

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA AFECTADA POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN TAMBORAQUE

(DISTRITO SAN MATEO, PROVINCIA HUAROCHIRI, REGIÓN LIMA)

POR:

BILBERTO ZAVALA C.
LIONEL FIDEL S.
SEGUNDO NUÑEZ J.
FLUQUER PEÑA L.
YESLIN OLARTE C.
WALTER PARI P.

**LIMA PERU
SEPTIEMBRE 2008**



CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	3
1.2	OBJETIVOS.....	5
2.0	ASPECTOS GENERALES.....	5
2.1	UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	5
2.2	CLIMA Y VEGETACIÓN	6
2.3	PRECIPITACIONES PLUVIALES	6
2.4	USO DE SUELO	7
3.0	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
3.1	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.....	8
	RELACIONADAS A PROCESOS EROSIVOS Y CONTROL LITOLÓGICO	
	ESTRUCTURAL Y PENDIENTE:	8
	RELACIONADAS A ACUMULACIONES DE DEPOSITOS DE PIEDEMONTES Y	
	PROCESOS GRAVITACIONALES.....	9
	RELACIONADOS A LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA.....	10
4.0	ASPECTOS GEOLÓGICOS	12
4.1	SUBSTRATO ROCOSO	12
4.2	DEPÓSITOS SUPERFICIALES	13
5.0	MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO TAMBORAQUE	16
5.1	GENERALIDADES	16
5.2	EVIDENCIAS DE MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS Y RECIENTES	16
5.3	DESLIZAMIENTO EN EL CERRO TAMBORAQUE: MANIFESTACIONES	16
	AGRIETAMIENTOS Y ASENTAMIENTOS.....	17
	EMPUJES Y MOVIMIENTOS DEL TERRENO.....	24
5.4	OTRAS MANIFESTACIONES GEODINÁMICAS EN LAS LADERAS DEL CERRO	
	TAMBORAQUE.....	27
5.5	CAUSAS QUE ORIGINARON LAS DEFORMACIONES EN LAS LADERAS DEL	
	CERRO TAMBORAQUE	28
6.0	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	29
6.1	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.	29
6.2	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	34
6.3	PIEZOMETRÍA.....	36
6.4	HIDROQUÍMICA.....	37
7.0	PELIGRO SISMICO EN TAMBORAQUE	39
7.1	GENERALIDADES	39
7.3	DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES SISMICAS MAXIMAS	41
7.4	SISMOTECTONICA DE LA REGION.....	42
7.5	DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS SISMOS	42
7.6	ESTUDIO SISMICO PROBABILISTICO	42
7.7	ZONIFICACION Y ACELERACIONES MÁXIMAS.....	44
8.0	ANÁLISIS GEOTÉCNICOS EN LA LADERA DEL CERRO TAMBORAQUE	47
8.1	REVISIÓN DE INFORMACIÓN GEOTÉCNICA	47
	CONTROL TOPOGRÁFICO.....	47

	CONTROL DE GRIETAS	48
	CONTROL DE PIEZOMETROS	48
	CONTROL DE INCLINÓMETROS	49
	PROPIEDADES DE LOS SUELOS	51
	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	52
8.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EL TALUD NW DEL CERRO TAMBORAQUE	53
	CARGA ESTÁTICA	53
	CARGA DINÁMICA	53
	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	53
	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	54
9.0	CONCLUSIONES	55
10.0	RECOMENDACIONES.....	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXO 1: RELACIÓN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA POR INGEMMET, PROPORCIONADA POR LA CMSJ.....	59
	ANEXO 2: GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	60

1.0 INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de procesos de movimientos en masa como deslizamientos, es común en las vertientes y valles de la cordillera andina. Estos procesos geodinámicos pueden perdurar en el tiempo y comportarse aparentemente de forma estable, sin embargo indicios de carácter geológico y geomorfológico muestran que estos eventos se encuentran en real movimiento de forma natural, a veces imperceptibles. Sin embargo estos suelen ser incentivados o detonados por agentes externos de carácter natural (lluvias, sismos), o antrópico (modificación de taludes, riesgo inadecuado, etc.). El valle del río Rímac, no es ajena a estos procesos geológicos, identificándose en la zona procesos de movimientos en masa antiguos y activos que evidencian la actividad geodinámica del valle en este sector.

En la margen izquierda del río Rímac, aguas arriba de la confluencia de la quebrada Parac/Aruri al Rímac, y el poblado de San Mateo, se desarrollan actividades urbanas, agrícolas y mineras, así como una red vial y ferroviaria que sirve de conexión de los pueblos de la sierra y selva central con la capital. Específicamente en el cerro Tamboraque se tienen evidencias de activación de un deslizamiento de tierras, cuya evolución pone en riesgo infraestructura de la mina, tramo de las líneas férrea y carretera central, contaminación del valle, afectación de la central hidroeléctrica de Huanchor.

Las laderas del cerro Tamboraque, albergan tanto las actividades de la Compañía Minera San Juan (CMSJ), a través de un sector de concesión de beneficio donde se encuentran dispuestos depósitos de relaves, planta metalúrgica y oficinas, en la parte inferior, y en las laderas superiores áreas agrícolas de la Comunidad Campesina de San Antonio, que incluyen caminos carrozables, reservorio y canales.

En vista de la problemática presentada, por la peligrosidad y riesgo que representa el deslizamiento de tierras y el involucrar depósitos de relaves mineros, se formó un “Comité de Crisis para la atención de la Declaratoria de Estado de Emergencia del Cerro Tamboraque”, formado por entidades e instituciones de los ministerios comprometidos.

En el grupo de evaluación de riesgo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), se comprometió a realizar un estudio geológico. Los trabajos de campo fueron realizados entre los días 21 y 23 de agosto, con la participación de dos especialistas en riesgo geológico y geotecnia y dos especialistas en hidrogeología. En los trabajos de gabinete se consideró la evaluación de la información de instrumentación geotécnica proporcionada por la CMSJ.

Los resultados de estos estudios se ponen a consideración de dicho comité, en el cual se dan alcances de la geomorfología, geodinámica, hidrogeología, análisis de estabilidad de taludes del área afectada por deslizamiento de tierras, así como las conclusiones y recomendaciones para la prevención, mitigación y/o estabilización del lugar. En dicho informe se presentan planos geológicos, perfiles

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La CMSJ, con fecha 20 de junio del 2008, emite un informe, donde menciona la presencia de grietas en las relaveras 1-2 y grietas de tracción en la planta de beneficio Coricancha. En el mencionado informe se menciona una reevaluación de la estabilidad de dicha relavera, en la cual se concluyó que es estable en condiciones estáticas y pseudos-estáticas, que consta en el expediente 1771237 entregado al MEM, habiéndose efectuado investigaciones geotécnicas en el subsuelo hasta 15 m de profundidad, no detectándose presencia de agua subterránea.

Las nuevas perforaciones realizadas en mayo del 2008. que llegaron hasta 60 m de profundidad, detectaron la presencia de agua subterránea en el contacto roca-suelo, así como la existencia de una capa de arcilla con una napa freática colgada.

El Jefe de la Oficina de Defensa Civil del Gobierno Regional de Lima, mediante oficio N° 086-2008-GRL-GRRGMA-ORDC, de fecha 08 de julio del 2008, invita al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a participar con un profesional para analizar hacer una estimación del riesgo: "Investigación Hidrogeológica" en la zona de Tamboraque. En dicho documento manifiestan que según los medios comunicación capitalinos e informes de la Dirección regional de Defensa Civil de Lima-Callao-DRDCLC, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) y la Administración Técnica del Distrito de Riego Chillón-Rimac-Lurín-(ATDR), revelan que el sector denominado "Tamboraque" del distrito de San Mateo de Huanchor, provincia de Huarochiri, Región Lima, hay existencia de un peligro inminente, de un deslizamiento el cual ocasionaría movimiento de la relavera de la mina San Juan sobre la carretera Central, la Bocatoma de agua de la Central Hidroeléctrica de Huanchor y la contaminación de las aguas del río Rimac.

El INDECI por intermedio del Director Regional de Defensa Civil Lima – Callao, Sr. James Atkins Lecaros, con Oficio Múltiple N°3528-20 08-INDECI/16.0.5, comunica "la existencia de un RIESGO ALTO que compromete a la zona de la Planta de la Minera San Juan"; y a su vez convoca a una reunión de urgencia para el 02/08/2008, para la presentación del resumen ejecutivo de la Evaluación del Riesgo realizado por INDECI, OSINERGMIN y el ATDR. Ante esta situación el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, asigna al Ing. Segundo Núñez y la Bach. Jenny Vásquez Acuña, para coordinar con la oficina de INDECI-Lima, la Secretaría Técnica de Defensa Civil – Lima, y el Gobierno Regional de Lima, y realizar una visita in situ, la cual se realizó el día 15 de Julio del 2008. En dicha inspección se tuvo la presencia del Secretario Técnico de Defensa Civil de San Mateo y representantes de la Cia. Minera San Juan (CMSJ). El informe de inspección fue alcanzado, vía mail, el 18 de julio del presente. Posteriormente INGEMMET se hizo presente, con el Ing. Segundo Núñez, en la visita conjunta realizada con el Viceministro de Minas, en la zona de emergencia.

La conformación de un "Comité de Crisis para la atención de la Declaratoria de Estado de Emergencia del Cerro Tamboraque", fue instituida para realizar una evaluación integral de los hechos con la participación de las instituciones y autores locales involucrados, la cual fue declarada por el Decreto Supremo N° 050-2008-PCM.

En la primera reunión de este comité, el 11 de agosto, se formaron varias comisiones o grupos técnicos de trabajo. Atendiendo la propuesta del representante del INGEMMET y la CMSJ, con las opiniones de los Viceministros de Minas y de Agricultura, se constituyó un pequeño Grupo Técnico para evaluar los estudios geológicos y geotécnicos realizados, a fin de determinar la causa y proponer las alternativas técnicas de solución. Este grupo está integrado por representantes del Viceministerio de Minas, el INGEMMET y la CMSJ.

En la Segunda Reunión, el Grupo Técnico de Evaluación del Riesgo del Cerro Tamboraque, a través del representante de INGEMMET puso en conocimiento la realización de trabajos de campo. La descripción o propuesta de los trabajos geológicos a realizar se hicieron a través del Viceministro de Minas, en donde se solicitaba a la CMSJ, proporcionar la información topográfica y geotécnica para realizar el estudio denominado: **"Evaluación Geológica, Hidrogeológica y**

Geodinamica del área afectada por deslizamiento de tierras en la concesión de beneficio: Concentradora Tamboraque”.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son:

- Efectuar la evaluación geológica en las laderas del Cerro Tamboraque, donde se encuentra ubicada la zona de operaciones de la CMSJ, e identificar y evaluar el movimiento en masa que afectan la ladera oeste.
- Analizar el comportamiento hidrogeológico de la zona el fin de recomendar y/o afianzar las medidas adecuadas para su estabilización.
- Revisar y evaluar la información de instrumentación geotécnica recopilada por la CMSJ, para efectuar el análisis de estabilidad de la zona afectada por el deslizamiento de tierras que permita determinar las medidas adecuadas para la prevención de un desastre en la zona.

1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

En función a los objetivos trazados, los alcances de este estudio están centrados en:

- Cartografiado geomorfológico-geodinámico del área de Tamboraque – San Mateo, a escala 1:20,000.
- Caracterización ingeniero geológica de los materiales (substrato rocoso y depósitos superficiales), con énfasis en el análisis de estabilidad de la ladera.
- Reconocimiento hidrogeológico con el fin de evaluar el comportamiento de las aguas subterráneas en el área.
- Análisis de estabilidad complementarios, a partir de la información proporcionada por la CMSJ.
- Recomendaciones de medidas de estabilización complementarias.

2.0 ASPECTOS GENERALES

2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La ladera del cerro Tamboraque se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Rimac, correspondiendo a parte de la confluencia de la quebrada Parac/Aruri al río principal. Políticamente corresponde al distrito de San Mateo, provincia de Huarochiri, región Lima.

Se encuentra a 2,5 Km de la localidad de San Mateo, frente a la Central Hidroeléctrica de San Mateo de Huanchor y topográficamente se desarrolla entre los 2915 y 3900 msnm.

Se accede desde Lima a través de la carretera Central, hasta llegar a la progresiva 89+500.

2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

De acuerdo a la Guía Explicativa del Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1995), que usa el diagrama bioclimático de Holdridge, el sector Tamboraque corresponde a una zona de vida Estepa Montano Tropical (e-MT), que presenta una biotemperatura media anual de 14°C y una precipitación anual promedio de 244.5 mm, lo que la ubica en la provincia de humedad subhúmeda.

2.3 PRECIPITACIONES PLUVIALES

Los valores de precipitación mensual de las estaciones circundantes a Tamboraque (Matucana, San José de Parac, Río Blanco y Casapalca), muestran promedio mensuales con mayores precipitaciones ocurren entre diciembre a Marzo (Ver Figura N° 1 y Cuadro N° 1).

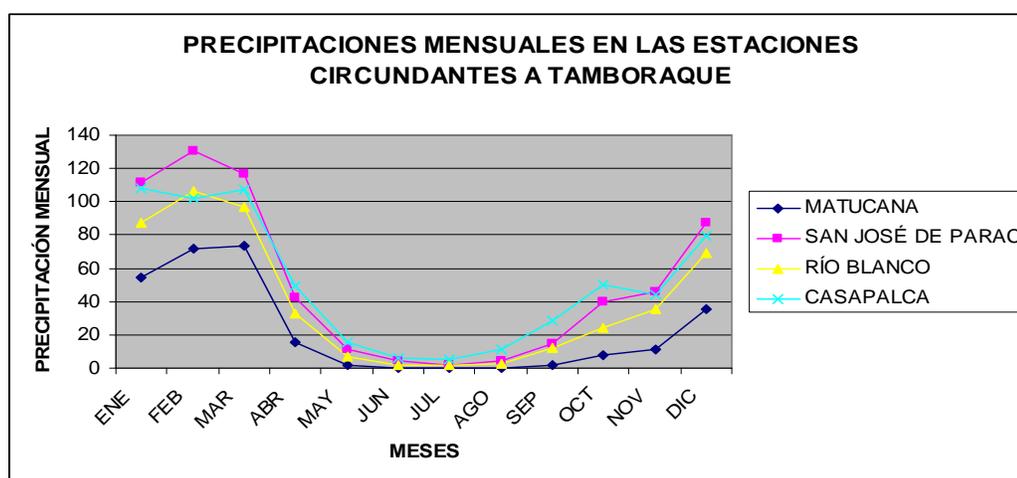


FIGURA N° 1

CUADRO N° 1: VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MATUCANA	54.6	71.9	73.8	15.2	1.5	0.1	0	0.3	1.9	7.7	11.2	35
SAN JOSÉ DE PARAC	111.1	131	117	42.3	11.2	4.3	1.7	4.7	14.8	39.7	45.8	87
RÍO BLANCO	87.3	107	96.7	32.9	7	2.1	1.5	2.9	12.4	24.4	35.1	70
CASAPALCA	108.1	102	107	49.2	15.3	5.9	5.6	11	28.8	50	43.8	80

Fuente: SENAMHI.

Un pronóstico trimestral para la provincia de Huarochiri, ha sido elaborado por SENAMHI donde se las probabilidades de ocurrencia de lluvia para el periodo agosto – octubre 2008. El pronóstico para estos meses muestra que las precipitaciones oscilaran dentro de sus rangos normales con lluvias acumuladas que se exponen en el Cuadro N° 2

Para el mes de agosto se esperan precipitaciones similares a su climatología, a excepción de las zonas altas de la cuenca del Río Rímac donde las lluvias se registraran ligeramente superiores a su patrón climático¹.

