



**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

Informe Técnico A6688

**EVALUACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE TASSA**

(Distrito Ubinas, Provincia Sánchez Cerro, Región Moquegua)

Por:

**Malena Rosado
Walter Pari
Domingo Ramos
Edu Taipe**

JULIO 2015

RESUMEN EJECUTIVO

El Centro Poblado Menor de Tassa, geopolíticamente está ubicada en la jurisdicción del Distrito de Ubinas, Provincia General Sánchez Cerro, Región Moquegua. Este poblado viene siendo afectado, de manera recurrente, por procesos de movimientos en masa en las últimas décadas. A solicitud de las autoridades de la región Moquegua, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET, ha realizado una evaluación técnica basada en un sondeo geológico y geofísico durante 10 días (20 al 29 de noviembre del 2012) en esta localidad. En ese sentido, este informe presenta datos adicionales que ayudarán a entender mejor el fenómeno producido en el pueblo de Tassa. Así, en este informe se presenta los resultados de la “Evaluación Ingeniero-Geológica del Deslizamiento –Flujo de Tierra en la Comunidad Campesina de Tassa” y la “Aplicación del Método Geofísico de Refracción Sísmica en la Comunidad Campesina de Tassa”.

El análisis de la información de campo, indica que la principal causa de los deslizamientos en Tassa, es generado por saturación hídrica de la napa acuífera, y que ha desencadenado en la aparición de grietas de hasta algunas decenas de centímetros de separación. Asimismo, estos deslizamientos han comprometido la seguridad física de las viviendas, colegio, reservorios de agua, áreas de cultivo, etc. De igual forma, se indica que esta zona se encuentra emplazada sobre zonas de deslizamientos antiguos, y que la desestabilización de la zona se ha incrementado por la actividad antrópica y la inadecuada ocupación del territorio. Complementariamente, se indica que el sub-suelo de Tassa estaría constituido por tres capas principales: el suelo de cobertura (de 2 a 16m de profundidad), una capa intermedia, compuesta por material poco compactado y deslizable (entre 4 a 18 m de profundidad) y una tercera capa constituida por roca alterada y/o fracturada, por debajo de la capa intermedia.

Todos los aspectos analizados en este informe conducen a considerar a Tassa y sus alrededores como una zona no apta para vivienda, y en peligro inminente.

CONTENIDO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1. UBICACIÓN	4
2.2. OBJETIVOS	5
CAPITULO II: EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO – FLUJO DE TIERRA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE TASSA	7
2.1. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS	7
2.1.1. Sub unidad de Depósitos de Piedemonte y Movimientos en Masa	7
2.1.2. Sub unidad Ladera de Montañas Ramificadas en Rocas Sedimentarias	7
2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
2.3. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
a) DESLIZAMIENTOS	10
b) CAIDAS (DERRUMBES)	10
c) FLUJOS DE DETRITOS	10
2.4. DESLIZAMIENO DE TASSA	10
2.4.1. Factores Condicionantes y Detonantes	16
2.4.2. Sector “La Z” – Zona Propuesta Para Reubicación	16
CAPÍTULO III: ESTUDIO GEOFÍSICO DE REFRACCION SÍSMICA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE TASSA	18
3.1. GENERALIDADES	18
3.2 EQUIPAMIENTO Y METODOLOGIA DE TRABAJO	18
3.2.1. Equipamiento de Campo	18
3.2.2. Metodología	19
a) MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA	19
3.3. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	20
3.3.1. PROSPECCIÓN SÍSMICA	20
3.3.1.1. Perfil Elástico LS-1 (Lámina Nº 1)	23
3.3.1.2. Perfil Elástico LS-2 (Lámina Nº 2)	23
3.3.1.3. Perfil Elástico LS-3 (Lámina Nº 3)	23
3.3.1.4. Perfil Elástico LS-4 (Lámina Nº 4)	24
3.3.1.5. Perfil Elástico LS-5 (Lamina Nº 5)	24
3.3.1.6. Perfil Elástico LS-6 (Lámina Nº 6)	25
3.3.1.7. Perfil Elástico LS-7 (Lámina Nº 7)	25
3.3.1.8. Perfil Elástico LS-8 (Lámina Nº 8)	26
3.3.2. RELACIONES DE LAS ONDAS P - S Y LAS CONSTANTES ELÁSTICAS	26
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	35

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. UBICACIÓN

Geopolíticamente, el poblado de Tassa pertenece al Distrito de Ubinas, provincia de Sánchez Cerro, Departamento de Moquegua (Figura 1.1). Este poblado se encuentra en las coordenadas (WGS 84):

-70.76° Longitud
-16.28° Latitud
A 3825 msnm

Está emplazado en la margen derecha del río Tambo.

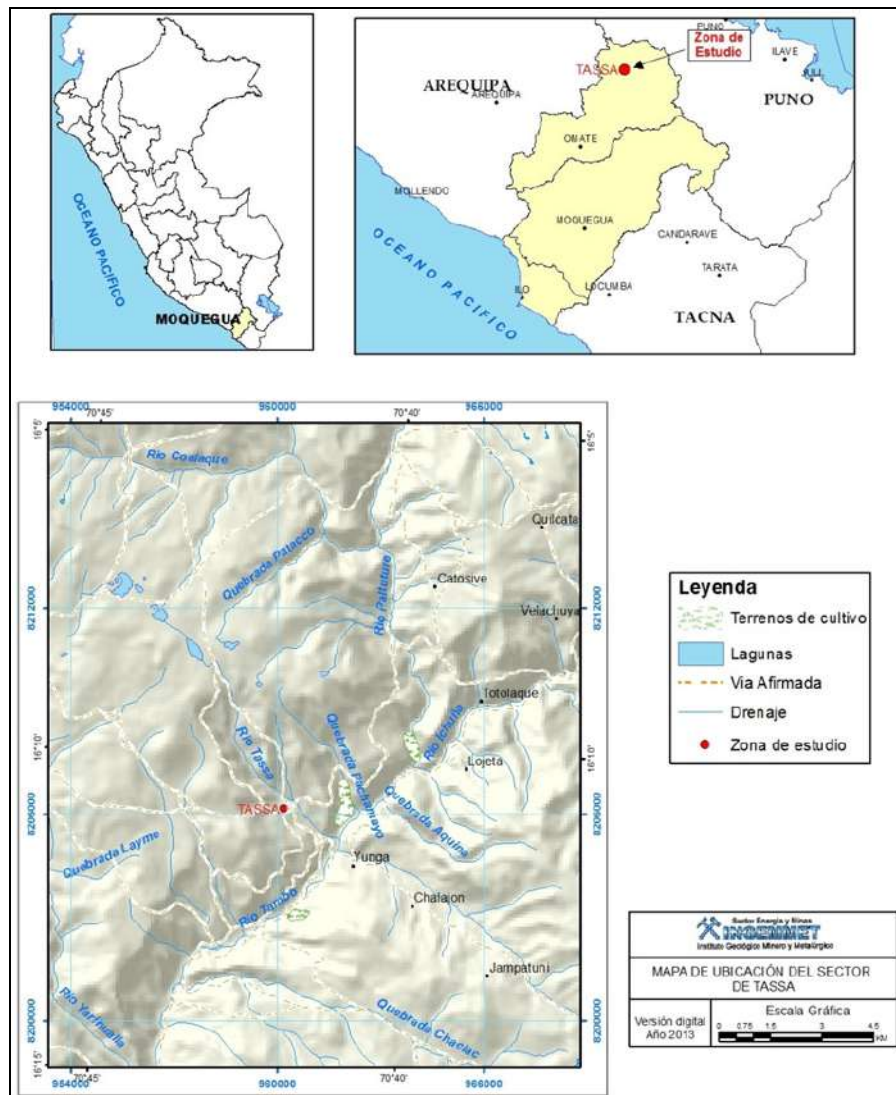


Figura 1.1. Ubicación del poblado menor de Tassa.

