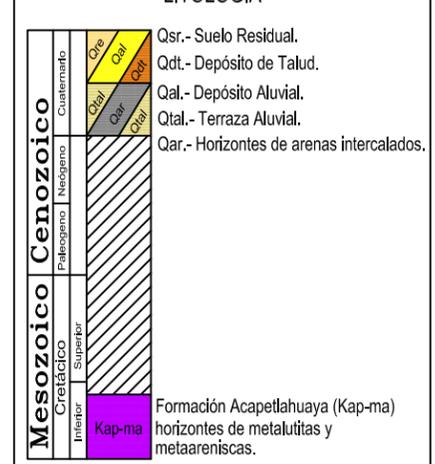
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS



LITOLOGÍA

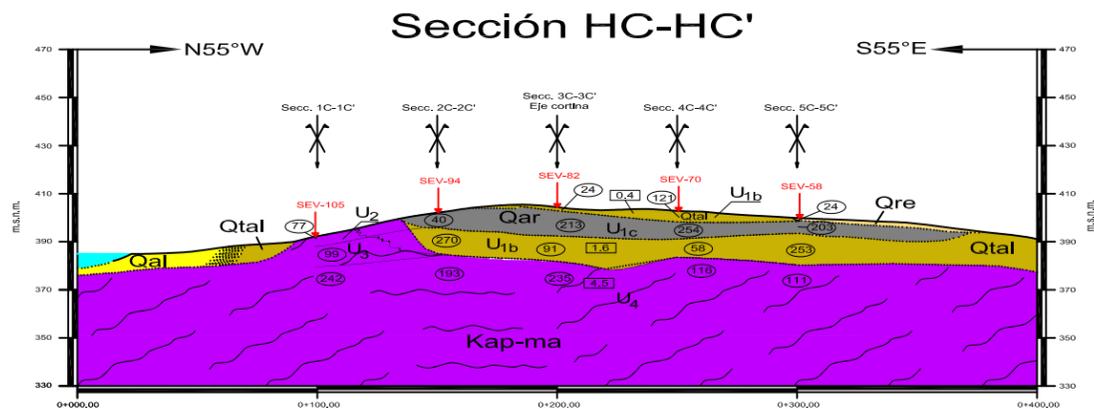
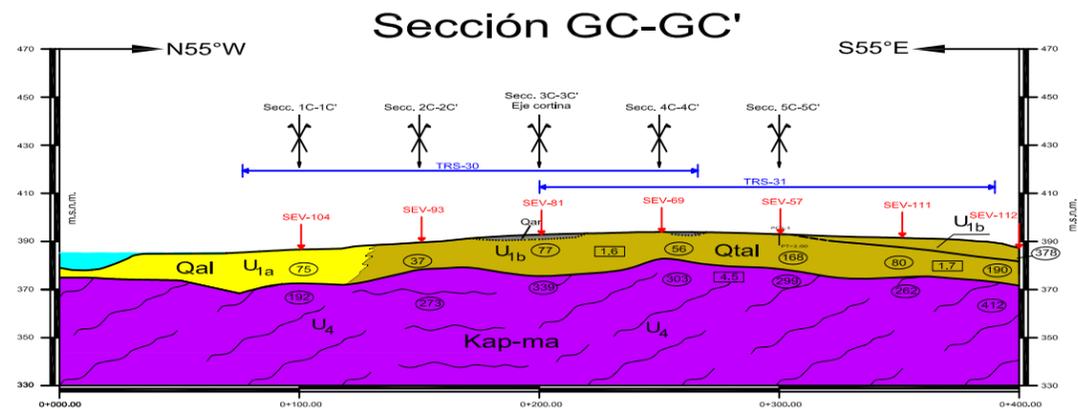
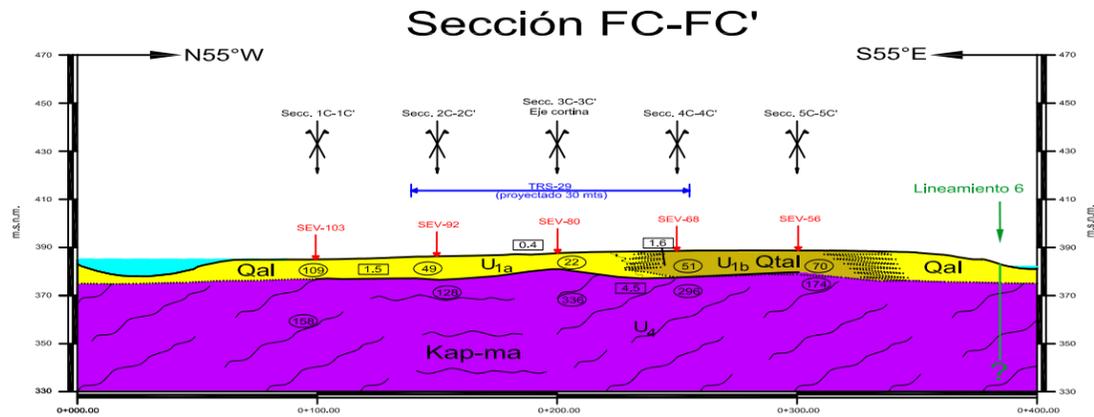