¹ La precipitación máxima probable en 24 horas, calculada en base a datos de la estación de Río Blanco para el período 1987-2005, es de: 30 mm y 33,1 mm en tiempos de retorno 100 años y 600 años, respectivamente.

CUADRO N°2: PRONOSTICO DE PRECIPITACION ACUMULADA EN LA ZONA CIRCUNDANTE A TAMBORAQUE (PERIODO: AGOSTO - OCTUBRE 2008)

ESTACION	PRONÓSTICO TRIMESTRAL AGOSTO - OCTUBRE 2008		LIMITE NORMAL (mm)	
	CATEGORIA	PRECIPITACIÓN (mm)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
MATUCANA	NORMAL	13,6 - 7,3	7.3	13.6
SAN JOSE DE PARAC	NORMAL	65,6 - 49,3	49.3	65.6
RIO BLANCO	NORMAL	45,3 - 32,6	32.6	45.3
CASAPALCA	NORMAL	108,4 - 88,7	88.7	108.4

Fuente: SENAMHI, 2008.

2.4 USO DE SUELO

En el área de estudio las laderas están compuestas por suelos coluviales, en parte deluviales y residuales. Sus espesores van desde superficiales hasta cerca de 40 a 50 m. Cubren un substrato rocoso volcánico escarpado a abrupto. Algunas remociones antiguas se presentan escalonados en pequeñas terrazas y espesores variables de suelo. Estos terrenos son aprovechados con cultivos de secano y/o riego por gravedad, y generalmente son de alfalfa. Las áreas con bosques y plantaciones naturales son escasas, y solo se aprecian algunas zonas de las laderas que han sido forestadas, principalmente en las laderas medias inferiores. Se distinguen también grandes modificaciones en sus taludes, tanto por la construcción de carretera, línea férrea, así como por la disposición de relaves por la actividad minera. Muchos cortes y modificaciones de taludes en trazos y desarrollos de carretera, carretera afirmada que conduce a San José de Parac, reservorios y canal.

En resumen el uso del suelo en la ladera del cerro Tamboraque, está predominantemente ocupado por la actividad agrícola, con algunos sectores eriazos en la parte superior, y sectores de disposición de residuos mineros, de la CMSJ, en la parte inferior, zona industrial, metalúrgica hasta cerca del pie del valle.



Foto N°1 Vista panorámica de la ladera del cerro Tamboraque. Confluyen zonas con relaves (A), planta metalúrgica (B) y zonas forestadas con eucaliptos en la parte inferior (C). Suelos coluviales en la parte superior aprovechados como terrenos de cultivos (D). Parte de la Carretera Central, tramos de la vía férrea y accesos o desarrollos en el área de operaciones mineras (E).

3.0 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

El área de estudio en el contexto regional se localiza en la Unidad Geomorfológica de la Cordillera Occidental de los Andes, disectada por valles. El relieve general está supeditado a la presencia del río Rímac como colector principal local, que muestra un valle juvenil, con perfil típico en "V" limitado por laderas de moderada a fuerte pendiente, así como la presencia de las quebradas Parac/Aruri y Challumay, en las márgenes izquierda y derecha respectivamente.

Depósitos de movimientos en masa son diferenciables en su entorno, que evidencian la geodinámica de la zona en el pasado. El río corta principalmente secuencias volcánicas terciarias.

La pendiente promedio en las laderas del cerro Tamboraque varía entre 25 y 31°, algunos sectores presentan laderas con pendientes entre 16 y 20°, correspondiendo a los depósitos de ladera. Las zonas con mayor pendiente o más abruptas presentan laderas entre 39 y 42°, corresponden a zonas rocosas

La morfología actual es producto de la erosión fluvial y pluvial relacionada con la última etapa del levantamiento andino y procesos hidrometeorológicos (precipitaciones abundantes o prolongadas durante el período lluvioso), además de la influencia de movimientos en masa antiguos y recientes (deslizamientos, derrumbes y caída de rocas principalmente), que se localizan en ambas márgenes del valle. Una parte importante del área se ve fuertemente influenciada por la actividad antrópica principalmente minera, ocupación de área urbana e industrial y redes viales.

3.1 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Tratando de asociar las geoformas existentes, la litología y carácter estructural del sustrato, y la morfogénesis de los diferentes relieves se ha dividido al área de estudio en tres grandes grupos o subunidades (Ver Mapa N° 1):

RELACIONADAS A PROCESOS EROSIVOS Y CONTROL LITOLÓGICO ESTRUCTURAL Y PENDIENTE:

Se presentan: a) Laderas de montañas en rocas volcánicas, de moderada a fuerte pendiente dispuestas en toda el área, mostrando crestas o alineamientos escarpados por erosión diferencial. Litológicamente corresponde a secuencias de andesitas, tobas andesíticas. b) Valle fluvial: Que ocupa una muy reducida porción, correspondiendo al lecho fluvial y superficies muy angostas adyacentes, generalmente erosionadas o removidas por el río en el período de creciente. Corresponde al lecho actual del río principal y las quebradas Parac/Aruri y Challumay. El piso de valle en angosto en este sector, variando entre 15 a 25 m de ancho, haciendo algo mayor aguas debajo de la central hidroeléctrica de Huanchor. La pendiente longitudinal en este sector es moderada a fuerte y muestra cambios notables en tramos cortos, presentando rápidos. Se distinguen grandes bloques de rocas (bolones), producto de acarreo probablemente por flujos de detritos o huaycos. Hacia aguas abajo el valle se encañona predominando laderas con pendiente muy fuerte abruptas.



Foto N°2 Dos vistas aguas abajo del valle del río Rímac, típico valle fluvial juvenil en forma de "V" de cauce angosto. Las montañas adyacentes muestran laderas con pendiente pronunciadas, mayor a 40°, en macizos rocosos volcánicos.

RELACIONADAS A ACUMULACIONES DE DEPOSITOS DE PIEDEMONTE Y PROCESOS GRAVITACIONALES: Se diferencian: Depósitos de movimientos en masa, que ocupan gran parte del área evaluada. Se diferencian acumulaciones coluviales y coluvio/deluviales, en forma depósitos de piedemonte caóticos, en ambas márgenes producidos por deslizamientos, derrumbes y caída de rocas (Fotos N°3 y 4). Se tratan muchas veces de depósitos inconsolidados acumulados

en las vertientes medias e inferiores de las laderas controlando la morfología del cauce del río. Están ocupadas actualmente por terrenos de cultivo, depósitos de relaves y la localidad de San Mateo.



Foto N°3 Acumulación de depósitos de caída de rocas en la ladera media-superior del cerro Tamboraque. Al fondo el poblado de San Mateo.



Foto N°4 Depósito de deslizamiento antiguo en la margen derecha del río Rímac, frente a la bocatoma de agua.

RELACIONADOS A LA ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Distinguiéndose principalmente: Relaveras: Son depósitos relacionados a la actividad minera pasada y los depósitos de las operaciones actuales, denominadas ampliación, canchas de relaves 1 y 2, constituyendo pasivos ambientales (Foto N° 5). Se ubican tanto en la ladera media inferior del cerro Tamboraque. Por su disposición y estabilidad presentan una topografía suave de relieve con alturas que no sobrepasan los 20 m y taludes o

frentes en dirección de la pendiente de 30-45°. Su ubicación y mantenimiento actual, implica su susceptibilidad tanto a erosión pluvial y erosión fluvial, así como generación de drenaje ácido por contacto con aguas de precipitación principalmente, por lo que se encuentran debidamente cubiertas con geomembranas. Además existe un canal de coronación para drenaje de aguas pluviales.



Foto N°5 Vistas panorámica de los depósitos de relaves antiguos y modernos de la CMSJ. En la vista inferior un detalle de estos depósitos, que muestra el relave antiguo cubierto con geomembrana (A), y el relave reciente conocidos como canchas 1 y 2 (B).

4.0 ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología es uno de los parámetros importantes al analizar la susceptibilidad de un movimiento en masa. Al evaluar las litologías presentes se tienen en cuenta su competencia geomecánica (fracturamiento) y resistencia (meteorización), así como la diferenciación de los depósitos superficiales cuaternarios, en función a su origen (coluviales, aluviales, proluviales, etc.).

Las unidades diferenciadas en la zona se basan en los estudios de levantamiento de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100,000, del cuadrángulo de Matucana, realizado por la Dirección de Geología Regional, (SALAZAR, H., 1983), así como de las observaciones de detalle realizadas en los trabajos de campo, en los afloramientos, cortes naturales y taludes.

4.1 SUBSTRATO ROCOSO

Geológicamente el substrato de la zona corresponde a una formación geológica de naturaleza volcánica denominada Grupo Rímac, que específicamente en el sector es netamente volcánica.

Los afloramientos que permiten apreciar la litología se encuentran principalmente en los cortes de la carretera central, la trocha a San José de Parac y línea férrea. Se trata de lavas andesíticas masivas y secuencias tobáceas, ambas muy fracturadas, distinguiéndose por sectores tres a cuatro familias de fracturas (Ver Fotos N°6 y 7). Se presentan algo meteorizadas.

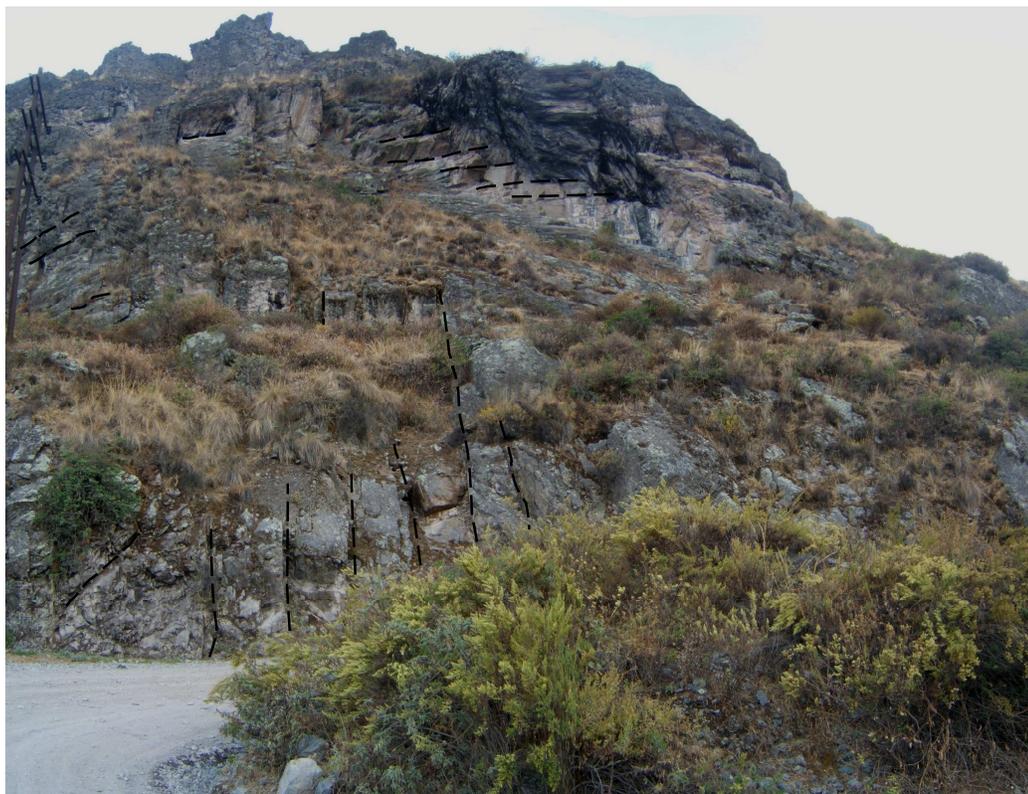


Foto N°6 Corte sobre la carretera que conduce a San José de Parac, donde se distinguen andesitas masivas fracturadas.

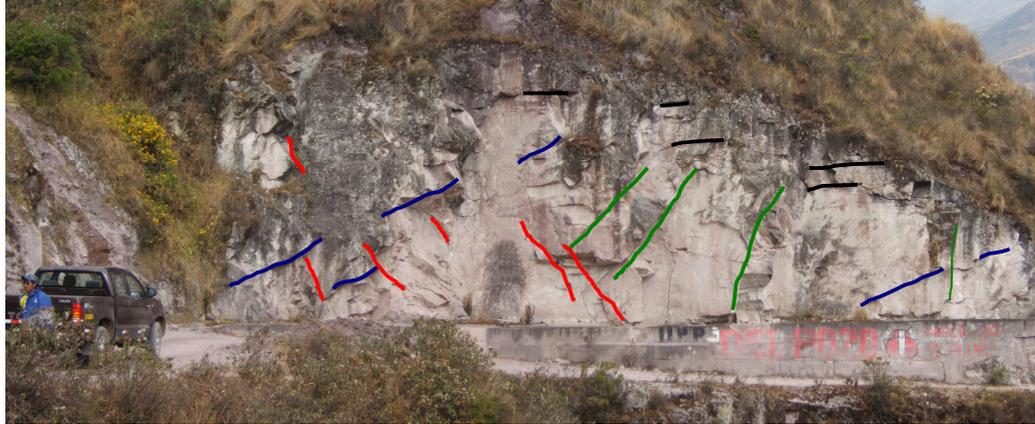


Foto N°7 Afloramiento de rocas volcánicas tobáceas , donde se distinguen hasta cuatro sistemas de fracturas en el substrato rocoso. Carretera a San José de Parac y canal de Aruri.

4.2 DEPÓSITOS SUPERFICIALES

Los depósitos inconsolidados que cubren al substrato rocoso se exponen principalmente en las laderas y en menor porcentaje en el fondo del valle del río Rímac y quebradas tributarias.

Los depósitos de vertiente o ladera se han originado por la acumulación de depósitos gravitacionales o de remoción, principalmente por caída de rocas, derrumbes y/o deslizamientos (Ver Fotos N°3, 4 y 8).

Los cortes expuestos en el pie de ladera permiten diferenciar además depósitos proluviales o de huayco en la base, que muestran bloques de roca o fragmentos más redondeados a subredondeados que indican mayor transporte, sobre los cuales se sobrepone depósitos con menos recorrido con fragmentos subangulosos (Ver Foto N° 9). También suelen presentarse horizontes o niveles netamente aluviales (Ver Foto N° 10). Su grado de cohesión es variable mostrando desde poco sueltos a compactos. Se ha agrupado en depósitos proluvio-aluviales (Ver mapa N°2)



Foto N°8 Acercamiento de depósito coluvial/deluvial en la ladera del cerro Tamboraque, donde se distingue grandes bloques de roca subangulosos.