El clima de Tassa es predominante seco y frío, con temperaturas variables entre 10° C a 20° C. Durante la mayor parte del año presenta un soleado intenso durante el día y frío penetrante durante las noches, propio de la altura. El periodo de lluvias se concentra en los meses de Diciembre a Marzo.

Tassa, alberga 100 viviendas aproximadamente, donde habitan cerca de 300 pobladores, quienes se dedican principalmente a la actividad agrícola y ganadera (Foto 1.1). Así, dentro de la zona de estudio, existen terrenos de cultivo, carreteras carrozables y diversas obras de infraestructura (reservorios de agua, servicios de agua y desagüe, canales de irrigación, colegios, etc.). Además, en los últimos años, la población se ha estado dedicando a la producción y venta de leche, la cual se ha estado convirtiendo en el principal ingreso económico de la zona.



Foto 1.1. Vista hacia el Norte. Se observan las casas del pueblo de Tassa.

1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente informe es complementar las investigaciones que se realizan en forma paralela en el marco del Proyecto GZA-1, asimismo:

- Obtener un perfil litológico vertical característico del subsuelo en los diversos sectores del Deslizamiento del Poblado de Tassa diferenciando los tipos de suelos encontrados, sus variaciones laterales y la profundidad de la roca muy alterada y/o muy fracturada y basamento o substrato rocoso, aflorante en los alrededores.

- Determinar los espesores y profundidades de los medios elásticos y sus características, así como los planos de contacto que separan diferentes velocidades de los materiales suelo, roca fracturada y roca firme.
- Lograr un mayor conocimiento de las propiedades de las diferentes capas que servirán para complementar la información de la superficie y el subsuelo, las cuales serán utilizadas como información complementaria para los estudios geodinámicos y de peligros geológicos.

CAPÍTULO II: EVALUACIÓN INGENIERO – GEOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO – FLUJO DE TIERRA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE TASSA

2.1. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

Geológicamente, el área se ubica en la unidad geomorfológica: **Zona de Relieve montañoso fluvio – erosional**, unidad modelada por erosión hídrica pluvial – fluvial, en combinación con diferentes movimientos en masa (deslizamientos, flujos), que actúan en rocas sedimentarias poco competentes. Montañas de diferente elevación, cimas estrechas, laderas empinadas y valles en “V”, con drenaje subparalelo moderadamente denso.

Se han logrado diferenciar las siguientes sub unidades:

2.1.1. *Sub unidad de Depósitos de Piedemonte y Movimientos en Masa*

ABANICOS PROLUVIALES: acumulaciones asociadas al material depositado en el valle por flujos o cárcavas, en este caso tienen pendientes mayores a 30°.

ABANICOS COLUVIO – DILUVIALES: depósitos de laderas procedentes de caídas y desprendimientos de rocas, flujos no canalizados, mezclados con ceniza, y que carecen de forma externa característica. Se localizan en forma continua al pie de las laderas.

DESLIZAMIENTOS: acumulación de materiales asociados a los deslizamientos. Se caracterizan por su topografía algo irregular, cóncava en sentido longitudinal, con pendientes moderadamente empinadas (35°) y un patrón de disección distributivo de baja densidad. Internamente estos materiales aparecen mezclados irregularmente. A menudo con grandes bloques de roca dispersos en la masa, característica que hace que estos materiales se comporten irregularmente durante los sismos. Sobre estas geoformas se encuentra asentada la localidad de Tassa. Es importante mencionar, que se pueden diferenciar deslizamientos antiguos y los reactivados sobre ellos.

QUEBRADAS O CANALES FLUVIALES DE ESTIAJE: incisiones fluvio - erosionales (cárcavas) en “V”, subparalelas, donde discurre el agua solo en épocas de precipitaciones (en algunos, pueden discurrir agua producto de las filtraciones aguas arriba).

2.1.2. *Sub unidad Ladera de Montañas Ramificadas en Rocas Sedimentarias*

Modelado de tipo fluvio – erosional, debido a la baja resistencia a la meteorización y a la erosión pluvial – fluvial de las rocas sedimentarias (lutitas muy deleznales, areniscas calcáreas con nódulos calcáreos) que conforman el sustrato de esta unidad. Relieve con diferente elevación y pendientes de las laderas mayores a 35°, cimas estrechas e incisiones lineales en “V” (canales fluviales o quebradas de estiaje). Destacando cicatrices de deslizamientos antiguos, flujos de detritos y desprendimientos de rocas.



Foto 2.1: Vista del afloramiento de la Formación Cachios con estratificación cruzada.



Foto 2.2: Vista del depósito del flujo de lodo en la margen derecha del río Tassa.

2.3. PELIGROS GEOLÓGICOS

Para la descripción y evaluación del sector de Tassa se ha tomado como base la Clasificación de Varnes (1978, 1996) y Hungr et, al. (2001), y la terminología sobre Movimientos en Masa en la Región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007).

El cartografiado geomorfológico y geodinámico ha permitido diferenciar en el área de estudio, procesos de movimientos en masa que a continuación describiremos.

- a) **DESGLIZAMIENTOS:** son movimientos de ladera debajo de una masa de suelo y roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Los deslizamientos cartografiados en el área son del tipo rotacional; las reactivaciones se ubican en el cuerpo (parte media) de un deslizamiento antiguo.
- b) **CAIDAS (DERRUMBES):** son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consiste en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o áreas costeras o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes), y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas. En la zona de estudio estos fenómenos se dan sobre la masa desprendida, se asocian generalmente a erosión en surcos, cárcavas, así como material de flujos recientes. Este evento se puede apreciar en el Cerro Ccacahuara a ambos flancos de la escarpa del deslizamiento.
- c) **FLUJOS DE DETRITOS:** se trata de flujos de material detrítico y fino, que se activan con precipitaciones estacionales, debido a la escorrentía superficial, estos depósitos transcurren principalmente a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada, en Tassa las cárcavas constituyen los medios de transporte del material.

2.4. DESLIZAMIENTO DE TASSA

Se trata de la reactivación de un antiguo movimiento en masa compuesto de tipo deslizamiento rotacional – flujo de detritos.

Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente en la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal y ocurren en rocas poco competentes (Figura 2.2). Las tasas de movimiento son con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s. (PMA: GCA, 2007).

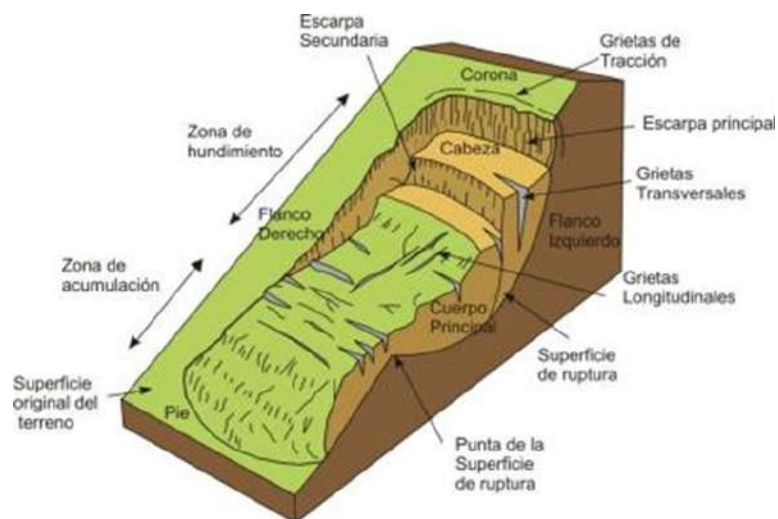


Figura 2.2. Esquema típico de un deslizamiento rotacional (USGS, 2007).

La reactivación de este movimiento en masa se inició hace más de 25 años. Según la manifestación de los pobladores indican que en el año 1985 aparecen las primeras grietas en las viviendas de la parte baja por lo que un número pequeño de familia con apoyo económico del gobierno regional se traslada a la parte alta.

En el año 2001, tras el sismo ocurrido en la ciudad de Arequipa, se producen asentamientos del terreno de la parte baja y agrietamientos por lo que la poca población que ahí quedaba se traslada a la parte alta. El presente año, en la época de lluvia, el terreno empezó a agrietarse afectando a las viviendas, colegio y terrenos de cultivos.

Presenta una ladera de pendiente variable (25°- 35°) y el desnivel entre la corona (4330 m.s.n.m.) y el pie (3630 m.s.n.m.) es de 700 m. Involucra suelos tipo intercalación de lutitas negras, grises y areniscas calcáreas grises y blancas (Fm. Cachios) removidos por constantes derrumbes producto de la meteorización (Figura 2.1, Fotos 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5).

La Qda. Iscamocco, que se encuentra en el flanco izquierdo del deslizamiento de Tassa (Figura 2.3) acarrea flujo con gran cantidad de material que alimentan al río Tassa que erosiona el pie del cerro Ccacahuara generando derrumbes (Foto 2.6 y 2.7).

Este deslizamiento es de actividad progresiva y lenta; pero lluvias intensas pueden acelerar el evento y en su proceso podría embalsar el río Tassa y el río Mala (Foto 2.8) que se encuentra a menos de 1 km aguas abajo del río Tassa. Evidencia reciente de esta actividad se observa en los reservorios que han colapsado, en febrero del 2011 se construyó un reservorio al lado del pueblo que a los pocos días se agrietó y las aguas se filtraron por el suelo removido (Foto 2.9). El último reservorio que se ha terminado en el mes de setiembre ya se observan brotes de agua producto del colapso de la cañería y en la parte baja se observa en la plataforma de la carretera con irregularidades y asentamientos.

Este evento afectó el 100% de las viviendas de la parte baja (incluyendo a la iglesia y colegio) y actualmente está afectando al colegio y al 20% de las viviendas.

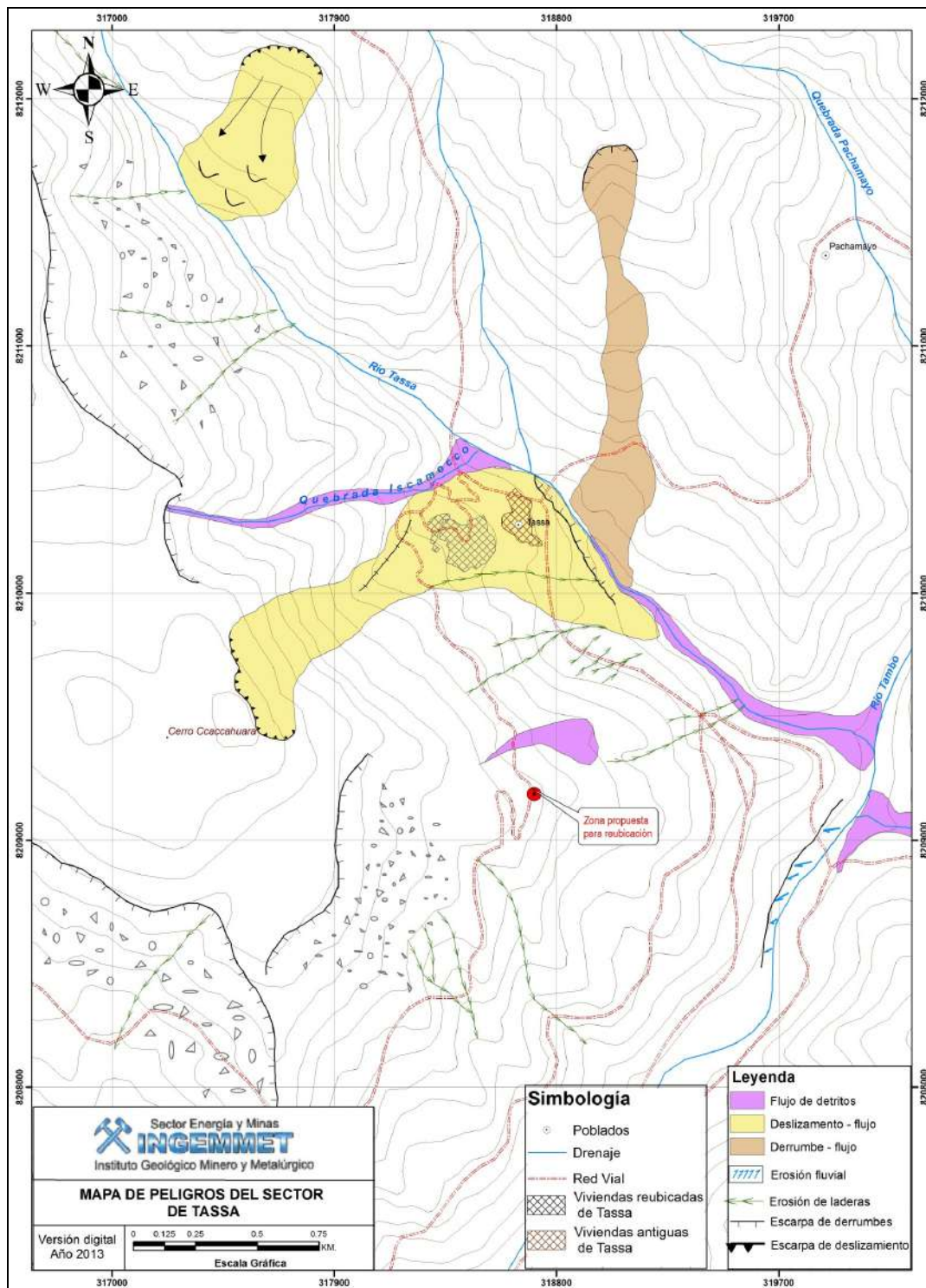


Figura 2.3. Geodinámica y procesos activos en el sector Tassa.