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
TESIS DE LICENCIATURA



P-PHP-SC04

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLOGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

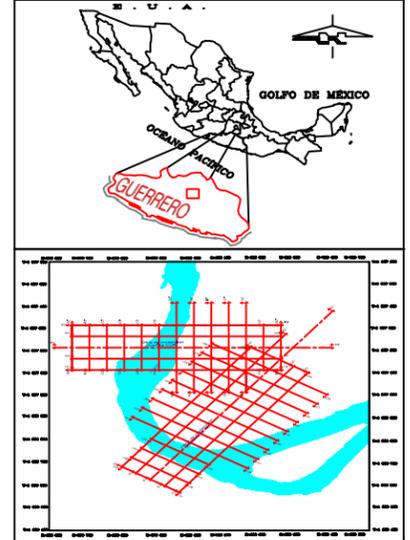


UNIDADES GEOFÍSICAS

UNIDAD GEOFÍSICA	VELOCIDAD LONGITUDINAL (km/s)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (Ωm)	ESPESOR (m)	CALIDAD DE ROCA ESTIMADA	CORRELACIÓN GEOLOGICA
U1a	0.5 - 1.5	22 - 195	1.5 - 20		Qal, Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4 - 1.7	19 - 267	1.0 - 20		Qtal, Depósitos de terraza aluvial (arena, gravas y guijas)
U1c	0.5 - 1.7	21 - 297	1.0 - 6.0		Qar, Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos líticos en su mayoría.)
U2	0.3 - 0.8	15 - 344	3.0 - 5.0		Cubierta superficial (suelo de poco espesor y/o roca descompañada y meteorizada)
U3	1.5 - 2.5	28 - 545	7.0 - 15	Muy mala a regular	Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.6 - 4.5	103 - 700	Indeterminado	Regular a buena	Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



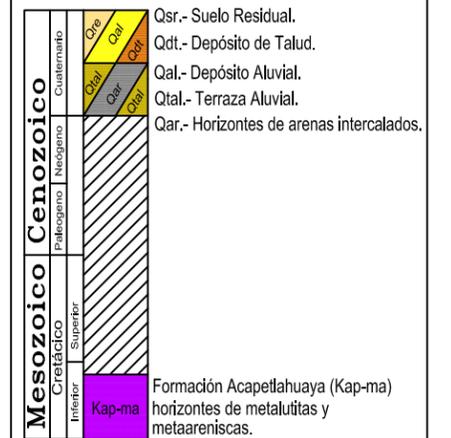
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.