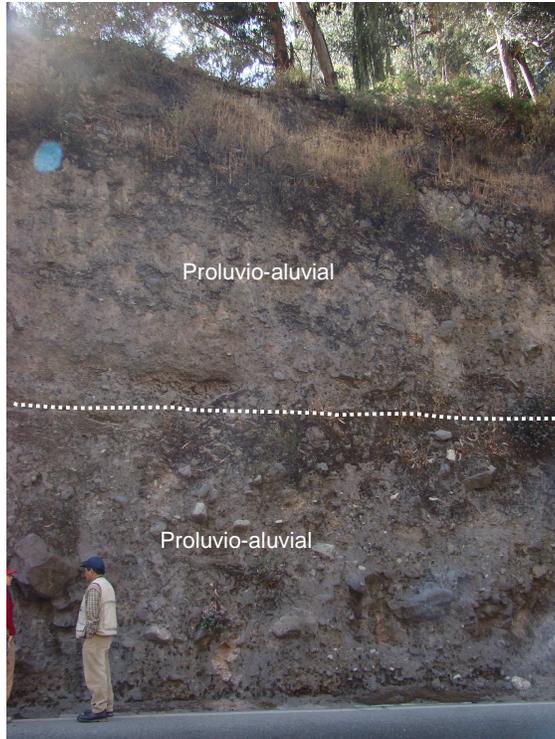


Foto N°9 Perfil en la Carretera Central que muestra dos secuencias de flujos de detritos o huaycos. En la parte inferior 3.30 m de gravas con bloques subredondeados, con diámetro mayores a 1 m, y en la parte superior 4,50 m de depósito con clastos subangulares a subredondeados

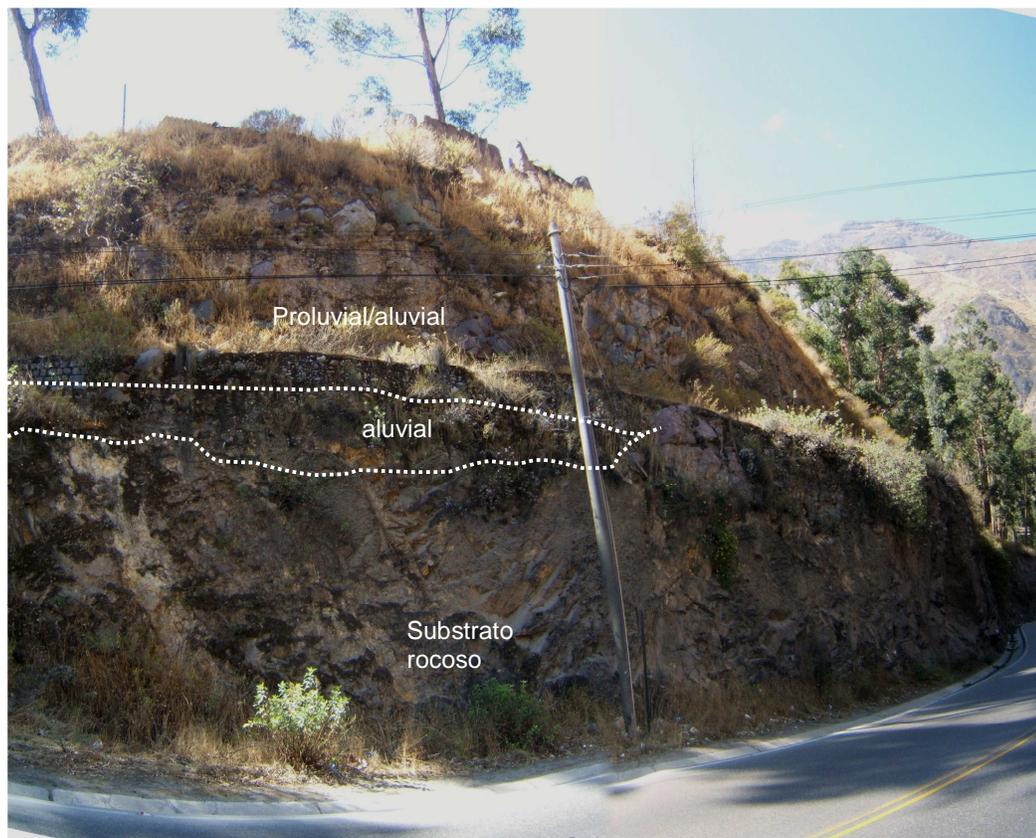


Foto N°10 Corte sobre la carretera central donde se distinguen dos niveles sobre el substrato rocoso volcánico (lavas). El nivel inferior con gravas redondeadas (aluvial), y el nivel superior un depósito proluvio/aluvial, compacto con grandes bloques en una matriz limoarcillosa .

En la ladera inmediata superior a la zona de extensión sur de los relaves, en los taludes de corte se exponen depósitos coluviales, con mezcla de fragmentos angulosos a subangulosos en una matriz limosa. Las características del suelo en general se deben a la cercanía al substrato rocoso, expuesto unos metros arriba en el talud de corte del ferrocarril y ladera (Foto N° 11).



Foto N° 11 Depósitos coluviales a coluvio-residuales, encima de la zona de extensión sur de la cancha de relaves 1-2.

Considerando el análisis de estabilidad de la ladera se consideran también los depósitos de origen antrópico o relaves presentes en el cerro Tamboraque. Los relaves están dispuestos entre las cotas 2970 y 3020 m, en el área central del problema, con un espesor promedio de 45 a 50 m de altura y corresponden al depósito de relaves denominado 1-2. Adicionalmente se tienen relaves antiguos (Relaves N° 3) en el pie de la ladera y la confluencia de la quebrada Parac al río Rímac (Ver Foto N° 5). Adicionalmente a los relaves se presentan en la ladera inferior y algunas calicatas, acumulaciones de depósitos de relleno antrópico (Foto N° 122).



Foto N° 12 Relleno antrópico en el talud y calicata 3, en la ladera inferior. Hacia el lado derecho un afloramiento del substrato volcánico

5.0 MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CERRO TAMBORAQUE

5.1 GENERALIDADES

El mapeo geológico en el área permitió diferenciar procesos de movimientos en masa antiguos y evidencias de movimientos activos, relacionados a un proceso de deslizamiento de tierras. Su interpretación se basa en las observaciones de campo, utilización de imágenes satelitales, así como la interpretación de cartas topográficas. Esto permite analizar la peligrosidad actual y futura de acuerdo a las zonas expuestas o vulnerables.

Los procesos se vienen produciendo por la dinámica propia del medio geológico y como producto de los procesos detonantes (lluvias, sismos, actividad antrópica, etc.).

5.2 EVIDENCIAS DE MOVIMIENTOS EN MASA ANTIGUOS Y RECIENTES

La cartografía geomorfológica-geodinámica de procesos activos y antiguos permitió reconocer geoformas relacionadas con procesos de movimientos en masa, en el ámbito del área (Ver Mapa N° 1). La evolución de las vertientes o laderas, las formas de depósitos de remoción y/o erosión reconocidas asociadas son:

- Grandes depósitos de movimientos en masa antiguos - pre-históricos (deslizamientos o derrumbes y movimientos complejos), cartografiables a escala 1: 20,000, en la margen derecha del río Rímac entre San Mateo y la CC HH de Huanchor, o en la quebrada Parac/Aruri.
- Depósitos de vertiente o piedemonte con formas irregulares o indiferenciadas como un proceso único, asociados a caída de rocas en ambas márgenes del valle y quebradas tributarias. La morfología, el carácter textural de los depósitos y la matriz, permiten deducir que estos depósitos en algunos casos han sido retransportados por agua de lluvia.
- Cicatrices de escarpas de deslizamientos antiguos o avalanchas de rocas, y zonas de arranque asociados a depósitos de caídas o derrumbes (Foto N° 13).
- Irregularidades en el terreno en laderas de baja a fuerte pendiente, debido a la evolución de deslizamientos muy lentos o procesos de reptación (inclinación de árboles y empuje de estructuras).
- Irregularidades o saltos de terreno activos, agrietamientos y/o asentamientos de terreno identificados en las laderas con terrenos de cultivo.

5.3 DESLIZAMIENTO EN EL CERRO TAMBORAQUE: MANIFESTACIONES

En la ladera suroeste del cerro Tamboraque, las características topográficas y morfológicas, sugieren la existencia de un deslizamiento antiguo prehistórico, desarrollado entre la cota 3190 (superior), y 2935 (inferior). Presenta una forma triangular, con ápice en la escarpa, que se abre hacia ambos lados, existiendo un límite izquierdo el substrato rocoso. En la parte superior los lados, izquierdo y

derecho están limitados en roca, la cual puede apreciarse en los cortes de la línea del ferrocarril. El cuerpo muestra una superficie ligeramente cóncava en la parte superior, y una pendiente promedio de 38° en la parte superior (Foto N°13).



Foto N°13 Escarpa y cuerpo de deslizamiento antiguo. En este sector se ha colocado un piezómetro-inclinómetro.

Como resultado de la interacción de estos factores aunados a las características del relieve, actualmente se tienen los siguientes procesos geológicos que evidencian la existencia de un deslizamiento: Agrietamientos en las laderas naturales, plataformas de la línea férrea, estructuras de concreto, relaves.

AGRIETAMIENTOS Y ASENTAMIENTOS: Se presentan agrietamientos en la zona, desde la parte más superior hacia el pie de la ladera en:

- **En terrenos de cultivo:** En la cota 3058 m, se aprecia una grieta de 52 m de longitud, con dirección $N205^\circ$, abertura entre 0,8-0,10 m, con profundidades máximas de 1,00 a 1,20 m (Foto N°14), y desplazamiento vertical de 0,11 m.
- **La Cancha de Relaves 1 y 2:** presenta agrietamientos tanto en la berma intermedia y el pie del talud sur y norte. El talud sur muestra una grieta con 0,10 m de abertura y 0,30 m de profundidad (Fotos N°15 y 16).
- **Tramos del ferrocarril:** En los rieles inferior y superior a la Cancha de Relaves 1 y 2 y canal de coronación. La plataforma del riel superior, en la cota 3040, muestra una grieta principal de 36 m de longitud con dirección $N174^\circ$, una abertura de 0,11 m, y su desplazamiento vertical de 0,5 m (Foto N° 17). Este sector puso en evidencia el proceso de deslizamiento. Esta grieta continua tanto hacia el borde libre del talud inferior, como hacia el talud superior de la plataforma del ferrocarril. Los agrietamientos se presentan en forma discontinua hacia el lado norte, sobre la plataforma del ferrocarril, que siguen un rumbo paralelo a la dirección, aproximadamente $N 8^\circ$. Su longitud es de 0,11-0,12 m, con desplazamiento horizontal o abertura de 0,7 m, desplazamiento vertical de 0,16 m, mostrando una profundidad de 0,44 m. Paralelo a este, a unos 4,40 m se tiene otro agrietamiento, a 2,50 m de la cara libre Foto N°18).



Foto N°14 Dos vistas en la zona de inicio de agrietamientos y asentamientos, que sugieren la activación de deslizamiento.



Foto N°15 Agrietamiento mostrado en el talud sur de la cancha de relaves 1 y 2.



Foto N° 16 Grietas presentadas en la berma intermedia de la cancha de relaves 1 y 2.



Foto N° 17 Riel superior, encima de la cancha de relaves 1 y 2, donde se evidenciaron los primeros agrietamientos del terreno. Nótese en la vista de acercamiento el punto de control topográfico (foto derecha), el asentamiento o desplazamiento vertical.



Foto N° 18 Agrietamientos menores en el lado norte, riel superior de la cancha de relaves 1 y 2.

- **Extensión sur de la Cancha 1 y 2:** Una plataforma donde se están trasladando los relaves de las Canchas 1 y 2, se ubica en el sector sur. Su talud superior muestra unos agrietamientos que se prolongan sobre el corte de la plataforma superior y continúan aparentemente hacia la ladera natural, continuando hacia el tramo de riel superior. Evidencias de movimiento se distinguen en la pared superior que colinda a la zona de extensión, a manera de pequeños derrumbes hacia la cara libre (Foto N° 19 y 20).



Foto N° 19 Vista panorámica de la Zona de extensión sur que muestra zonas de arranque o empuje en las caras libres.



Foto N°20 Acercamiento de una zona de derrumbes en el talud superior en la zona de extensión sur.

Los suelos están compuestos por depósitos coluviales gravo-arcillosos, con clastos angulosos en matriz fina. Asimismo en la plataforma superior inmediata, existen tres grietas paralelas de dirección promedio N°7°W, con aberturas de 0,2 a 0,3 m (Foto N°21).



Foto N°19 Agrietamientos pequeños en la plataforma superior a la zona de extensión sur.

Este conjunto de grietas se asocia con otras, ubicadas en el extremo sur, en donde sobre ladera natural se tiene 50 m longitud de agrietamiento irregular, con desplazamientos horizontales del orden de 0,10 a 0,22 m, desplazamientos verticales entre 0,7 y 0,16 m y la profundidad de la grieta principal varía entre 1,10 y 1,60 m (Ver Fotos N°22, 23 y 24).



Foto N°22 Asentamientos de terreno en la ladera su perior de la zona de extensión sur.



Foto N°23 Prolongación de los agrietamientos en la parte superior de la extensión sur de los relaves que afecta tramo de la línea férrea.



Foto N° 24 Detalle de la vista anterior en el pie de ladera, encima de la plataforma del riel, donde se pueden apreciar las grietas en el terreno.

- **Instalaciones de la Planta Concentradora:** La planta concentradora y en el general el sector comprendido entre la línea férrea y la carretera central, ubicada en la ladera inferior adyacente a los relaves antiguos y cachas 1 y 2, mostró algunos deformaciones superficiales, en las estructuras de concreto, principalmente con agrietamientos o rajaduras (Ver Foto N° 25). Los daños mayores se aprecian en las estructuras de concreto.



Foto N°25 Varias vistas de agrietamientos (grietas de tracción), en el sector de la planta concentradora.

EMPUJES Y MOVIMIENTOS DEL TERRENO: En varios sectores de la ladera, pueden apreciarse empujes de terreno, ya sea derrumbes hacia cara libre (Fotos N° 19, 20, 27, 29 y 30), empuje en estructuras de contención o muros (Foto N°26 y 27), inclinación de árboles en dirección de la pendiente (Fotos N°28), que corroboran el movimiento del terreno.

Esto sugiere el “movimiento lento” de la cobertura superficial que constituye parte del cuerpo de un deslizamiento antiguo - prehistórico, que probablemente fue desencadenado por presencia de agua y el recremento de los relaves.



Foto N°26 Empuje y agrietamiento en un muro del ca nal de corona.



Foto N°27 Empuje de terreno sobre un muro de mampo stería de piedra en el riel inferior a la cancha de relaves 1 y 2.



Foto N°28 Inclinación de árboles que evidencian re ptación y movimiento de la cobertura superficial en la ladera superior a la cancha de relaves 1 y 2.



Foto N°29 Pequeño derrumbe en la cara libre de tal ud en relleno artificial adyacente a la garita de ingreso a la CMSJ.



Foto N°30 Empujes de terreno en el sector del canal de coronación. Nótese la inclinación de los árboles y del poste del reflector, así como del material coluvial.

5.4 OTRAS MANIFESTACIONES GEODINÁMICAS EN LAS LADERAS DEL CERRO TAMBORAQUE

En el recorrido efectuado en los trabajos de campo, se pudieron diferenciar otros sectores con evidencias de procesos geodinámicos. Los principales procesos son derrumbes en las caras libres, reptación en la ladera superior, en los cortes de carretera que conduce hacia San José de Parac. Los procesos ocurren sobre suelos coluviales. Ejemplos de estos procesos se muestran en la foto N° 31. También se diferencian sectores con evidencia de deslizamiento antiguo.