Foto 2.3. Vista del deslizamiento-flujo que está afectando al poblado de Tassa.



Foto 2.4. Vista panorámica que evidencia la actividad geodinámica del flujo.



Foto 2.5. Vista de asentamientos y grietas transversales en la parte alta de la comunidad de Tassa.



Foto 2.6. Grieta que tiene una dirección SE-NW que delimita la margen izquierda del depósito del deslizamiento



Foto 2.7. Vista frontal de la quebrada Iscamocco donde se aprecia los bloques acarreados que alimentan al río Tassa.

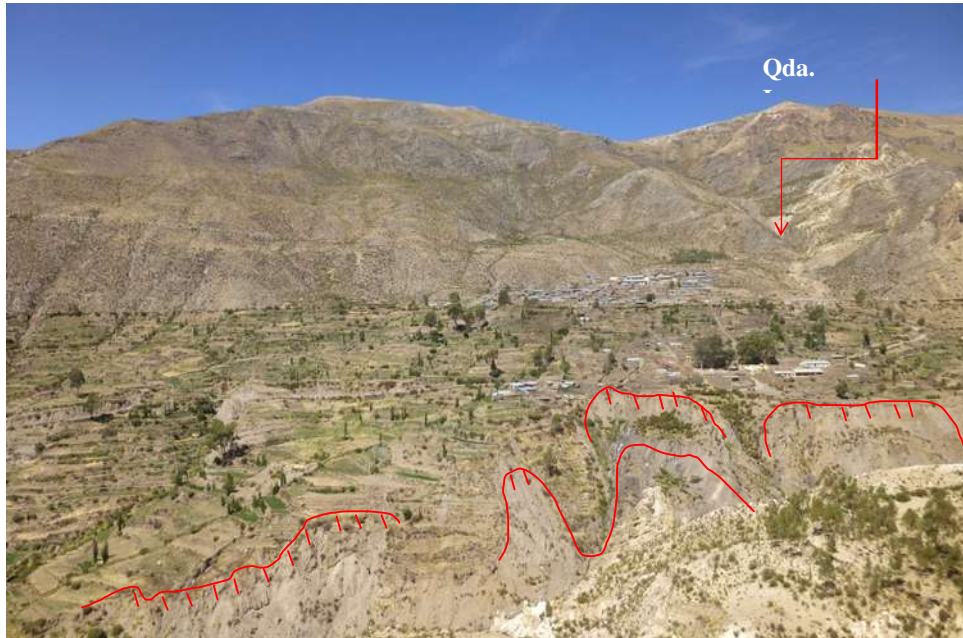


Foto 2.8. Vista panorámica de los derrumbes ocasionados por la erosión del río Tassa. Se observa, el depósito del deslizamiento parcialmente saturado por sectores, con algunos “ojos” de agua.



Foto 2.9. Vistas los reservorios de agua que han colapsado a consecuencia del deslizamiento.

2.4.1. Factores Condicionantes y Detonantes

En el caso particular del poblado de Tassa, de acuerdo a las características del movimiento de masa y observaciones de campo, las causas del movimiento en masa son:

- La fuerte pendiente del talud en la ladera del cerro Ccacahuara: Visto de perfil muestra una ladera con 25 – 35° de pendiente.
- Retención de agua en los depósitos coluvio-deluviales y suelo que se infiltra durante las fuertes precipitaciones entre Noviembre y Marzo. Las filtraciones de agua ayudan a humedecer y/o saturar el suelo detrítico acumulado en sus laderas, provocando su sobresaturación y pérdida de cohesión. Esto ocasiona un arrastre o empuje del terreno superficial evidenciándose grietas en el terreno.
- El fracturamiento en las rocas sedimentarias existentes y su alto grado de alteración.

Los movimientos en masa pueden ser detonados por el clima (intensas precipitaciones pluviales), movimientos sísmicos y causas antrópicas (malas técnicas en riego, modificación de pendiente en laderas, deforestación, etc.).

De esta manera las condiciones naturales del terreno (roca y/o suelo), expresadas en su grado de fracturamiento, alteración o meteorización, resistencia, en el caso de rocas; o tipo de suelo, consolidación, entre otros en caso de suelos; aunados a la pendiente y el agua subterránea; se ven afectadas por lluvias cortas e intensas, o prolongadas; por la vibración sísmica originada por sismos (locales o por subducción), o la modificación del talud para efectuar un corte para un canal o carretera.

En el caso del deslizamiento de Tassa, como evento detonante se puede señalar a las fuertes precipitaciones, que saturaron los materiales involucrados.

2.4.2. Sector “La Z” – Zona Propuesta Para Reubicación

En el Sector denominado “La Z”, con coordenadas son 318709 E – 8209188 N, afloran rocas sedimentarias de tipo areniscas grises con intercalaciones de lutitas pertenecientes al grupo Yura. Actualmente se presenta estable a movimientos en masa. El límite de la zona de reubicación debe ser la quebrada, con evidencias de presencia de un antiguo flujo de detritos (badén), ubicada al norte (200 m camino al poblado).

Esta zona debe ser exclusivamente para habitación de los pobladores y evitar el sembrío en las partes altas y/o bajas para eliminar las filtraciones que desestabilizan las laderas.

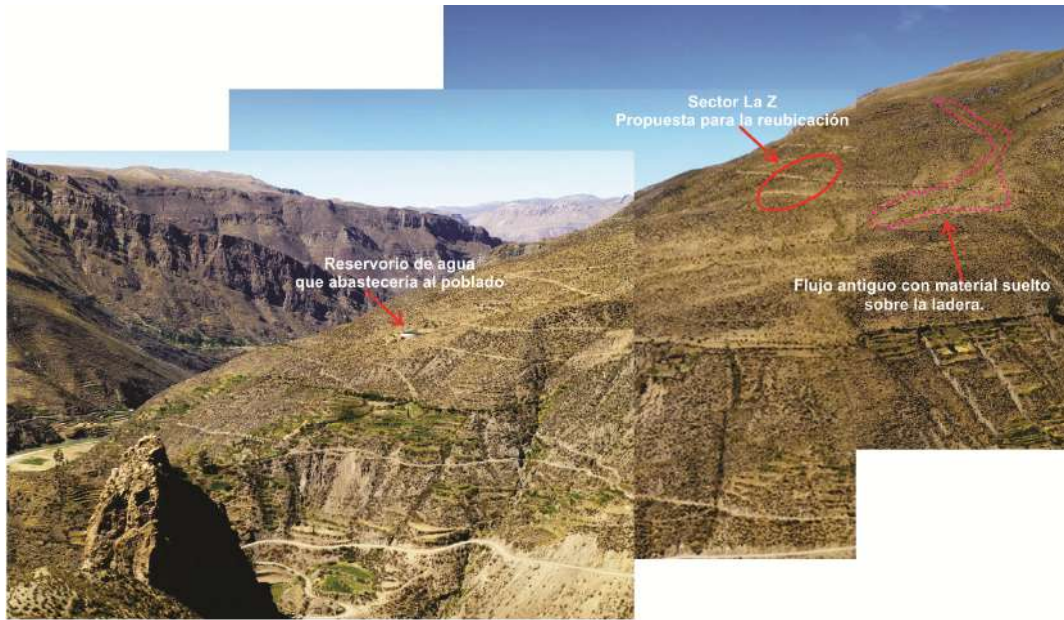


Foto 2.10. Vista panorámica del sector La Z.