- Sondeo Eléctrico Vertical SEV-50
- Dispersión de Ondas Superficiales OLS OS 0+110
- Falla inversa
- Falla Proyectada
- Contacto Geológico
- Cruce de Secciones SECCIÓN 1C-1C'
- Espejo de Agua
- Contacto Geofísico
- Interfase Geofísica Lateral
- Resistividad (Ωm)
- Tendido de Refracción Sísmica
- Velocidad Longitudinal en km/s
- Contacto Geofísico Inferido
- Pozo a Cielo Abierto
- Fractura
- Dirección de Foliación

LITOLOGÍA



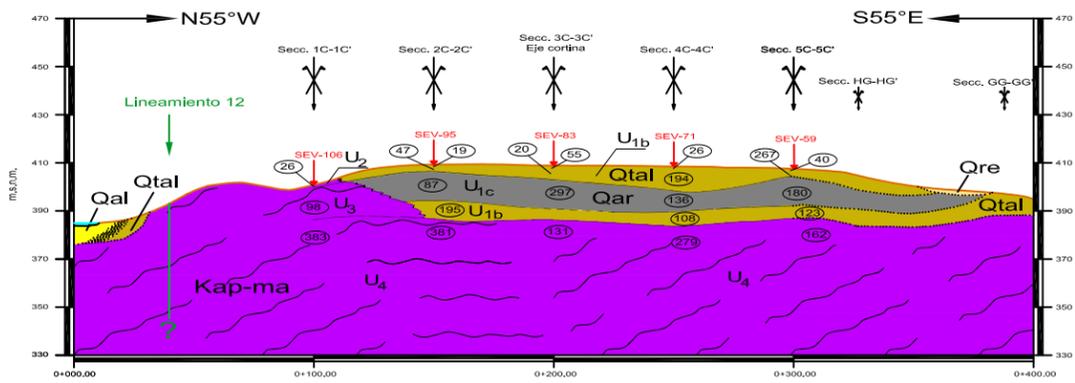
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



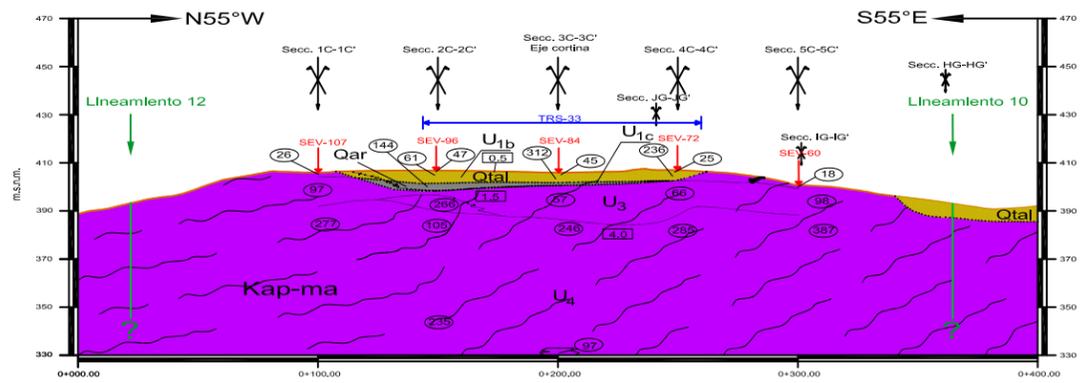
P-PHP-SC05

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLÓGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"