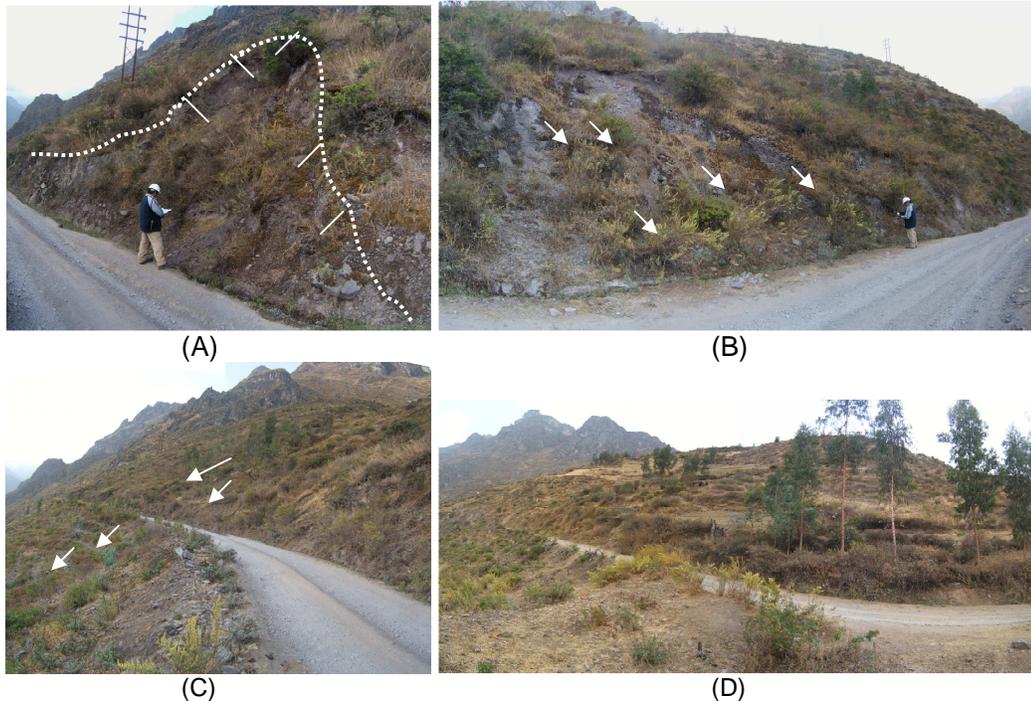


Foto N° 31 Eventos de derrumbe (A), reptación (B y C), y deslizamiento (D), en la ladera superior del cerro Tamboraque.

5.5 CAUSAS QUE ORIGINARON LAS DEFORMACIONES EN LAS LADERAS DEL CERRO TAMBORAQUE

Los procesos de inestabilidad en la ladera del cerro Tamboraque tienen como **factores condicionantes**:

- Características de las formaciones superficiales o suelos de regular espesor, poco a medianamente consolidados (suelos coluviales), con poca o nula cobertura vegetal.
- Presencia de suelos cohesivos, ubicados debajo de la relavera antigua, (arcillas inorgánicas de alta plasticidad), susceptibles a formar planos de resbalamiento o deslizamiento.
- Pendiente natural de las laderas (fuerte a muy fuerte).
- Modificaciones de los taludes hechos tanto en los cortes de carreteras (carretera central, vía férrea, operaciones mineras, etc.), generando empujes hacia las caras libres.
- Presencia de nivel freático.
- Naturaleza litológica del substrato relacionado a su grado fracturamiento (rocas volcánicas), que permite además la infiltración de aguas pluviales.
- Existencia de depósitos superficiales antiguos de regular espesor, producto de deslizamientos antiguos o prehistóricos. Observándose escarpas de deslizamientos o derrumbes, reactivados en algunos sectores.

Como **factores detonantes** o desencadenantes tenemos:

- Infiltración de aguas de riego en suelos permeables, proveniente de los terrenos adyacentes.
- Sobrecarga de depósitos de relaves (recrecimiento de la relavera 1-2).
- Carga dinámica producida por el paso del ferrocarril (aproximadamente 150 Ton por vagón).
- Lluvias de gran intensidad – corta duración, o de de moderada intensidad – larga duración, ocasionan el incremento de la presión intersticial, las fuerzas de filtración y del peso unitario de los materiales.

6.0 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Una de las causas principales para la generación de los deslizamientos es que la masa deslizante se encuentra constituida por un material heterogéneo, no consolidado, que facilita la saturación con agua y aumenta el proceso de inestabilidad. En la parte alta del cerro Tamboraque se encuentran rocas volcánicas que se constituyen acuíferos fisurados de alta permeabilidad.

Regionalmente el factor de recarga que tiene el agua subterránea es la precipitación pluvial y puntualmente son varios factores, entre ellos: los canales sin revestimiento, los reservorios rústicos, las zonas agrícolas, etc.

El agua subterránea que es parte de la precipitación, se filtra a través de las fracturas de las rocas y los poros del suelo hasta llegar al material que la almacena y se satura. El movimiento del agua en el subsuelo es generalmente lento, con dirección hacia los niveles bajos, en ángulos inclinados (debido a la gravedad); sin embargo en zonas donde la circulación es por medio de fracturas mayores la velocidad aumenta. La manifestación visible de la presencia de aguas subterráneas son los manantiales, estos surgen a la superficie por medio de las fracturas de las rocas o condicionadas por la materiales impermeables.

6.1 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.

Para el reconocimiento de unidades acuíferas en el área de estudio que tengan influencia con las zonas inestables se realizó un inventario de puntos de aguas. Donde se identificaron 04 manantiales y numerosas fuentes que se encuentran saturando el suelo a niveles de aniego o humedad. Dos de estas fuentes fueron consideradas para el presente análisis.

Los manantiales tienen caudales de descarga de 1 a 3 l/s y son típicos de acuíferos fisurados volcánicos.

CUADRO N° 3: INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Identificación		Coordenadas			Caudal (l/s)
Nombre	código	Este	Norte	Cota (msnm)	
Manantial Aruri	M-01	359424	8697356	3438	1.00
Manantial Chucllapampa	M-02	358931	8698012	3486	1.00
Manantial Soccocha	M-03	358446	8697734	3235	1.20
Manantial Captación Tamboraque	M-04	358175	8697803	3110	3.00
Fuente	F-01	358043	8697886	3048	Humedad-Goteo
Fuente	F-02	358062	8697766	3053	Humedad-Goteo

Manantial Aruri (M- 01), se encuentra muy cerca de la carretera a San José de Parac y aflora en la margen derecha del canal Aruri. Este manantial tiene una producción de 1.00 l/s; surge como tributario a la quebrada adyacente al río Rimac. Sin embargo este manantial y otras surgencias de agua son captadas por el canal Aruri y transportada paralela a la carretera hasta un reservorio nocturno, que se ubica en la parte alta superior a los depósitos de relaves. Cuando este manantial llega al reservorio tiene un caudal de 3.00 l/s, producto de las numerosas surgencias que recolecta el canal. El reservorio de almacenamiento tiene una capacidad de almacenamiento de 600 m³ desde donde se distribuye a las áreas agrícolas.



Foto N° 32 Manantial Aruri (M-01), surge al lado de la carretera a San José de Parac. Nótese las direcciones de flujo.



Foto N° 33 Surgencias de agua que alimentan el canal Aruri con dirección al reservorio de almacenamiento.



Foto N° 34 Reservorio de almacenamiento con capacidad de 600 m³, desde donde se distribuye aguas para el riego (vista tomada el 21 de agosto del 2008).

Manantial Chucllapampa (M-02) El manantial Chucllapampa (M-01) se encuentra ubicada en la parte alta a 3486 msnm, surge entre las fracturas de rocas volcánicas (lavas andesitas) en contacto con el material coluvial con una producción de 1 l/s. En superficie; las aguas de este manantial circulan por un canal rustico (sin revestimiento) que por la naturaleza del material (permeabilidad alta) infiltran en el subsuelo alimentando al acuífero fisurado volcánico (foto N° 35).



Foto N° 35 (A) Manantial Chucllapampa (M-02) caudal de producción 1.00 l/s, (B) circulación del agua por canal rustico, infiltrando en el subsuelo.

Manantial Soccocha (M-03), tiene una producción de 1.20 l/s, aflora entre las rocas volcánicas fisuradas y los depósitos coluviales, las aguas de este manantial previenen del acuífero fisurado volcánico y sirven para el riego y consumo humano de una cabaña que se encuentra en las inmediaciones. Las aguas de este manantial se almacenan en un reservorio rustico; sin revestimiento, desde donde se distribuye para el riego de las áreas agrícolas.

Este reservorio es un punto de recarga permanente del acuífero fisurado y del acuífero poroso no consolidado coluvial y posiblemente de la masa deslizada donde se ubican los depósitos de relaves de la compañía minera San Juan.



Foto N° 36 (A) Manantial Soccocha (M-03), producción de 1.20 l/s. utilizado para la alimentación y agricultura.



Foto N° 37 Reservorio rustico; sin revestimiento impermeable. Almacena las aguas del manantial Soccocha. Desde el punto de vista hidrogeológico es un punto de recarga de acuíferos y por encontrarse en la parte superior de la zona deslizada interpretamos que tiene gran influencia en la reactivación del deslizamiento.

Manantial Captación Tamboraque (M-04), Este manantial es el de mayor producción (3.00 l/s), surge a superficie entre el contacto de las rocas andesitas fisuradas y el material poroso no consolidado aluvial. Este manantial se encuentra captado en forma muy simple, y se utiliza diversas actividades de la zona de relaves.



Foto N° 38 Manantial Captación Tamboraque producción de 3.00 l/s. Nótese la precariedad de la construcción.

Otras Fuentes (F-01 y F-02), Se ubican muy cerca de la línea férrea, si bien no presentan un caudal considerable que pueda ser medido, se observa la saturación en el suelo que evidencia los niveles de superficiales de aguas subterráneas.



Foto N° 39 (A) Fuente (F-01) nótese la saturación del suelo al costado de la vía férrea.
(B) fuente (F-02) saturando la pared lateral del de la línea férrea

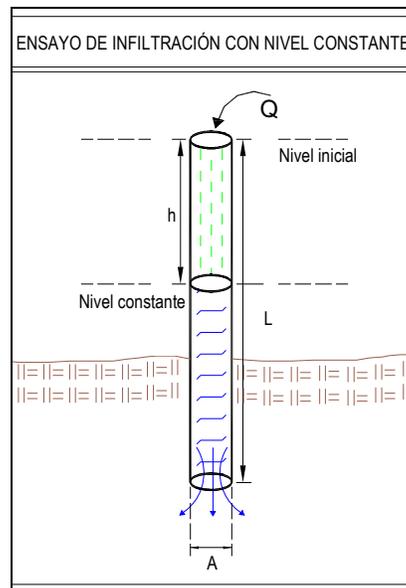
6.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

La productividad de un acuífero depende de las características hidrogeológicas de los materiales, estas se encuentran ligadas a las propiedades físicas de la roca almacén que determinan valores como permeabilidad, transmisibilidad, porosidad eficaz, coeficiente de almacenamiento y gradiente hidráulico.

En la parte alta; a la altura del manantial Chucllapampa (3400 msnm); donde se encuentran los acuíferos volcánicos fisurados se han medido la permeabilidad superficial mediante ensayos puntuales de infiltración.



Foto N° 38 Ensayo de Infiltración en los acuíferos volcánicos fisurados con carga constante.



El ensayo de infiltración nos ha permitido calcular la permeabilidad superficial; el factor principal que permite el almacenamiento y circulación de aguas subterráneas. La permeabilidad que tiene el acuífero volcánico es la permeabilidad adquirida por el intenso fracturamiento. En acuíferos fisurados volcánicos la dirección de flujo de agua es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas o fallas. Estas grandes estructuras van a aumentar considerablemente la circulación del agua subterránea en las rocas volcánicas.

Para los materiales geológicos consideramos la permeabilidad vertical (infiltración) y la permeabilidad horizontal (flujo de agua).

CUADRO N° 4: Calculo de la permeabilidad en el sector Chucllapampa

N°	Interv. Tiempo (s)	Descenso (cm)	$V = S \times Desc$ (cm ³)	Q (infil) (cm ³ /s)	Q (infil) (l/s)	K (cm/s)	K (m/día)
1	300	26.00	526.9770	1.75659	0.00176	0.087	74.880
2	300	19.20	389.1522	1.29717	0.00130	0.064	55.296
3	300	17.90	362.8034	1.20934	0.00121	0.060	51.552
4	300	16.50	334.4277	1.11476	0.00111	0.055	47.520
5	300	15.50	314.1594	1.04720	0.00105	0.052	44.640
6	300	15.50	314.1594	1.04720	0.00105	0.052	44.640
7	300	15.50	314.1594	1.04720	0.00105	0.052	44.640
8	300	15.50	314.1594	1.04720	0.00105	0.052	44.640

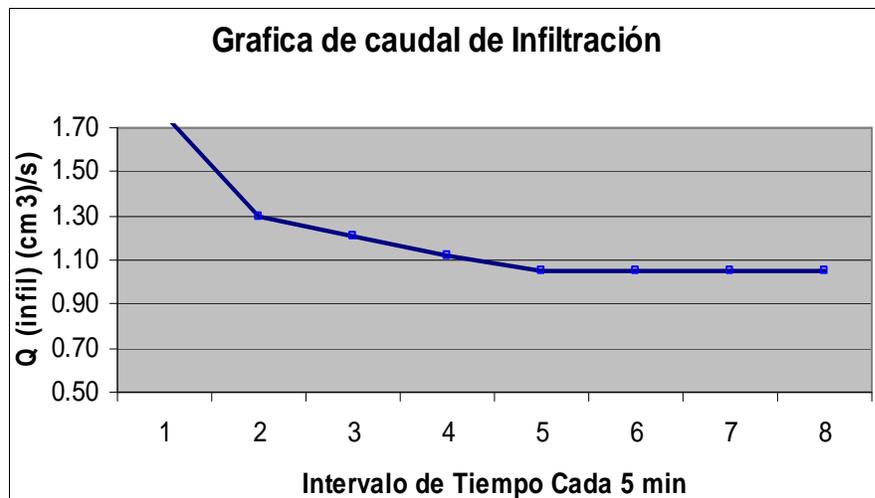


FIGURA N° 2 Variación de la infiltración superficial en los acuíferos volcánicos sedimentarios del Grupo Rimac.

La principal fuente de recarga de los acuíferos fisurado y poroso no consolidado coluvial constituye la precipitación pluvial, esta infiltra en la rocas volcánicas fisuradas del Grupo Rimac con una permeabilidad muy alta y descarga en los manantiales, calicatas y piezómetros de la parte baja.

Según el cuadro N° 04 y la figura N° 02 la permeabilidad superficial de las rocas volcánicas andesititas es de 44.64 m/día.

6.3 PIEZOMETRÍA

Para interpretar la dirección de flujos de las aguas subterráneas a través de los acuíferos fisurados volcánicos se realizó los cálculos piezométricos a partir de los puntos de aguas, la mayor parte de información se tiene en el área de la masa deslizada. La dirección de flujo principal y la dirección de los flujos secundarios, tienen dirección preferencial de este a oeste, con dirección a la pendiente.

Los manantiales Chucclapampa (M-02), Soccocha (M-03) y la Captación Tamboraque (M-04) que se encuentran en la parte superior se encuentran alineados con la dirección de flujo piezométrico principal. Lo cual interpretamos que existe un lineamiento o fractura principal que direcciona los flujos de aguas subterráneas.

Para el monitoreo y control de los niveles dinámicos del agua se tomó información de los piezómetros y calicatas que se encuentran en los depósitos de relaves y dentro de la masa deslizada.

CUADRO N° 5: Monitoreo y control piezométrico realizado el 22/08/2008

CODIGO	PUNTO DE CONTROL	COTA FONDO	COTA TERRENO	PROFUNDID. TOTAL	NIVEL PIEZOMETRICO 22/08/2008
P-6	Piezómetro	2989.821	3004.151	14.33	2.460
I-4	Inclinómetro	2953.708	3003.998	50.29	0.635
P-5	Piezómetro	2989.369	3004.299	14.93	0.000
P-4	Piezómetro	2989.548	3004.028	14.48	0.000
I-1	Inclinómetro	2944.575	3004.215	59.64	0.785
I-8	Inclinómetro	3012.965	3057.095	44.13	0.050
I-9	Inclinómetro	2997.000	3066.000	69.00	0.440
I-7	Inclinómetro	2937.528	2970.138	32.61	0.665
I-3	Inclinómetro	2910.781	2949.951	39.17	26.400
I-2	Inclinómetro	2938.798	2971.008	32.21	0.000
I-6	Inclinómetro	2934.891	2960.9491	26.0581	0.100

Fuente: SVS, Ingenieros S.A.C, Agosto del 2008.