Foto 2.11. Vista del talud superior (a) e inferior (b) de la carretera donde se aprecia el material suelto del antiguo flujo que se mantiene latente.

CAPÍTULO III: ESTUDIO GEOFÍSICO DE REFRACCION SISMICA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE TASSA

3.1. GENERALIDADES

Este estudio geofísico complementa la información geológica obtenida durante los trabajos de campo efectuados con la finalidad de evaluar los agrietamientos y deslizamientos del área que ocupa la comunidad campesina de Tassa y alrededores.

En esta oportunidad se empleó el método geofísico llamado Refracción Sísmica. Este método permite conocer indirectamente, las características del subsuelo en función de las velocidades de las ondas sísmicas (P y S) y las propiedades elásticas de las rocas. El impulso generador de la onda generalmente es un impacto sobre un punto de la superficie. Mediante geófonos (sensores de pequeñas vibraciones en el terreno), dispuestos a distintas distancias del punto de impacto, se mide el momento en que llega la primera onda que alcanza a un determinado geófono. De esta forma se obtiene la velocidad de transmisión. Cuando se produce el impulso, las ondas se transmiten en todas direcciones. Una onda directa, recorre un camino por la superficie del terreno hacia el primer geófono (onda directa). Otras ondas descienden con diversos ángulos respecto a la horizontal. Al encontrar un estrato inferior con velocidades sísmicas diferentes, la onda se refracta en el plano de contacto entre ambos terrenos. Existe una dirección de onda que al alcanzar el estrato inferior con un determinado ángulo de incidencia, su refracción se dirige por encima del estrato inferior paralelamente a la frontera entre terrenos. Esta onda, con su nueva dirección, continúa emitiendo energía hacia la superficie con un ángulo de refracción simétrico al de incidencia anterior, por lo que los geófonos pueden llegar a detectarla. Si la velocidad sísmica del terreno inferior tiene un valor mayor que la del terreno superficial, el tiempo necesario para que la onda refractada alcance un punto de la superficie puede llegar a ser menor que el requerido por la onda directa que viaja superficialmente, aun cuando la longitud del camino sea mayor. Los geófonos cercanos al impulso reciben en primer lugar la onda directa, pero a los que se encuentran a una cierta distancia les alcanza antes la onda refractada.

Para elaborar este trabajo, se efectuaron dos etapas: una de campo y otra de gabinete, la primera se efectuó acorde con la programación y contando con el apoyo de la comunidad campesina de TASSA, mientras que la segunda constituyó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en campo.

3.2. EQUIPAMIENTO Y METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

3.2.1. Equipamiento de Campo

- ✓ Sismógrafo de alta resolución marca OYO MsSEIS - 170 Modelo 1119.
- ✓ Cable Multicanal de 240 m (12 canales) y geófonos electromagnéticos verticales.
- ✓ Fuente de energía: 1 batería de 12,5 V.
- ✓ Cable de Trigger de 400 m, conectado al martillo o comba.
- ✓ 1 Comba de 16 lbs. y una placa metálica.
- ✓ Registro Analógico Digital instantáneo con información grabada en diskettes e impresión de sismogramas en papel termo-sensible.

3.2.2. Metodología

a) MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA

El método de Refracción sísmica se basa en la determinación de las velocidades de propagación de las ondas P, generado en forma artificial por impacto en el suelo o por la detonación de explosivos. La propagación de las ondas elásticas y su relación con los contactos geológicos, suministra información de las características de las rocas y de sedimentos consolidados y no consolidados, permitiendo trazar planos de contacto elástico entre estratos o medios de diferentes velocidades.

Los principios físicos de Fermat y la Ley de Snell, describen las propiedades las ondas elásticas en función a la refracción o desviación angular (incidencia crítica) que un rayo experimenta cuando pasa de un material a otro diferente. Esto depende de la relación de velocidades de transmisión de los materiales (Figura 3.1).

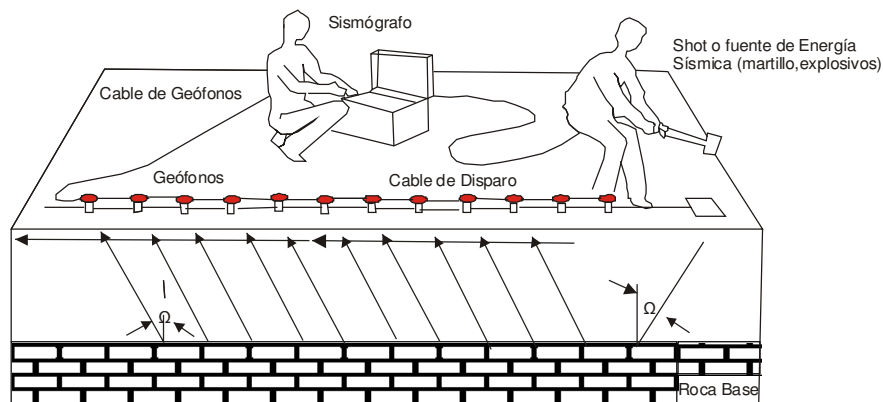


Figura 3.1. Disposición de los Geófonos y trayectoria de la "onda P".

El objetivo de este trabajo geofísico, es determinar, mediante perfiles sísmicos, las propiedades físicas del subsuelo del pueblo de Tassa y alrededores.

En esta oportunidad, el impulso elástico fue generado por un golpe de martillo (comba de 16 lbs) sobre una placa metálica situada por simple contacto sobre el suelo y a distancias próximas al tendido de los geófonos (Figura 3.2).

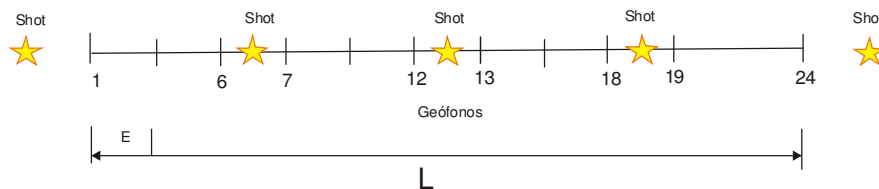


Figura 3.2. Disposición de los puntos de impacto.