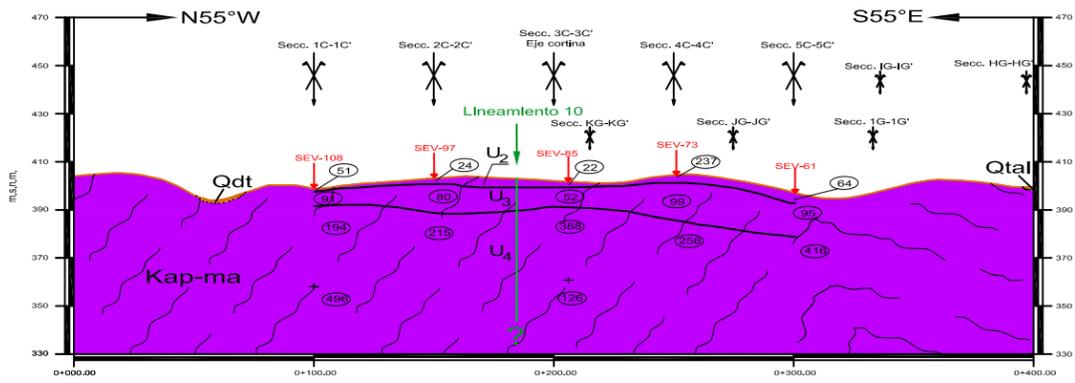
Sección IC-IC'



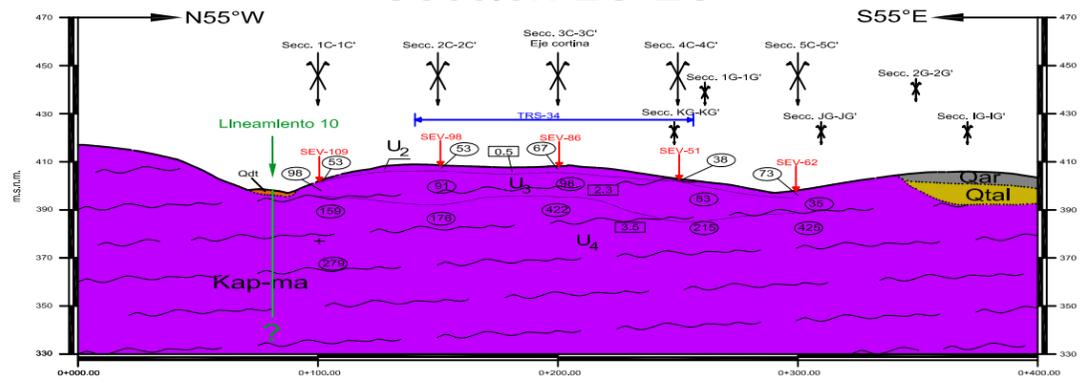
Sección JC-JC'



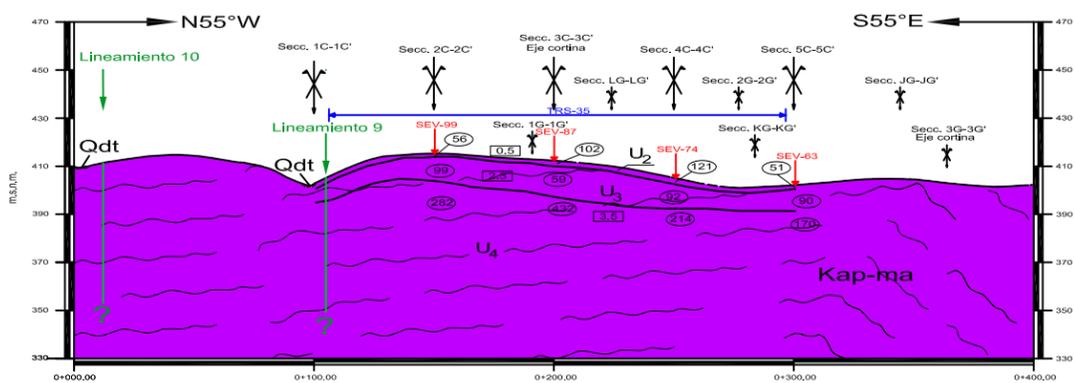
Sección KC-KC'