De acuerdo al Cuadro N° 5 la dirección de flujo principal se encuentra en el Inclinómetro I-3, sin embargo se han observado niveles más productivos en las calicatas C-06, C-7, C-3 y C-4 (ver mapa hidrogeológico; Mapa N°3).

Según el control de calicatas que realiza la empresa SVS, Ingenieros S.A.C; los caudales extraídos de las calicatas van desde 3.00 l/s (mayo, 2008) hasta 1.75 l/s (agosto, 2008), evidenciando la dirección de flujo preferencial subterráneo a la altura de la calicata C-06 y el piezómetro I-3.

Las calicatas que se encuentran por debajo los depósitos de relaves tienen niveles productivos de aguas subterráneas, el nivel actual alcanzado es tienen un promedio de 2.5 metros en promedio con respecto a la superficie.

Los materiales observados en las calicatas corresponden a horizontes permeables (gravas y bolones de matriz limo arena arcilla) e impermeables (arcilla plástica de color rojizo) que condicionan las surgencias de aguas dentro de las calicatas.



Foto N° 39 (Izq.) Control piezométrico en el inclinómetro I-3; (Der.) Calicata C-06, Nótese el nivel piezométrico de la calicata, las aguas de esta calicata son bombeadas cada 3 horas para el desfogue de los niveles saturados.

6.4 HIDROQUÍMICA

Para una mayor certeza en la interpretación de la procedencia de las aguas, se han tomado muestras de aguas de tres manantiales seleccionados (Cuadro N° 06), con el objetivo de determinar los parámetros físicos químicos (elementos iónicos mayoritarios disueltos en el agua; cationes: calcio magnesio, sodio y potasio; aniones: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos), así mismo se realizó la medida in situ de los parámetros físicos como son temperatura, conductividad eléctrica, pH y el total de sólidos disueltos.

Las concentraciones se encuentran en mg/l; los cuales nos ayudarán a determinar la calidad e interpretar la procedencia de las aguas.

CUADRO N° 6: Manantiales seleccionados para la toma de muestras

NOMBRE DEL MANANTIAL	CODIGO	PARAMETROS FISICOQUÍMICOS			
		PH	CE (mS)	TDS (ppt)	T (°C)
Manantial Chucllapampa	M-02	7.5	0.26	0.13	12
Manantial Soccocha	M-03	7.9	0.39	0.19	14.6
Manantial Captación Tamboraque	M-04	7.9	0.47	0.2	14.1

Uno de los parámetros más importantes en la toma de muestra in situ es el pH. En los manantiales inventariados (ver cuadro N° 6) se observa que el pH es neutro entre 7.5 y 7.9, estos valores corresponden a aguas de precipitación pluvial.

La conductividad eléctrica y el TDS de estas aguas son bajas, el cual nos indica que se encuentran con poca concentración de sales.

La temperatura es de estas aguas son bajas producto de la corta infiltración que tuvieron estos manantiales.

Con los parámetros fisicoquímicos tomados en campo interpretamos que las aguas en estos manantiales proceden de la precipitación pluvial que tuvo ligera infiltración en las rocas volcánicas fisuradas y surgen a la superficie por medio de fracturas en contacto con depósitos cuaternarios coluviales.

CUADRO N° 7: Aniones y cationes mayoritarios

Pto. de Control	Cationes					Aniones			
	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Total	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Total
M. Chuclpampa	39.10	2.57	3.70	0.40	45.77	83.00		24.00	107.00
M. Soccocha	51.60	7.69	5.80	1.20	66.29	97.00		80.00	177.00
M.C. Tamboraque	55.50	6.33	8.90	0.80	71.53	98.00			98.00

De las tres muestras analizadas, la familia predominante es el Cálculo Bicarbonatada las cuales (ver cuadro N° 8), se ve que pertenecen a la secuencia normal de un agua joven (Chavotarev). El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su presencia en rocas volcánicas y sedimentarias.

Esto quiere decir que corrobora la teoría que estas aguas proceden de la precipitación pluvial y tiene corto recorrido dentro de las fisuras de las rocas volcánicas andesíticas.

7.0 PELIGRO SISMICO EN TAMBORAQUE

7.1 GENERALIDADES

Perú está ubicado en la costa occidental de América del Sur, y su entorno tectónico está influenciado por el desplazamiento y la fricción de las placas de Nazca y Sudamericana dentro del proceso de subducción, que ocasiona entre otros aspectos, sismos de diferente magnitud a diversos niveles de profundidad. Estos sismos son parte de la principal fuente sismogénica en nuestro país. Una segunda fuente la constituye la zona continental cuya deformación produce la formación de fallas con la consecuente ocurrencia de sismos de magnitudes menores en tamaño (Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001).

Los sismos son una de las mayores causas de la ocurrencia de movimientos en masa. Keefer (1994), señala, en relación a la magnitud de un sismo, que las caídas y deslizamientos de rocas son disparados con magnitudes locales de 4.0 M_l y las avalanchas con magnitudes locales de 6.0 M_l . En función de la intensidad sísmica, otros autores concluyen que la intensidad mínima para generar caídas es VI; para deslizamientos, y flujos VII, siendo la intensidad más baja para cualquier MM IV. Otro de los parámetros usados en estas relaciones además de la magnitud e intensidad es la aceleración sísmica.

A continuación se presenta una revisión y análisis de la sismicidad histórica e instrumental en el área de influencia de Tamboraque. El importante número de sismos presentes, nos ha permitido poder realizar estimaciones de las aceleraciones máximas esperadas para un periodo de 30, 50 y 100 años, así como conocer las posibles intensidades que podrían afectar al lugar y principalmente la zona de Relaves de Tamboraque.

7.2 SISMICIDAD HISTORICA

La información sobre la sismicidad histórica del Perú se basa principalmente en el detalle efectuado por Silgado (1978) y se presentan en el Cuadro N°8.

CUADRO N°8: DATOS MACROSÍSMICOS OCURRIDOS EN EL ÁR EA DE INFLUENCIA AL SECTOR DE ESTUDIO

FECHA	LOCALIDADES	INTENSIDAD	OBSERVACIONES
1555-11-15	Lima	VII	El más fuerte temblor, desde su fundación. Causó muchos desperfectos en sus edificaciones.
1568-04-04	Lima	IX	Por la tarde, se sintió en Lima un fuerte temblor. No ha quedado registro de daños materiales. Sismo se sintió en Ica y otros puntos.
1581	Lima	X	Un gran temblor afectó las casas de la ciudad. La fecha exacta no es desconocida.
1582-08-15	Lima	VII	Fuerte temblor durante la celebración del Concilio Provincial.
1584-03-17	Lima	VII	Averió edificios. Hubo necesidad de reparar y apuntalar edificios en desplome. Por dos días quedó temblando la tierra contándose de 8 a 9 mo
1586-07-09	Lima- Ica- Trujillo	VI- IX	Destruyó Lima. 14 a 22 víctimas. Se cayeron principales edificios y otros fueron muy afectados. Derrumbe de peñascos y rocas del cerro San Cristóbal y de otros en la parte alta del valle. Destrucción en los valles cercanos a Lima, y la villa de Valverde en Ica. Tsunami anegó gran porción de la costa. En el Callao, el mar inundó parte del pueblo.
1609-10-19	Lima	VII	Derribó y arruinó muchas edificaciones. En la catedral, en construcción, hubo que demoler sus bóvedas de ladrillo y labrar otras de crucería.
1630-11-27	Lima	VII	Causó varios muertos y contusos. El diario de Lima estimaba los daños causadas a los edificios en mas de un millón de pesos.
1655-11-13	Lima - Callao	VIII – IX	Derribó casas y edificios en Lima; grietas en la Plaza Mayor y en el convento de Guadalupe. Graves daños en cárcel de la isla San Lorenzo.
1678-06-17	Lima- Callao	VII	Averió muchas edificaciones en Lima entre ellas el Palacio del Virrey. Reparaciones en el orden de tres millones de pesos. Estragos en el

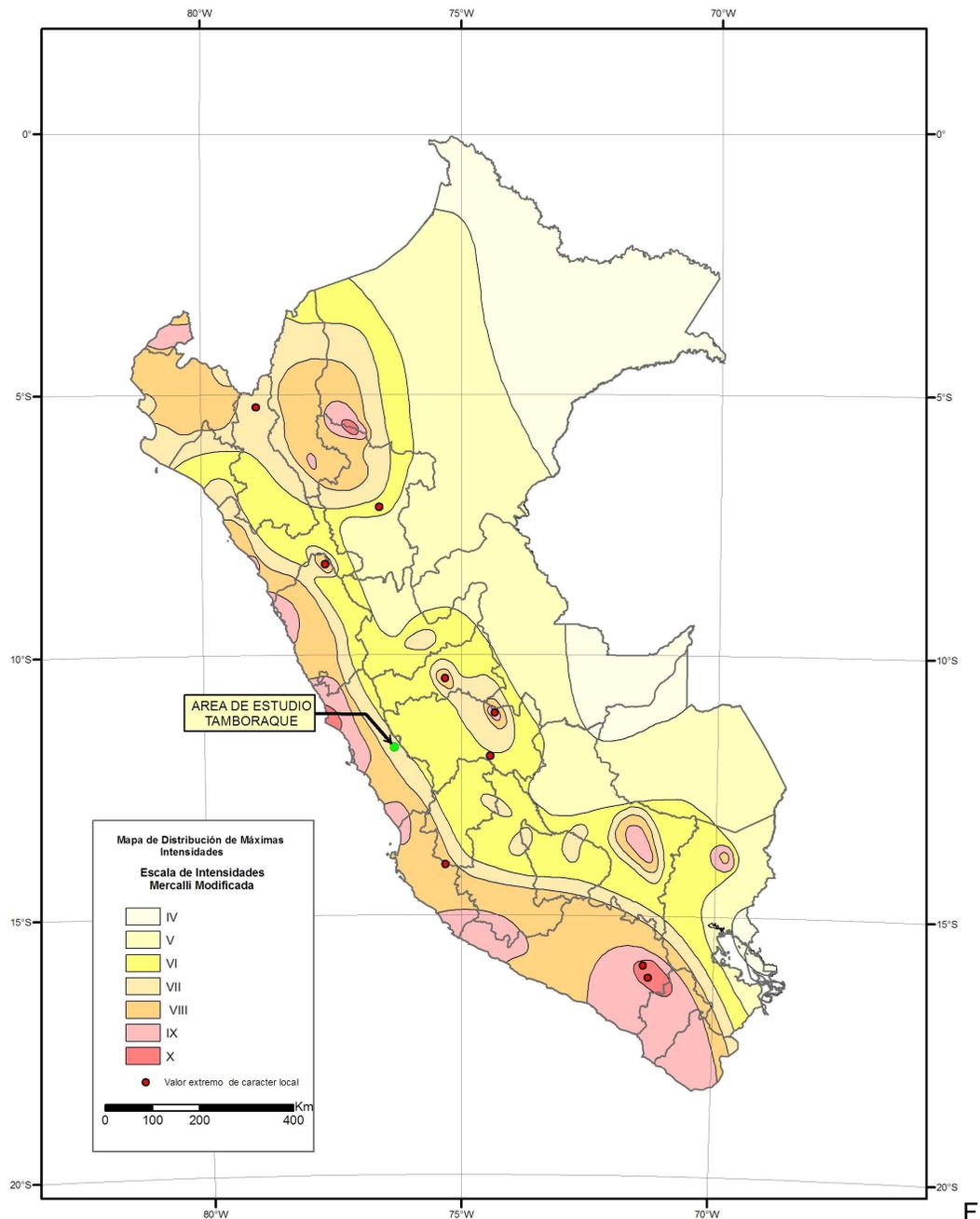
			Callao. Nueve muertos en Lima, Callao y Chancay.
1687-10-20	Lima – Callao Ica- Cañete	VII – VIII- IX	Ocasión cerca de 100 muertos. Los estragos fueron grandes en el puerto del Callao y alrededores, hasta 700 km al sur de Lima. Entre Ica y Cañete, se formaron grandes grietas de muchos kilómetros de extensión.
1690-11-20	Lima		Gran temblor arruinó edificios y templos de la ciudad que habían quedado en pie luego del sismo de 1687.
1699-07-14	Lima	VII	Fuerte temblor en Lima. Derribó algunas casas.
1732-12-02	Lima		Recia sacudida de tierra en Lima, maltrató muchos edificios.
1746-10-28	Lima - Callao	X- XI	Terremoto en Lima, y tsunami en el Callao. En Lima de las 3 000 casas existentes sólo 25 quedaron en pie. Murieron 1141 personas de un total de 60 000; se desataron epidemias luego del desastre.
1828-03-30	Lima		Grandes daños en los edificios y viviendas, calculándose las pérdidas en 6 millones de pesos. 30 muertos y numerosos heridos. Sufrieron el puerto del Callao, Chorrillos y Chancay, Huarochirí y San Jerónimo.
1897-09-20	Lima		Destrucción en Lima y Callao. En el interior sufrieron las edificaciones de Huarochirí y hubo derrumbes de las partes altas.
1904-03-04	Lima	VII- VIII	En Lima cayeron cornisas, paredes antiguas y se agrietaron las torres de la catedral; en el Callao y Chorrillos no quedó casa sin rajadura. En Matucana hubo desprendimiento del material meteorizado de la parte alta de los cerros y agrietamientos en las viviendas. En Pasamayo, fueron profusos los deslizamientos en los acantilados de arena.
1909.04.12	Región Central del país	VI	Conmovió la región central del país. En la costa fue percibido desde Salaverry a Ica. En Lima fue de grado V en la hacienda Andahuasi, Huacho causó averías en la Matucana mayores daños.
1932-01-19	Lima	V - VII	Hizo caer cornisas, tapias y paredes viejas. En el Callao el temblor ocasionó diversos daños en las edificaciones. Se sintió fuerte en Huacho, ligeramente en Cañete, Chincha, Ica, Pisco, Trujillo y Chiclayo.
1933-08-05	Lima		Deterioros en las casas antiguas de la ciudad. Rotura de vidrios en la ciudad de Ica. Fue sentido entre Huacho y Pisco a lo largo de la costa.
1940-05-24	Lima	VII – VIII	Destrucción de muchas edificaciones en Lima, Callao, Chorrillos, Barranco, Chancay y Lurín. 179 muertos y 3500 heridos, estimándose los daños materiales en unos 3 600 000 soles oro.
1945-06-15	Lima		Causó rajaduras en las construcciones modernas del barrio obrero del Rimac. Sentido desde Supe hasta Pisco por la costa. En Canta, Matucana, Morococha, Casapalca y Huaytará en el interior.
1951-01-31	Lima	VI – VII	Rajadura vertical en la fachada de un edificio de la Plaza San Martín. El Observatorio de Lima, registró aceleraciones máximas de 68 cm/seg ² , con períodos de 0,1 seg. en las componentes horizontales.
1952-08-03	Lima- Callao	V – VI	Sentido en todo Lima. Se registró una aceleración máxima de 21 cm/seg ² , con período de 0,2 segs. en sus componentes horizontales.
1954-04-21	Lima	VI	Ligeros desperfectos en las antiguas construcciones de adobe de Mala, Cañete y San Antonio. En Lima se registró una aceleración máxima de 25 cm/seg ² , con períodos de 0,1 seg. Derrumbe en el sector Pacasmayo y en el talud de falla de Jahuay (km 184 de la carretera sur).
1955-02-09	Lima		Diez personas accidentadas. Aceleración promedio 27 cm/seg ² con períodos de 0,2 seg. Desprendimientos en los barrancos de los balnearios y en el sector de Pasamayo al N. de Lima; ligeramente destructor para los edificios y viviendas de la ciudad de Cañete.
1957-02-18	Huarmey - Chincha	IV – V	En las cercanías de Sayán, en el río Huaura, deslizamientos de grandes bloques de piedras rompieron muro de contención de un canal de irrigación. Derrumbes de arena en Pasamayo. En Canta la intensidad fue ligeramente superior al grado V, lo mismo que en Huacho.
1966-10-17	Lima	VIII	Cien muertos y muchos daños materiales. Destructor en la franja entre Lima y Supe. La aceleración registrada en Lima acompañada de períodos dominantes del orden de un décimo de segundo. La amplitud máxima fue de 0,4 g., entre ondas de aceleraciones menores de 0,2 g. En la Hda. San Nicolás a al N. de Lima, numerosas grietas con surgencia de agua amarilla. Derrumbes en el km 51 de la Panamericana, y el km 22 de la carretera Central. Deslizamientos en los acantilados de Chorrillos, Miraflores y Magdalena.
1970-05-31	Costa de Lima – Ica	V – VI	Uno de los más catastróficos terremotos en la historia del Perú, se sintió en casi toda la costa del Perú hasta las cordilleras, con diferentes intensidades. Al Sur y ESE fue de grado VI MM en Lima.
1972-06-19			Ligeros desperfectos en el centro de Lima. Alarma en Mala y Cañete. Por el Norte se sintió en Chancay y Huacho.
1974-10-03	Lima	VII- VIII	78 muertos, unos 2 500 heridos y pérdidas materiales estimadas en unos 2 700 millones de soles. En Lima metropolitana daños en las iglesias y monumentos históricos, edificios, y viviendas antiguas de adobe de Barrios Altos, Rimac, el Cercado, Callao, Barranco y Chorrillos. Los efectos destructores del sismo se extendieron a Mala, Chincha, Cañete, Pisco y otras poblaciones con saldo de 13 muertos y numerosos heridos. Derrumbes en los acantilados entre Magdalena y Chorrillos.