La medición de intervalos de tiempo que transcurre desde que se genera el impulso elástico hasta su recepción en los geófonos, colocados a diferentes distancias, son

registrados por un sismógrafo digital, mediante sismogramas que son grabados en diskettes e impresos in-situ en papel termo-sensible.

3.3. RESULTADOS E INTERPRETACION

3.3.1. PROSPECCIÓN SÍSMICA

Se efectuaron 8 líneas sísmicas (LS-1 a LS-8; Figura 3.3). Los intervalos entre geófonos son de 5 m y se distribuyeron en función de los datos de las Dromo-crónicas. El procesamiento se realizó mediante un software de Refracción Sísmica propio del equipo. Se realizaron 03 líneas sísmicas en el perímetro del poblado de TASSA, y 05 líneas sísmicas en el sector de la Ampliación (sector “la Z”), ubicado a 1000 metros de distancia del pueblo. En la Tabla 1 se presenta un resumen de la distribución de las líneas sísmicas.

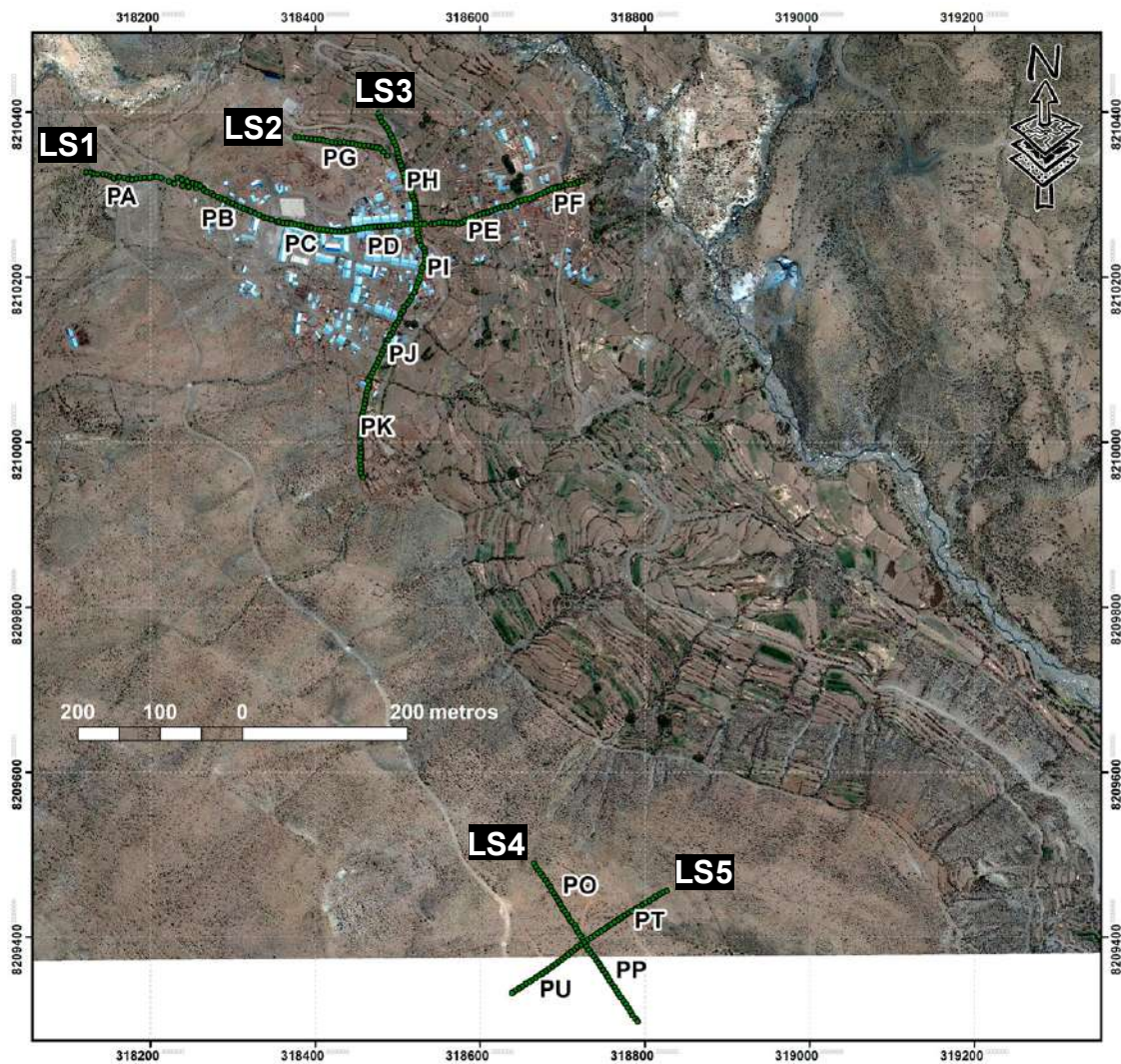


Figura 3.3. Ubicación de las líneas sísmicas realizadas en la localidad de Tassa.

Tabla 1. Distribución de las Líneas Sísmicas ejecutadas en TASSA-Moquegua

Ubicación	código	Longitud (m)	código	Longitud (m)	Longitud total (m)
TASSA-Poblado	LS-01	580	LS-03	460	1155
	LS-02	115	---	-----	
AMPLIACION TASSA (zona "La Z")	LS-04	230	LS-06	115	340
	LS-05	230	LS-07	115	
	LS-08	115	---	---	

El proceso de interpretación se realiza con el empleo de Curvas Dromo-crónicas de doble dirección (Perfil - Contraperfil), de los dos (02) perfiles sísmicos realizados. A continuación mostramos los resultados e interpretación para el Perfil Elástico LS-1 y LS-2.

La Tabla 2 presenta un resumen de los resultados de los ensayos de refracción sísmica. Esta evaluación, efectuada en función de las velocidades de propagación de ondas P, ha permitido determinar tres estratos, los cuales han sido identificados en cada línea sísmica.

Tabla 2. Resumen de los Resultados del Ensayo de Refracción Sísmica Poblado de TASSA.

Ubicación	Línea sísmica	Estrato	velocidad de onda (m/s)	Espesores (m)	Descripción
Poblado TASSA	LS – 1	1	590 - 630	2.00 - 15.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	914 - 1100	4.00 -18.50	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	1620-1930	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 2	1	605	5.00 – 10.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	1240	9.50 - 14.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	2222	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 3	1	365- 541	3.00 – 16.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	835 - 1509	6.00 - 14.00	Material de Deslizamiento poco Compacto..
		3	1890-1920	-	Roca alterada y/o Fracturada.
Zona de Ampliación-TASSA (zona “la Z”)	LS – 4	1	566- 655	7.00 - 17.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	1159	6.00 -32.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	2515	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 5	1	389	4.00 -10.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	988	7.00 - 23.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	1462	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 6	1	378	4.00 - 7.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	946	16.00 - 21.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	2121	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 7	1	386	2.00 -8.00	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	940	7.00 – 16.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	1690	-	Roca alterada y/o Fracturada.
	LS – 8	1	499	6.00 -13.50	Suelo y depósitos de Deslizamiento.
		2	1059	9.00 – 24.00	Material de Deslizamiento poco Compacto.
		3	1694	-	Roca alterada y/o Fracturada.