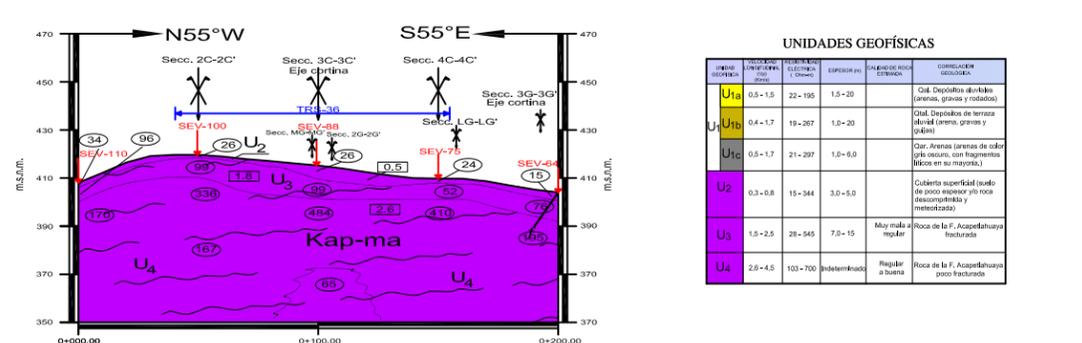
Sección LC-LC'



Sección MC-MC'



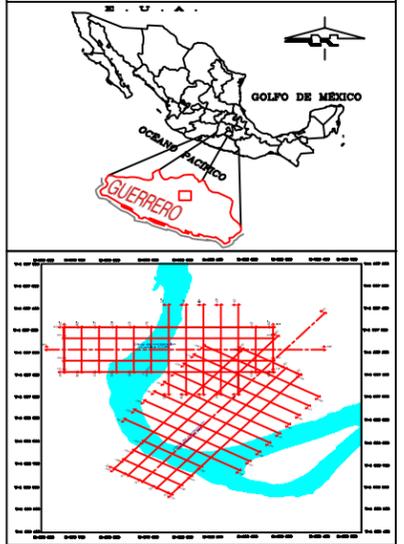
Sección NC-NC'



UNIDADES GEOFÍSICAS					
Unidad	Profundidad (m)	Velocidad (km/s)	Resistividad (Ωm)	Resistividad lateral (Ωm)	Descripción
U1a	0.5-1.5	22-195	1.0-20		Qal. Depósitos aluviales (arenas, gravas y rodados)
U1b	0.4-1.7	19-267	1.0-20		Qal. Depósitos de terraza aluvial (arenas, gravas y rodados)
U1c	0.5-1.7	21-297	1.0-6.0		Qar. Arenas (arenas de color gris oscuro, con fragmentos (bloques en su matriz))
U2	0.3-0.8	15-344	3.0-5.0		Cubierta superficial usual de poco espesor y/o roca (descompañada y meteorizada)
U3	1.5-2.5	28-545	7.0-15		Muy mala a regular Roca de la F. Acapetlahuaya fracturada
U4	2.0-4.5	103-700	Indeterminado		Regular a buena Roca de la F. Acapetlahuaya poco fracturada



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SÍMBOLOS	
GEOLOGICA-ESTRUCTURAL, GEOFÍSICA.	
Sondeo Eléctrico Vertical	SEV-50
Dispersión de Ondas Superficiales	DLS OS 0-110
Falla inversa	
Falla Proyectada	
Contacto Geológico	
Cruce de Secciones	SECCIÓN IC-IC'
Espejo de Agua	
Contacto Geofísico	
Interfase Geofísica Lateral	
Resistividad (Ωm)	
Tendido de Refracción Sísmica	
Velocidad Longitudinal en km/s	0.33
Contacto Geofísico Inferido	
Pozo a Cielo Abierto	
Fractura	
Dirección de Foliación	

LITOLOGÍA

Cenozoico	Cuaternario		Neógeno
	Qar	Qal	
Mesozoico	Superior	Qar	Formación Acapetlahuaya (Kap-ma) horizontes de metalutitas y metaareniscas.
	Inferior	Kap-ma	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ALONSO CARLOS BARRIGA BELLIZIA
 TESIS DE LICENCIATURA



P-PHP-SC05

"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD GEOLOGICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO (PH) EL PESCADO, RÍO BALSAS, GUERRERO"