Fuente: Silgado, 1978.

7.3 DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDADES SISMICAS MAXIMAS

La zona de Tamboraque, ha sido afectado por un gran número de sismos que produjeron intensidades que oscilaron entre VII y X (MM), siendo los mas importantes los que ocurrieron frente a la línea de costa de la ciudad de Lima en 1586, 1655, 1687, 1725, 1746, 1806, 1904, 1940, 1966 y 1974.

En la Figura N° 3 se presenta el Mapa de Distribución de Intensidades Sísmicas Máximas elaborado por Alva y Meneses (1984), proyecto SISRA a cargo del Centro Regional de Sismología para América del Perú y el Caribe (CERESIS). Dentro del área de Tamboraque, se observa que prevalecen intensidades máximas del orden de VII (MM), dista de la costa aproximadamente 92 Km.



7.4 SISMOTECTONICA DE LA REGION

El entorno sismotectónico del Perú, permiten considerarlo como uno de los países de mayor riesgo sísmico en América Latina. Los últimos sismos que produjeron importantes cambios geomorfológicos en áreas cercanas a sus epicentros, son los de Nazca, 1996 (7.7Mw), Arequipa, 2001 (8.2Mw) y Pisco en el 2007 (7.9 Mw).

Algunos de los efectos del sismo de Pisco del 2007, fueron observados a más de 200 Km del epicentro (ZAVALA, et al, 2007). Localidades de la provincia de Cañete (Lima), como Laraos, Huangascar y Chocos, así como en algunas zonas de Huancavelica (Tantará y Huaytará), asentadas sobre depósitos de deslizamientos o avalanchas de rocas antiguas, fueron afectadas por reacomodo de estos depósitos.

Estudios recientes de Neotectoncia de Perú (Machare et al, 1991), han identificado la presencia sobre nuestro territorio de un importante numero de fallas activas, muchas de las cuales producen sismos continuamente. En la zona de probable influencia de fallas geológicas activas, al sector de Tamboraque se tienen: la Falla Huaytapallana (Huancayo). La intensidad máxima del sismo en las cercanías de la falla fue de VIII-IX (MM). La Falla Cayesh (al NE de Tarma). La Falla de la Cordillera Blanca, en el borde oeste de la Cordillera Blanca. El Sistema de Fallas de Satipo: sobre la zona subandina al pie del borde oriental de la cordillera andina.

7.5 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS SISMOS

Las máximas intensidades en la escala Mercalli Modificada evaluadas en la zona de Tamboraque oscilaron entre VII y X (Ver Cuadro N°6) . El sismo del 28 de Octubre de 1746, fue el más catastrófico. Para algunos de estos sismos Silgado (1978), elaboró sus respectivos mapas de intensidades, siendo los correspondientes a los sismos de 1940 (mb=8.0), 1966 (mb=9.0) y 1947 (mb=7.5).

La distribución espacial de los sismos en Perú se basa en los datos históricos e instrumentales del IGP (período 1500-2005). Se diferencian sismos superficiales ($h < 60$ km), intermedios ($61 < h < 300$ km) y profundos ($h > 300$ km). Los superficiales ocurren frente a la línea de costa sobre una banda de aproximadamente 400 km, desde Tumbes a Tacna. En la zona de Tamboraque, la actividad sísmica presenta focos superficiales e intermedios, según las características antes descritas.

7.6 ESTUDIO SISMICO PROBABILISTICO

A fin de conocer las aceleraciones máximas producidas por un sismo, que en el futuro pudiera ocurrir en la zona de Tamboraque, se ha analizado el peligro sísmico de dicha área utilizando la base de datos del "Catalogo Sísmico del IGP", la ecuación de Huaco y las fuentes sismogencias definidas por Zamudio y Tavera (2004). Para el calculo de las aceleraciones máximas se uso el programa RISK III (McGuire, 1999).

En las figuras N°4 y 5, se muestra las aceleraciones máximas para periodos de 50 y 100 años, con un 10% de excedencia. Se distingue que las aceleraciones mayores se presentan en el borde costanero occidental de la zona de Tamboraque y disminuyen conforme se avanza hacia el este y noreste.

El Cuadro N° 9 muestra las máximas aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años.

CUADRO N°9: ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS EN LA ZONA DE TAMBORAQUE PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

Coordenadas	Período de Retorno / Aceleración (g)						
	20	50	100	200	500	1000	>1000
TAMBORAQUE 76.30 Este, 11.76 Sur	0.295	0.349	0.396	0.444	0.517	0.580	-----

Fuente: Elaboración propia con datos del IGP.

Es usual considerar una aceleración efectiva en vez de la aceleración instrumental pico, del orden del 25 al 30% más baja. Por lo tanto, la aceleración efectiva para un período de retorno de 500 años será de 0.36g. En caso de utilizar en el diseño de taludes y muros pseudos-estatico, se recomienda un valor de 0.26g.

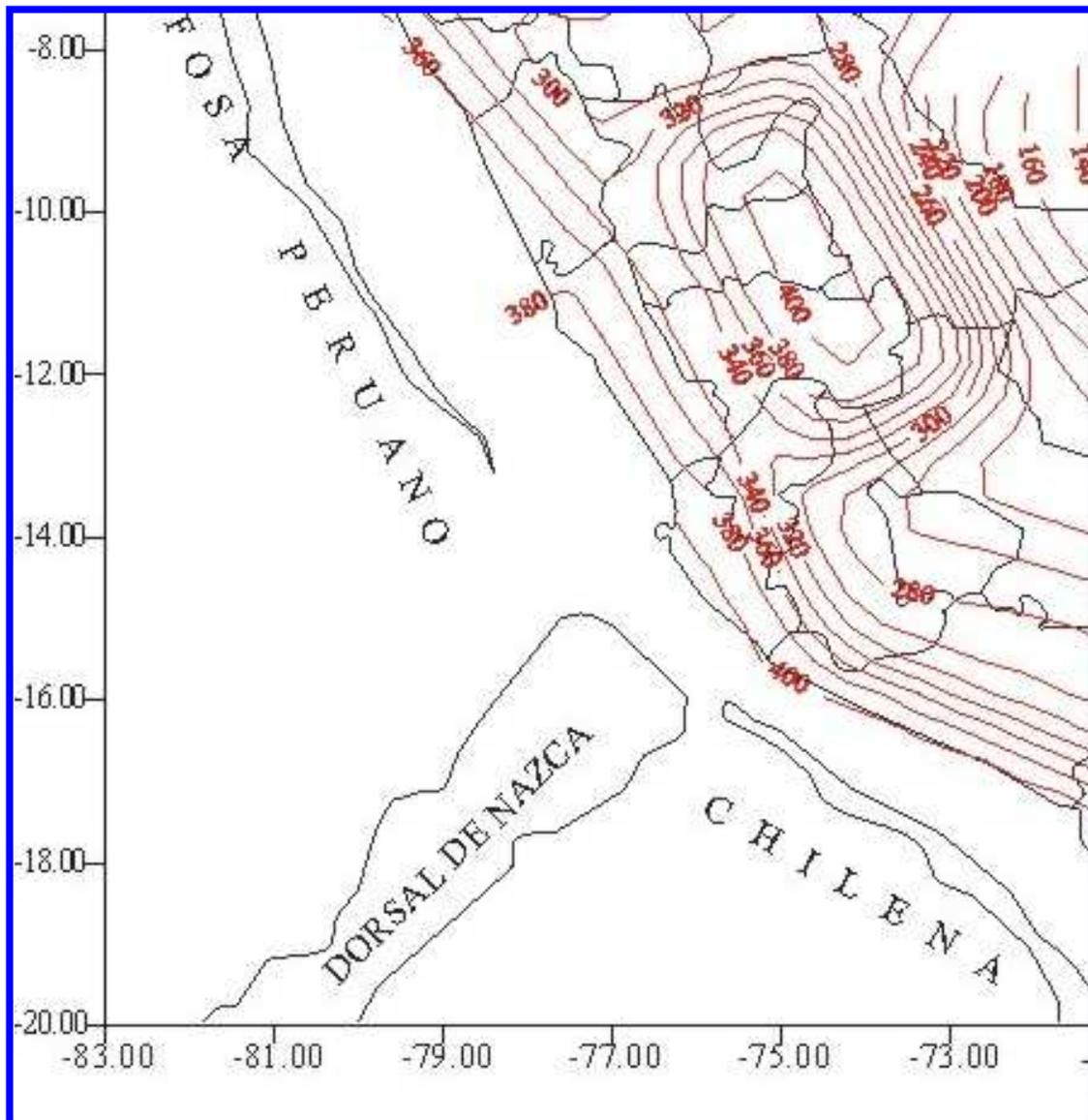


Figura N°4 Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Ecuación de huaco).

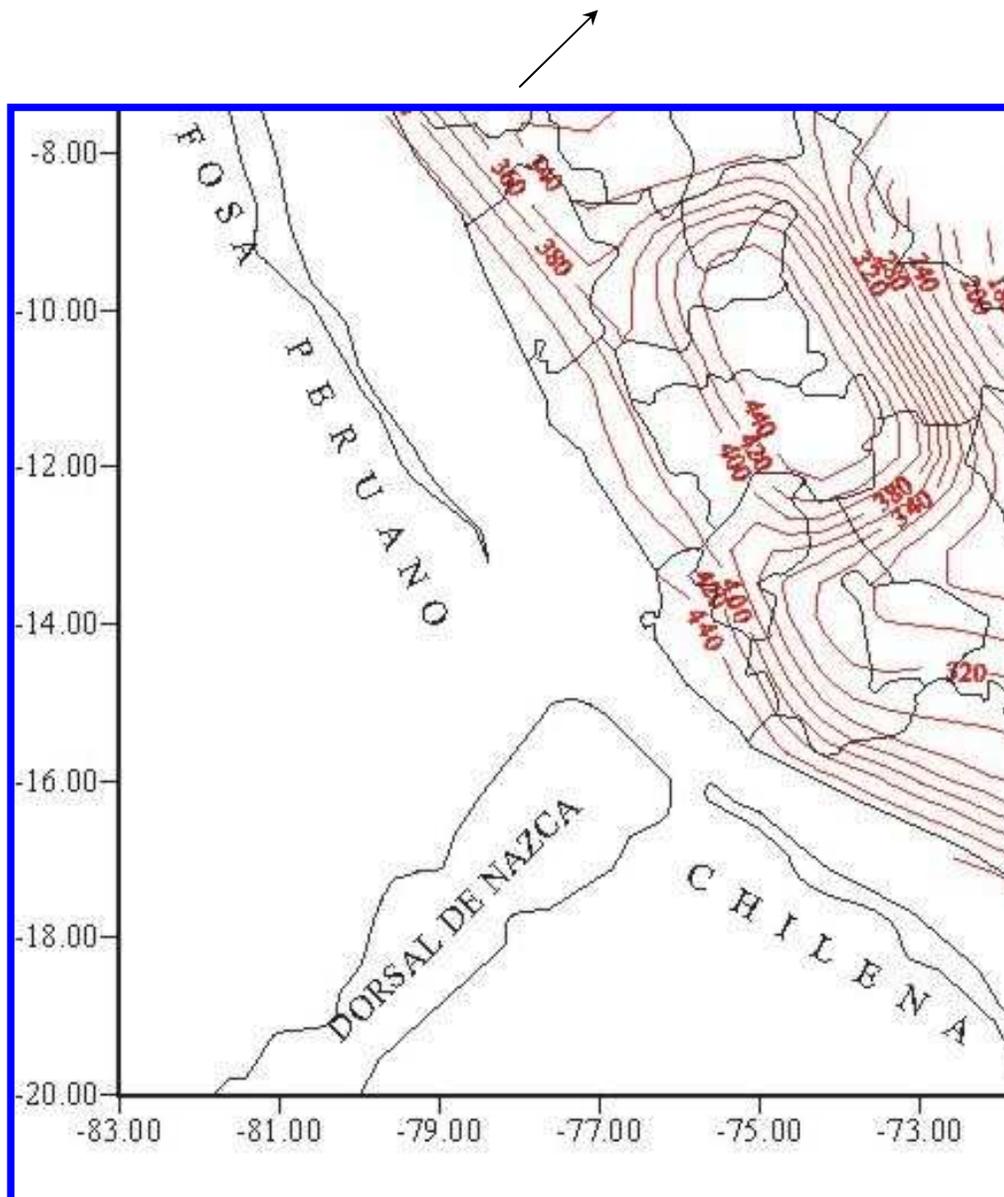


Figura N°5 Distribución de isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Ecuación De huaco)

7.7 ZONIFICACION Y ACELERACIONES MÁXIMAS

El Mapa de Zonificación Sísmica para el Perú, actualmente es utilizado en el Reglamento de Construcción Sísmica (Figura N° 6). Según dicho mapa, la zona de Tamboraque, se identifica con la Zona 3.

La Zona 3, corresponde a una zona Sísmicidad Alta, localizada entre la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes. Incluye ciudades y centros poblados como Callao, Lima, Chosica, Matucana, San Mateo, Tamboraque entre otros.