3.3.1.1. **Perfil Elástico LS-1 (Lámina Nº 1)**

Se encuentra ubicado casi perpendicular a la quebrada principal del poblado de Tassa de orientación SW-NE, cruza la plaza antigua de Tassa en la parte inferior, con una longitud de 570 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidades bajas de entre los $V_1 = 605$ m/s a $V_1 = 630$ m/s). Con espesores variables de entre 2 m a 15 m.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de entre los $V_1 = 914$ m/s a $V_1 = 1110$ m/s). y espesores de entre 4 a 18.5 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de entre $V_3 = 1620$ m/s a $V_3 = 1930$ m/s y yace a profundidades de entre 8 m en el sector de la cota más alta hasta ± 25 m.

3.3.1.2. **Perfil Elástico LS-2 (Lámina Nº 2)**

Se encuentra ubicado por el reservorio de agua casi longitudinal a la quebrada principal del poblado de Tassa de orientación NW-SE, línea corta con una longitud de 115 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidad baja de los $V_1 = 605$ m/s . Con espesores variables de entre 5 m a 10.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de $V_1 = 1240$ m/s y espesores de entre 9.5 a 14.00 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de $V_3 = 2222$ m/s y yace a profundidades de entre 15 m a ± 22 m.

3.3.1.3. **Perfil Elástico LS-3 (Lámina Nº 3)**

Se inicia por el reservorio de agua hacia el sector SE, casi longitudinal a la quebrada principal del poblado de Tassa de orientación NW-SE, línea que corta a la Línea LS-1, con una longitud de 470 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidades bajas de entre los $V_1 = 365$ m/s a $V_1 = 541$ m/s). Con espesores variables de entre 3 m a 16 m.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de entre los $V_1 = 835$ m/s a $V_1 = 1509$ m/s). y espesores de entre 6 a 14 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de entre $V_3 = 1890$ m/s a $V_3 = 1920$ m/s y yace a profundidades de entre 12 m hasta ± 28 m.

3.3.1.4. **Perfil Elástico LS-4 (Lámina Nº 4)**

Se encuentra ubicado en el sector de la ampliación (zona "La Z") de Tassa, casi perpendicular a la quebrada principal del poblado de Tassa de orientación SW-NE, su inicio es casi por la carretera en la parte superior, con una longitud de 240 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidades bajas de entre los $V_1 = 566$ m/s a $V_1 = 655$ m/s). Con espesores variables de entre $E = 7$ m a 17 m.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de los $V_1 = 1159$ y espesores de entre $E = 6$ a 32 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de entre $V_3 = 2515$ m/s y yace a profundidades de entre 8 m en el sector de la cota baja hasta ± 21 m.

3.3.1.5. **Perfil Elástico LS-5 (Lamina Nº 5)**

Se encuentra ubicado en el sector de la ampliación (zona "La Z") del poblado de Tassa, transversal a la línea LS-4, de orientación NW-SE, línea de longitud de 230 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidad baja de los $V_1 = 389$ m/s. Con espesores variables de entre $E = 4$ m a 10.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de $V_1 = 988$ m/s y espesores de entre $E = 9.5$ a 14.00 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de $V_3=1662$ m/s y yace a profundidades de entre 14 m a ± 28 m.

3.3.1.6. **Perfil Elástico LS-6 (Lámina Nº 6)**

Se encuentra ubicado hacia el sector SE del área en la Ampliación (zona “La Z”) del poblado de Tassa de orientación NW-SE, línea corta con una longitud de 115 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidad baja de los $V_1=378$ m/s . Con espesores variables de entre 4 m a 7.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de $V_1=946$ m/s y espesores de entre 9.5 a 14.00 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de $V_3=2121$ m/s y yace a profundidades de entre 16 m a ± 21 m.

3.3.1.7. **Perfil Elástico LS-7 (Lámina Nº 7)**

Ubicado en el sector de la Ampliación (zona “La Z”) del poblado de Tassa con orientación SW-NE, línea corta con una longitud de 115 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidad baja de los $V_1=386$ m/s. Con espesores variables de entre $E=2$ m a 8 m.

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de $V_1=940$ m/s y espesores de entre 7 m a 16 m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de $V_3=1690$ m/s y yace a profundidades de entre $E=9$ m a $E=\pm 22$ m.

3.3.1.8. **Perfil Elástico LS-8 (Lámina Nº 8)**

Se encuentra ubicado por el reservorio de agua casi longitudinal a la quebrada principal del poblado de Tassa de orientación NW-SE, línea corta con una longitud de 115 m.

Se ha determinado la siguiente secuencia de materiales:

Capa Superior.- Corresponde a los materiales superficiales, suelo orgánico y depósitos de deslizamiento (suelos) con velocidad baja de los $V_1 = 499$ m/s. Con espesores variables de entre $E = 6$ m a $E = 13.5$ m

Capa Intermedia.- Medio elástico (semi-compacto) definido por el material de deslizamiento poco compacto con velocidades de onda de $V_1 = 1059$ m/s y espesores de entre $E = 9$ m a $E = 24.00$ m.

Capa Inferior.- Tercer medio elástico constituido por la roca alterada y/o fracturada con velocidades de $V_3 = 1694$ m/s y yace a profundidades de entre $E = 16$ m a $E = \pm 36$ m.

3.3.2. **RELACIONES DE LAS ONDAS P - S Y LAS CONSTANTES ELÁSTICAS**

Las ondas sísmicas designadas como ondas elásticas, dependen de la elasticidad de los materiales a través de los que se propagan; en consecuencia, están en función con la rigidez inicial del suelo, así como las constantes dinámicas en la determinación de la respuesta dinámica del suelo.

En la Tabla 3 se muestran las constantes elásticas dinámicas obtenidas de la relación de las Velocidades de propagación de las Ondas P y S y los datos de las densidades de los materiales determinados en superficie.

Tabla 3. Constantes elásticas dinámicas de la relación P/S y de las densidades de los materiales.