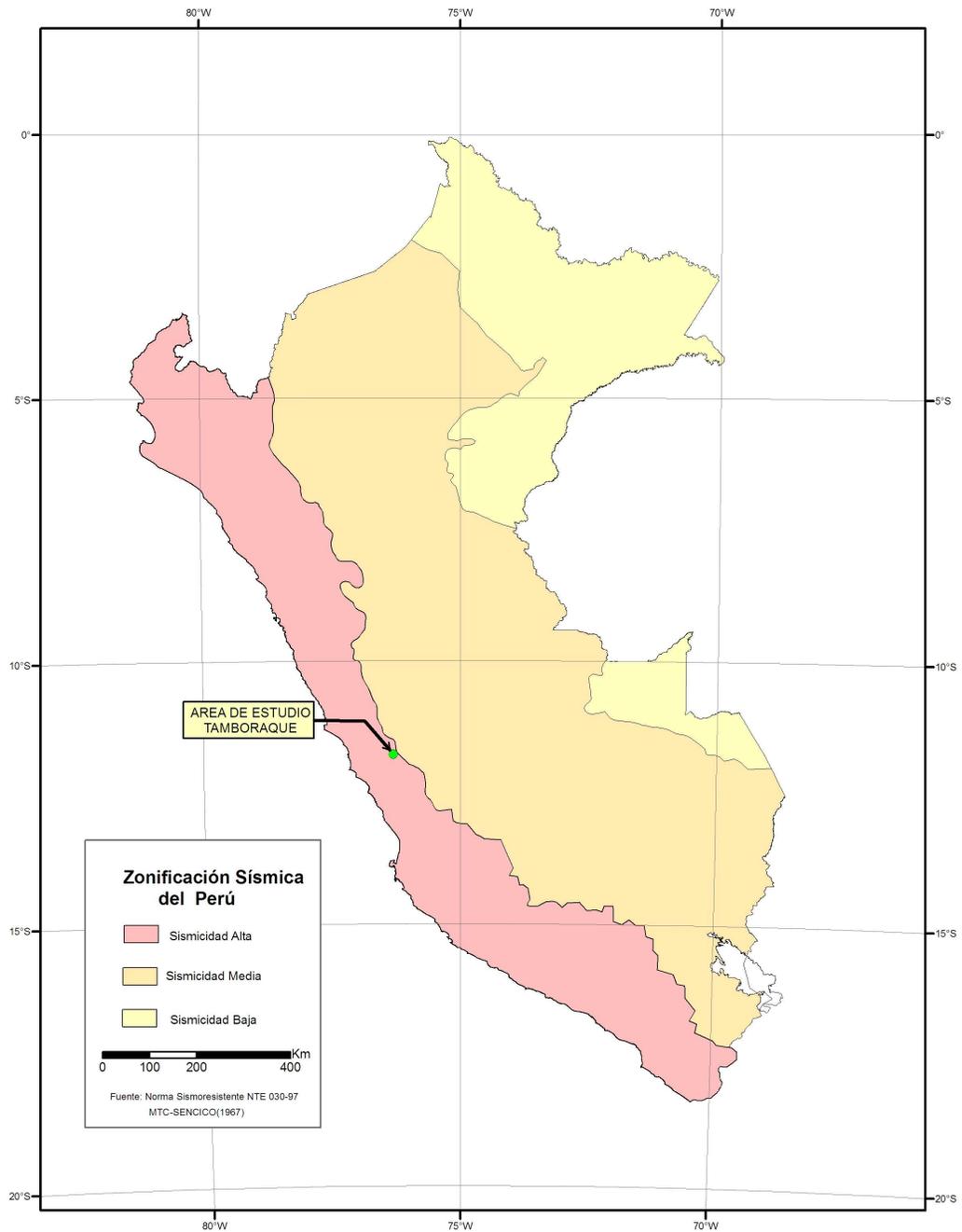


Figura N°6

Este mapa es coherente con el de aceleraciones máximas, y de su comparación es posible definir la existencia de una zona bien marcada, donde las áreas con valores de máximas intensidades coinciden con las de sismicidad Alta, principalmente para la zona de Tamboraque, de interés en el presente estudio.

En la Figura N° 7 se presenta la curva de probabilidad anual de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para Tamboraque. En dicha figura se deduce que se produciría una aceleración máxima de 517 gals con una probabilidad de 0.002%, siendo el periodo medio de retorno del sismo que produce

dicha aceleración 900 años. Aceleraciones del Orden de 349 gals se producirían con un porcentaje de 0.05% con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.

Según la guía metodológica de evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa (OJEDA, J., 2001), con ventanas de tiempo para 20, 50 y 100 años de vida útil, corresponden a 200, 475 y 1000 años de periodo de retorno respectivamente para un 10% de excedencia se ha determinado en forma general, de acuerdo a valores de aceleraciones Máximas esperadas para este sector comoo zonas sísmicamente de categoría Alta a Muy Alta (Ver Cuadro N° 10).

CUADRO N° 10 CLASIFICACION DEL FACTOR DETONANTE (SISMICIDAD)

CATEGORIA	DESCRIPCION
Alta	Se espera un AMH entre 250 a 300 gals
Muy Alta	Se espera un AMH mayores a 300 gals

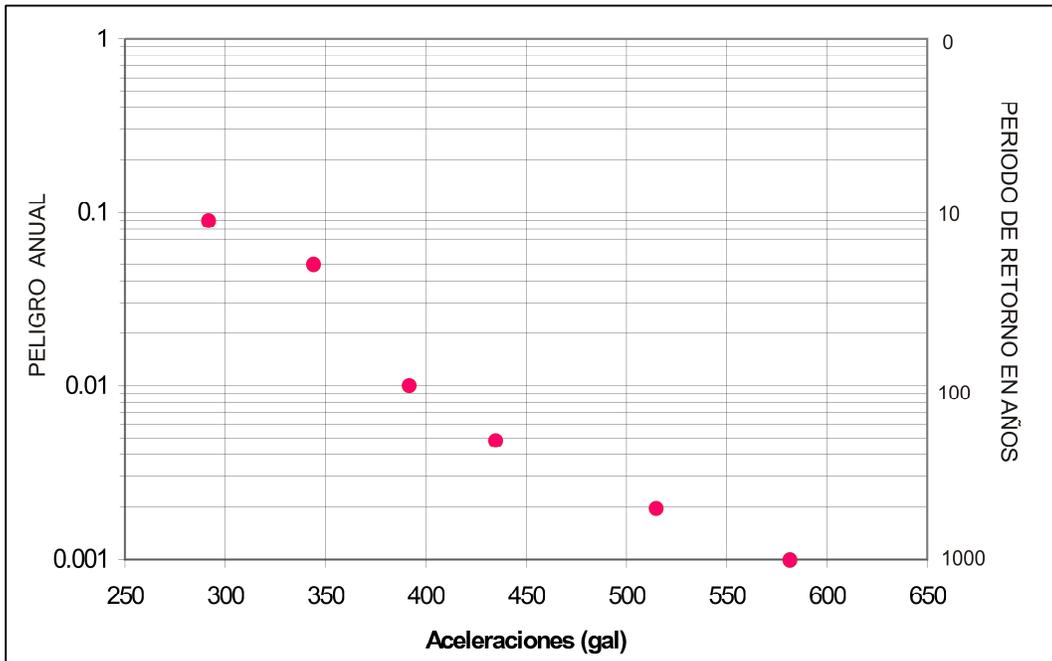


Figura N°7: Curva de Peligro Anual para el sector de Tamboraque
Fuente: Elaboración propia con datos del IGP, 2005

8.0 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS EN LA LADERA DEL CERRO TAMBORAQUE

En el estudio de diversos riesgos geológicos, principalmente deslizamientos, el seguimiento del comportamiento del terreno es fundamental tanto para controlar la evolución del riesgo como para establecer las causas del fenómeno inicial. En muchos escenarios, cuando la escala espacial y temporal de los movimientos lo hace factible, la determinación de las deformaciones de los materiales y estructuras a lo largo del tiempo constituye una medida muy efectiva.

A continuación se hace una revisión de la información de instrumentación geotécnica adoptada por la CMSJ, la cual fue proporcionada para un análisis de la zona.

8.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

La necesidad de realizar un seguimiento que permita evaluar la dinámica de los procesos que se presentan en la ladera del cerro Tamboraque, conllevó a la CMSJ, a efectuar un estudio ingeniero geológico basado fundamentalmente en un control: topográfico y de grietas, piezométrico e inclinómetro y de otras técnicas de interpretación geológica. Estos trabajos están siendo realizados por la Empresa Consultora SVS, los cuales se iniciaron la primera semana de mayo del 2008.

A continuación se describe un resumen de cada uno de ellos.

CONTROL TOPOGRÁFICO: Los desplazamientos de puntos de un deslizamiento de ladera se obtienen por diferencia de coordenadas medidas en distintos instantes de tiempo. Se monitorean 71 puntos de control de terreno, distribuidos en la ladera del cerro Tamboraque en:

- Riel superior a la Cancha de relaves 1 y 2: Puntos 50 al 58 (9)
- Berma intermedia de la Cancha de relaves 1 y 2: Puntos 38 al 47 (10)
- Pie del talud de la Cancha de relaves 1 y 2: Puntos 21 al 26
- Riel inferior a la Cancha de relaves 1 y 2: Puntos 14 al 18 (5).
- Extensión sur de de la Cancha de relaves 1 y 2: Tres puntos en el talud inferior
- Sector inferior: Planta Concentradora: Puntos 62 al 68
- Otros puntos en la ladera inferior: 13 puntos

El control se lleva a cabo desde el 17 de mayo y los datos alcanzados son hasta el 17/08/2008. Los máximos desplazamientos se han dado en sector sur del pie de la Cancha de relaves 1 y 2, los cuales van entre los 200 y 300 mm. Los desplazamientos intermedios están en el rango de 100 a 200 mm, y se dan tanto en el talud y riel inferior de la Cancha de relaves 1 y 2, así como en un punto en el riel superior de la zona de extensión de la Cancha de relaves 1 y 2. Los desplazamientos menores se concentran tanto en el riel superior de la Cancha de relaves 1 y 2 y en el sector de la planta concentradora (Foto N°32).

Foto N°32 Puntos de control topográfico en la berma intermedia de la cancha de relaves 1 y 2.



CONTROL DE GRIETAS: La distribución de grietas guarda relación con las zonas de monitoreo de control topográfico, y se ha realizado en los mismos sectores arriba indicados. El seguimiento permite conocer los desplazamientos horizontales y verticales (Foto N° 33), en el tiempo.



Foto N° 33 Vistas de acercamiento, que muestran los puntos de control topográfico de grietas. En la vista izquierda se nota los hitos de control con desplazamiento vertical notorio

CONTROL DE PIEZOMETROS: Para el control del nivel piezométrico de las aguas subterráneas, se han instalado tres piezómetros asignados como P-4, P-5 y P-6, con profundidades de 14,48, 14, 93 y 14,33 m y un inclinómetro-piezómetro (I-4), de 50, 29 m. Para este fin se incorporaron paulatinamente a las lecturas hechas posteriormente en los inclinómetros I-1, I-2, I-7, I-3 e I-8, el 13/05, 27/05, 17/06, 25/06, 04/07 y 16/07/2008, respectivamente.

Las lecturas en lo piezómetros alcanzadas corresponden al período comprendido entre el 01 de mayo y el 23 de agosto; entre los días 9 y 11 de mayo no se presentan registros. Durante el día 22 de agosto se realizó conjuntamente con personal de la CMSJ, la lectura en los piezómetros (Ver Foto N° 34)².

De acuerdo a las lecturas para este período se puede resumir:

- Los Piezómetros P-4 y P-5, no muestran ningún incremento o fluctuación del nivel de agua.
- El Piezómetro P-6 muestra un incremento del nivel de agua desde el 12 de mayo, donde se inicia con 0,910 m, mostrando una curva ascendente y regular hasta el día 19/08/2008, donde alcanza 2,510 m, después del cual ha empezado a declinar alcanzando el 23/08 una altura de agua de 2,280 m.
- El Inclinómetro I-4, se inicia con una lectura de 0,490 m (12/05). Muestra intervalos irregulares de ascenso y descenso del nivel de agua: 1) Ascenso entre el 12 y 19 de mayo entre 0,490 y 0,555 m; 2) Descenso entre el 19 de mayo y 20 de junio entre 0,555 m y 0,360 m de altura de agua; 3) Ascenso del nivel de agua entre el 20 de junio y primero de julio, desde 0,360 hasta 0,840 m; 4) Descenso entre los días 1 y 19 de julio desde 0,840 m a 0,325 m;

² Las variaciones marcadas en la fluctuación del nivel de agua en el piezómetro-inclinómetro I-3 (desde el 04/08 a la fecha), puede deberse al bombeo de agua que se está realizando en la ladera inferior, donde se han abierto calicatas. Esto indicaría una dirección principal de flujo de agua subterránea hacia ese lado.

5) Desde 0,325 m el 19 de julio a 0,635 m el 23 de agosto, mostrando un nivel regular en los últimos días.

- El Inclinómetro I-1, muestra una curva de descenso del nivel de agua entre los días 13/05 y 23/08, desde 3,420 m a 0,785 m, donde aparentemente muestra un nivel estable.
- El Inclinómetro I-2 reporta alturas de agua desde el 27/05 donde presentó 2,120 m, declinando paulatinamente hasta el día 25/07, donde se hizo cero, a partir del cual hasta la fecha se mantiene seco³.
- Lecturas en el inclinómetro I-7, van desde 1,825 m el día 17/06, descendiendo paulatinamente hasta 0,655 m el día 23 de agosto.
- En el Inclinómetro I-6, el nivel de agua ha descendido desde 1,550 m el día 25 de junio a 0,120 el 23 de agosto.
- El Inclinómetro I-3 mantuvo una altura de agua en descenso desde el día 04 de julio con 21,630 m hasta el 17 de agosto con 21,180 m, luego del cual se incrementó hasta 27,630 el 23 de agosto.
- El inclinómetro I-8, el más superior, muestra una altura de agua entre los días 16 de julio y 23 de agosto que osciló entre 0,450 y 0,050 m.



Foto N° 34 Vista de las mediciones del nivel piezo métrico efectuadas el 22/08/08, durante los trabajos de campo.

CONTROL DE INCLINÓMETROS: Existen técnicas que realizan determinaciones mediante sensores o sondas introducidas a lo largo de sondeos perforados en el terreno. Una de estas técnicas es la inclinometría, la cual permite detectar movimientos y rupturas en profundidad.

En la ladera y áreas de relaves del cerro Tamboraque, se ejecutaron nueve sondajes para realizar el monitoreo de desplazamiento de ladera. Dos de ellos se encuentran entre los rieles 2 y 3 del ferrocarril (I-8 e I-9)⁴, dos inclinómetros en la berma intermedia del depósito de relaves 1-2 (I-1 e I-4), un sondaje en el talud inferior sur del depósito de relaves 1-2, uno debajo de la zona de extensión sur de la cancha de relaves 1-2 y tres debajo del riel inferior del ferrocarril (Foto N° 35).

³ Según datos de la CMSJ, desde el 21/08 ya no es posible ingresar la sonda en este piezómetro, debido a una deformación a 12,97 m de profundidad, medidos desde el nivel del terreno.

⁴ No se tuvo información del sondaje N°9.

De acuerdo a la información alcanzada se puede resumir lo siguiente:

- En el inclinómetro I-1 se notaron mayores desplazamientos. Para el período comprendido entre el 10/05 y 18/08, el desplazamiento acumulado fue de 160 mm. Se distinguen cambios marcados a los 7,50 m de profundidad con un desplazamiento de 9,50 mm, a los 28,25 m con 5 mm y a los 41 mm donde alcanza un desplazamiento de 23 mm.
- En el inclinómetro I-3, entre el 01/07 y el 23/08, tanto los incrementos de desplazamientos en ambos ejes, como el desplazamiento acumulado o deflexión muestran cambios importantes a 5,50 m de profundidad. La curva de desplazamiento a esta profundidad muestra un desplazamiento acumulado de 11 mm a una velocidad promedio de 0,20 mm/día.
- En el inclinómetro I-3, para el mismo período la curva de desplazamiento a 5,50 m de profundidad muestra un desplazamiento acumulado de 11 mm, a una velocidad promedio de 0,20 mm/día.
- En el inclinómetro I-6, la curva de desplazamiento muestra un desplazamiento acumulado de 6 mm. En profundidad los cambios se distinguen aproximadamente a 9 m. Se calculó una velocidad promedio de 0,09 mm/día entre el 21/06 y 24/08.
- Entre el 14 de junio y 19 de agosto, en el inclinómetro I-6, el desplazamiento acumulado es de 3,5 mm, a una velocidad promedio de 0,05 mm/día. El empuje es pequeño no apreciándose alguna ruptura importante.
- El inclinómetro I-8, se ubica encima de la zona de inicio de grietas en el terreno. Las curvas en profundidad tanto de incremento de desplazamiento y deflexión muestran evidencias de movimiento a 12,50 m. Un pequeño quiebre de movimiento se podría estar dando a 36,50 m de profundidad.