Perfil Elástico	N°	Velocidades		Coeficiente de Poisson	Módulo		Densidad (T/m ³)
		Vp (m/s)	Vs (m/s)		E d (T/m ²)	Gd (T/m ²)	
LS-01	1	630	364	0.24944	47299	18928	1.4
	2	1100	636	0.24892	206197	82550	2
	3	1930	1116	0.24884	730076	292301	2.3
LS-02	1	605	350	0.24849	43697	17500	1.4
	2	1240	717	0.24886	131026	52458	1
	3	2222	1284	0.24934	966813	386929	2.3
LS-03	1	541	313	0.24843	34945	13996	1.4
	2	1059	612	0.24928	181435	72616	1.9
	3	1920	1110	0.24899	722333	289166	2.3
LS-04	1	655	379	0.24834	51232	20520	1.4
	2	1159	670	0.24904	217413	87032	1.9
	3	2515	1454	0.24898	1239416	496170	2.3
LS-05	1	389	225	0.24862	18060	7232	1.4
	2	988	571	0.24924	157934	63212	1.9
	3	1662	845	0.24919	418671	167577	2.3
LS-06	1	378	218	0.25082	16984	6789	1.4
	2	946	547	0.24886	144893	58010	1.9
	3	2121	1226	0.24912	881283	352763	2.3
LS-07	1	386	212	0.24754	16020	6421	1.4
	2	940	543	0.2496	142866	57165	1.9
	3	1690	977	0.24902	559614	224022	2.3
LS-08	1	499	288	0.25025	29629	11849	1.4
	2	1059	612	0.24928	181435	72616	1.9
	3	1694	806	0.2489	380830	152466	2.3

(*) Asumidos por información de la relación de las ondas primarias Vp.

(**) Asumido por los valores de densidades de los materiales sedimento-roca.

Las relaciones de propagación de las velocidades Vp y Vs. se expresan de la siguiente forma:

$$V_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho} = \sqrt{E / \rho \times ((1-\sigma) / (1+\sigma)(1-2\sigma))}$$

$$V_s = \sqrt{\mu / \rho} = \sqrt{(E / \rho) (1 / 2(1+\sigma))} = \frac{G}{\sqrt{\rho}}$$

donde :

λ y μ = constantes de Lamé,

ρ = densidad del suelo,

E = módulo de Young,

σ = coeficiente de Poisson

G = modulo de corte

Las constantes elásticas dinámicas σ , E y G se expresan de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2((V_p/V_s) - 1)}$$

$$E = 2(1 + \sigma)G$$

$$G = \rho V_s^2$$



Foto 3.1: Vista panorámica del poblado de Tassa donde se desarrollaron las líneas de tendido de Refracción Sísmica.



Foto 3.2: Equipo de Refracción Sísmica en la Línea LS-01 en el tramo 1 cota más alta de la línea de tendido.



Foto 3.3: Equipo de Refracción Sísmica OYO – McSEIS 170 – trasladándose a otro tramo de la Línea elástica LS-01 hacia la parte de la plaza principal antigua de Tassa.



Foto 3.4: Registro de lecturas en la línea más larga LS-01 transversal a la quebrada principal del área de estudio.



Foto 3.5: Sector de la ubicación de la línea Sísmica LS-02.



Foto 3.6: Ejecución de líneas de Refracción Sísmica en la zona de Expansión del poblado de Tassa.



Foto 3.7: Equipo de Refracción Sísmica – OYO-McSEIS 170 de fabricación japonesa ejecutada en el área de poblado de Tassa-Moquegua.

CONCLUSIONES

El análisis de las observaciones de campo y del trabajo geofísico, se puede concluir lo siguiente:

1. El principal factor de desestabilización en el área es el agua, ya que la alta permeabilidad del suelo hace que gran parte de la lluvia se infiltre hasta el basamento rocoso formando de esta manera una zona de debilidad, que desestabiliza la ladera.
2. En el sector, el evento más importante y el de mayor actividad, trata de un movimiento en masa tipo compuesto (deslizamiento – flujo), que produce fuertes asentamientos de terreno. El empuje de la masa deslizada ha producido derrumbes en el pie del deslizamiento; identificándose en las laderas circundantes a la zona evaluada, procesos de erosión de laderas (cárcavas). Además se ha identificado derrumbes en ambos márgenes del río Tassa, los cuales pueden generar flujos de detritos (huaicos) aguas abajo con posibilidad de represar el río Tambo.
3. En la actualidad se encuentra comprometida la seguridad física de las viviendas, colegio, reservorios de la parte baja del poblado y la carretera que se están asentado en el pie de las reactivaciones del deslizamiento antiguo.
4. La actividad antrópica ha contribuido a desestabilizar la zona, con los cortes realizados en la ladera para la construcción de la carretera de acceso, el riego de terrenos de cultivo, la presencia de infraestructura de riego en mal estado, que produce filtraciones de agua hacia el subsuelo, sobresaturándolo e incrementando la presión de poros. Así como la ocupación inadecuada del territorio, en zonas no aptas para la construcción de viviendas.
5. Por las condiciones morfodinámicas que se presentan en la zona, como son escarpas irregulares, paralelas y escalonadas, asentamientos en la carretera, grietas en la parte baja de la ladera muchas de las cuales ya estaban evidenciadas en el año 1985; así como la presencia de un deslizamiento en reactivación, esta zona se considera **en PELIGRO INMINENTE**.
6. El Estudio Geofísico de Refracción Sísmica, ha permitido determinar tres capas de interés identificables por su extensión y morfología, que varían en espesores y resistividades a causa de sus diferentes grados de compactación, meteorización, alteración y naturaleza.
7. En general, de acuerdo al análisis de cada línea sísmica, se deduce que el sub-suelo del poblado menor de Tassa, presenta características geológicas y geomorfológicas similares, presentándose cambios específicos únicamente en los espesores (Ver Anexo de Perfiles- Secciones Elásticas).
8. El comportamiento de los medios elásticos del Poblado de la Comunidad Campesina de Tassa, ha mostrado valores crecientes en profundidad que varían de acuerdo al grado de compactación de sus constituyentes desde:

Capa Elástica 1:

V1 = 365 m/seg / (Línea LS-3) a 655 m/seg (Línea LS-4) - Suelo de Cobertura y depósitos de Deslizamiento con espesores de 2 a 13 m.

Capa Elástica 2:

V2 = 835 m/seg (Línea LS-3) a 1509 m/seg (Línea LS-3) material de Deslizamiento poco Compacto.

Capa Elástica 3:

V3 =1620 m/seg (línea LS-01) a 2515 m/seg (Línea LS-4) - Roca alterada y/o Fracturada.

Valores límites encontrados para los diferentes materiales y formaciones geológicas presentes en el área. Asimismo, se ha se han obtenido las constantes elásticas dinámicas para cada estrato (Tabla 3).

RECOMENDACIONES

1. Por encontrarse el poblado de Tassa, expuesta a constantes desplazamientos de terreno producto de la reactivación del deslizamiento, se recomienda la reubicación del poblado. Posteriormente considerar la demolición de las viviendas afectadas y forestar la zona con plantas nativas.
2. Restringir el sembrío de cultivos estacionales y mejorar el sistema de regadío actual por el de goteo o aspersión, además de revestir sus canales de regadío debido a que la inestabilidad de la ladera continúa.
3. Es necesario considerar que la zona propuesta para la reubicación debe tener un estudio más detallado en el tema de cimentación, teniendo en cuenta, por su ubicación geográfica, el peligro sísmico.
4. Implementar y promover una cultura de prevención de desastres, mediante charlas y talleres de sensibilización ante peligros geológicos, en los diferentes niveles de la población de Tassa y poblaciones vecinas
5. Se recomienda caracterizar las capas de la interpretación geofísica con información complementaria ya sea calicatas y/o SPT a fin de poder tener un control litológico-geofísico.