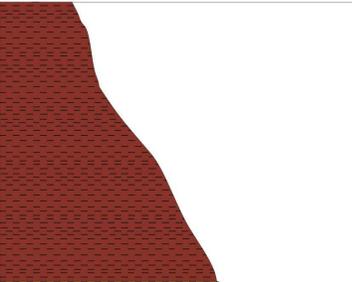
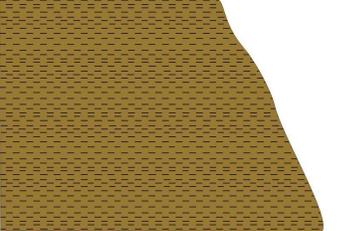
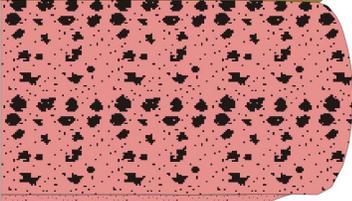
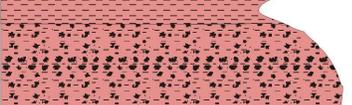
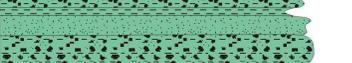


Foto N° 35 Vista del piezómetro-inclinómetro I-1, ubicado en el lado sur de la cancha de relaves 1-2. En este sondaje se han producido los mayores desplazamientos.

PROPIEDADES DE LOS SUELOS: Para de determinación de las propiedades de los suelos, se considera la descripción litológica de los sondajes realizados por la CMSJ, tanto de los inclinómetros como piezómetros. Asimismo se tiene en cuenta las observaciones hechas en los cortes naturales, taludes y algunas calicatas expuestas en la ladera inferior.

Un perfil representativo de la ladera del cerro Tamboraque, se muestra en la figura N° 8, reconociéndose por su característica granulométrica: depósitos aluviales, proluviales, coluviales y antrópicos (relaves).

COLUMNA LITOLOGICA DEL AREA DE TAMBORAQUE

Unidad	Espesor		Descripción
Q-an	45m		Depósitos de Relaves: Arcilla limosa, baja plasticidad, ligeramente húmeda, marrón claro. (CL)
			Limo arcilloso o arcilla limosa, no plástico húmedo, marrón claro a ligeramente oscuro con tonalidades plomizas. Partículas angulares a subangulares. (CL)
Q-co	40m		Depósito coluvial compuesto por gravas mal graduadas, marrón ligeramente plomiza, presenta fragmentos subangulares, matriz arenosa. (GP, GP - GM)
			Arena mal graduada con limo, marrón ligeramente amarillenta. (SP - SM)
			Grava mal graduada con limo, marrón claro ligeramente plomizo, grava gruesa subangular, matriz arena arcillosa. (GP - GM)
			Arcilla inorgánica, ligeramente limosa, plasticidad media. (CL)
			Grava mal graduada, marrón clara a ligeramente limosa. (GP - GM)
Q-pa ₂	8m		Grava arcillosa, ligeramente arena fina. Proluvio - aluvial. (GL) Arcilla gravosa, plasticidad media ligeramente húmeda.
Q-al	6m		Arena ligeramente limosa, mal graduada, ligeramente húmeda, marrón oscura, de formas subangulares a subangulosas. (SP - SM) Grava arenosa, ligeramente arcillosa mal graduada, ligeramente húmeda, marrón rojiza, son de formas subredondeadas a subangulosas
Q-pa ₁	4m		Grava arcillosa, de plasticidad media, húmeda, ligeramente verdosa, partículas subredondeadas a subangulosas.
Tim-r			Substrato rocoso conformado por lavas andesíticas y cuarcitas del Grupo Rimac.

Fuente: Elaboración propia con datos de sondajes y observaciones de campo.

Figura N°8

Los resultados de los ensayos de laboratorio para los diferentes materiales existentes en la ladera se presentan en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 10 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS MATERIALES INVOLUCRADOS

TIPO DE MATERIAL	PESO UNITARIO (kN/m ³)	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)
Substrato rocoso	24	300	38
Relave blando	16	25	5
Relave antiguo	16	15	30
Arcilla aluvial	18	145	0
Proluvio-aluvial	22	20	40
Coluvial superior	20,5	80	20

Fuente: Datos proporcionados por la CMSJ.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA: El levantamiento de información geofísica utilizando el método de refracción sísmica, ha sido realizado por la CMSJ, a lo largo de los tres niveles de la línea del ferrocarril, y han sido denominadas líneas geofísicas L-1, L-2 y L-3.

En general se puede resumir el perfil sísmico en tres capas:

Capa Superior, constituida por dos subcapas, la primera con velocidades de 400 a 1200 m/s, espesores mayores en las líneas L-1 y L-2 (9 a 31 m) y menores en la línea L-3 (3 a 5 m), compuestos de material arcillo gravoso con arenas. La segunda subcapa de material coluvial algo compacto con velocidades entre 1200 a 2200 m/s y espesores entre 5 y 56 m (L-1 y L-2), y espesores entre 5 a 25 m en la línea L-3.

Capa Intermedia: Conformada por roca meteorizada y/o suelo residual. Las velocidades están entre 2200 a 3000 m/s y los espesores varían entre 5 a 65 m.

Capa Inferior: Capa de fondo constituida por roca poco meteorizada a roca sana, con velocidades mayores a 3000 m/s

Las secciones geológicas interpretadas a partir de datos geofísicos, permiten deducir lo siguiente:

- La profundidad del substrato así como los espesores de relleno de material cuaternario, especialmente en el perfil superior y medio, sugieren la presencia de un depósito de deslizamiento antiguo - prehistórico.
- El substrato está menos profundo en la sección geofísica inferior y correlaciona con el espesor encontrado en el sondaje I-2.
- La morfología y disposición del substrato en la ladera, evidencian la presencia de una pequeña cubeta, que propició la presencia del nivel de arcilla aluvial (Q-al1), que es el nivel geológico que actúa como factor condicionante del deslizamiento. Este nivel está presente en los sondajes I-1 e I-2, y correlacionan en planta con los máximos desplazamientos presentados en superficie (Puntos topográficos 24, 25 y 26 ubicados encima del riel).

8.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD EN EL TALUD NW DEL CERRO TAMBORAQUE

Para el análisis de estabilidad del “deslizamiento” del Cerro Tamboraque se analizan la posibilidad de fallamiento teniendo en cuenta el material arcilloso debajo de los relaves

Con los datos de las columnas litológicas de los piezómetros, inclinómetros existentes e información geofísica, se elaboró dos perfiles o secciones topográficas - geológicas (Figuras N° 9 y 10),. Las propiedades geomecánicas de los materiales involucrados, proporcionados por la CMSJ) están consignadas en el Cuadro N° 10.

Dadas las condiciones descritas en los capítulos anteriores, se ha adoptado el uso del programa de cómputo SLIDE v5.0 desarrollado por Rocscience Inc., Geomechanics Software & Research. El programa SLIDE, está diseñado para ser empleado como una herramienta de evaluación de la estabilidad de taludes en 2D en equilibrio límite para taludes en suelos y rocas.

Para el análisis de estabilidad del talud del Cerro Tamboraque, se ha tomado la sección A – A'. El análisis se basa en la suposición de un “deslizamiento” no circular cuyo bloque está definido por la intersección de la grieta de tracción superior y la arcilla inorgánica localizada debajo de los relaves, que se encuentran sujeto a carga gravitacional, presencia de agua subterránea y cargas sísmicas pseudo estáticas.

El área del Cerro Tamboraque, se localiza en la Zona de Alta Sismicidad, en donde se producirá una aceleración máxima de 0,51 g, siendo el periodo medio de retorno del sismo de 500 años. Para este caso consideramos una aceleración efectiva de 0,36 g teniendo en cuenta el periodo predominante del suelo. Se asumió el coeficiente sísmico para el método pseudoestático de diseño de taludes de 0.26 g, de acuerdo a lo tratado en el Capítulo 7.0.

CARGA ESTÁTICA

DEPÓSITO DE RELAVE	Volumen (m³)	Densidad (Tn/m³)	Peso (Tm)
Deposito de Relaves No. 1-2 antes del Recrecimiento	250,000	1,7	425,000
Recrecimiento Deposito de Relaves No. 1-2	140,000	1,7	238,000
Total de relave	390,000		663,000

Volumen total de relave: 390, 000 m³

Factor de Esponjamiento: 1.15

Volumen Esponjado Estimado del Deposito de Relaves No. 1 y 2 : 448500 m³.

CARGA DINÁMICA: Aproximadamente 150 toneladas por vagón cargado de concentrado de mineral

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD: Los análisis fueron orientados a verificar la estabilidad del talud NW del Cerro Tamboraque, comprometido con agrietamientos y asentamientos.

Para evaluar el problema de inestabilidad hubo la necesidad de realizar una serie de análisis tomando como base las características de los materiales y los “detonantes” del movimiento:

Caso 1: Estabilidad del talud con relave antiguo y recrecimiento en condiciones drenadas (agua) y estáticas. Figura 11

Caso 2: Estabilidad del talud con relave antiguo y recrecimiento en condiciones drenadas y seudoestáticas (sismo). Figura 12

Caso 3: Estabilidad del talud con relave antiguo en condiciones drenadas y estáticas. Figura 13

Caso 4: Estabilidad del talud con relave antiguo condiciones secas y seudoestáticas. Figura 14

Caso 5: Estabilidad del talud natural sin relaves en condiciones secas y estáticas. Figura 15

Caso 6: Estabilidad del talud natural sin relaves en condiciones secas y seudo estáticas. Figura 16

Caso 7: Estabilidad del talud natural sin relaves en condiciones drenadas y estáticas. Figura 17

Caso 8: Estabilidad del talud natural sin relaves en condiciones drenadas y seudoestáticas. Figura 18

EVALUACIÓN DE RESULTADOS: Como se podrá apreciar, el talud NW del Cerro Tamboraque, con la presencia de los relaves, se vuelve inestable con sismos (Caso 2); eliminando el recrecimiento y en condiciones drenadas (agua) el talud sigue inestable con sismos (Caso 4). El talud se vuelve estable tanto en condiciones drenadas (agua) y seudoestáticas (sismos), si se eliminan los relaves (Caso 8) .

Los resultados de los análisis demuestran que si eliminamos, tanto el relave antiguo como el recrecimiento, el talud mejora en estabilidad, inclusive en casos de sismos. Es importante mencionar que el relave antiguo no funciona como “contrafuerte”, por la existencia de la capa de arcilla debajo de ella. Se puede mejorar la estabilidad del talud con el relave antiguo (Caso 4), siempre y cuando se realicen obras de estabilización como contrafuertes y densificación de las arcillas. El drenado del cuerpo del deslizamiento es primordial para la estabilización. En el Cuadro 11, se presenta un resumen de estos:

**CUADRO 11
CERRO TAMBORAQUE – TALUD NW
FACTORES DE SEGURIDAD**

Casos	Condiciones		Factor de Seguridad	
	Secas	Drenadas	Estático	Seudo estático
Caso 1		X	1.110	
Caso 2		X		0.600
Caso 3		X	1.135	
Caso 4	X			0.769
Caso 5	X		1.629	
Caso 6	X			1.171
Caso 7		X	1.301	
Caso 8		X		1.171

9.0 CONCLUSIONES

1. Litológicamente la zona esta compuesta por un substrato de andesitas muy fracturadas del Grupo Rimac, intercalación de depósitos proluviales o de huayco, depósitos aluviales gruesos y finos cohesivos (arcillas), y depósitos coluviales originados por deslizamientos y/o caída de rocas, así como depósitos de origen antrópico (relaves).
2. La morfología y disposición del substrato rocoso en la ladera del cerro Tamboraque, evidencian la presencia de una pequeña cubeta, que propició la presencia del nivel de arcilla aluvial (Q-al1), que es el nivel geológico que actúa como factor condicionante del deslizamiento. Este nivel presente en los sondajes I-1 e I-2, correlaciona en planta con los máximos desplazamientos presentados en superficie de los puntos topográficos 24, 25 y 26, ubicados encima del riel inferior y al pie de la cancha de relaves 1-2.
3. Tanto el fracturamiento en las rocas, como la naturaleza de los depósitos cuaternarios condicionan la circulación de las aguas subterráneas, generando por sectores surgencias a través de manantiales.
4. El mapeo geomorfológico-geodinámico en el área permitió diferenciar depósitos y procesos de movimientos en masa antiguos - prehistóricos, así como evidencias de movimientos activos, relacionados a un proceso de deslizamiento.
5. La infiltración natural de aguas de lluvia y de riego, así como la actividad antrópica (recrecimiento de relaves, paso del tren) han “detonado” y acelerado el proceso tanto en las laderas naturales, línea férrea y canchas de relave.
6. Debido a los factores “desencadenantes” o detonantes ya mencionados, los materiales superficiales (incluido las relaveras), sufrieron un reacomodo formándose superficies discontinuas de deslizamiento (asentamientos). Observándose agrietamientos y asentamientos en el terreno con desplazamientos máximos verticales de 0,16 m y horizontales de 0,11 m, respectivamente.
7. Los máximos desplazamientos en superficie se han presentado en el sector sur del pie de la Cancha de relaves 1-2, los cuales van entre los 200 y 300 mm. Los desplazamientos intermedios están en el rango de 100 a 200 mm, y se dan tanto en el talud y riel inferior de la Cancha de relaves 1-2, así como en un punto en el riel superior de la zona de extensión de la Cancha de relaves 1- 2. Los desplazamientos menores se concentran tanto en el riel superior de la Cancha de relaves 1-2 y en el sector de la planta concentradora.
8. En cuanto a las aguas subterráneas, se trata de acuíferos fisurados de mediana productividad. La surgencia de aguas subterráneas en la parte baja, donde se ubican las calicatas, se encuentran condicionadas por el contacto entre conglomerados de matriz limo arcillosa y bancos de arcilla plástica de color rojiza (arcilla lacustre?).
9. Los manantiales se encuentran alineados, probablemente condicionados por un lineamiento o por un grupo de fracturas. Los caudales de producción son bajos (entre 0.5 y 2 l/s) típicos acuíferos fisurados y de poca profundidad de infiltración.
10. El origen de la agua en la zona saturada proviene principalmente de las lluvias; las aguas de precipitación pluvial, infiltran en el subsuelo a través de las fracturas de las rocas volcánicas andesíticas y de la porosidad primaria de los materiales no consolidados. Estas aguas circulan entre las rocas con una permeabilidad de 44. 640

m/día; alimentando a las aguas subterráneas. La presencia de canales rústicos en suelos permeables, un reservorio sin revestimiento en la zona de Soccocha que además es constantemente alimentado por el manantial Soccocha de 1.2 l/s y las numerosas áreas agrícolas; son elementos que ayudan a la infiltración de las aguas que se encuentra saturando la masa deslizada.

11. La dirección de flujo principal y la dirección de los flujos secundarios, tienen dirección preferencial de este a oeste, coincidente con la pendiente de la ladera. La concentración de los flujos principales se encuentra a la altura del piezómetro I-03 y a la altura de la manantial captación Tamboraque.
12. La curva de peligro anual de ocurrencia de aceleraciones máximas y sismos de gran magnitud para la zona de Tamboraque, indica que en dicha zona se produciría una aceleración máxima de 517 gals con una probabilidad de 0,002%, siendo el periodo medio de retorno de 900 años. Aceleraciones del orden 349 gals se producirían con un porcentaje de 0,05% con periodos de tiempo de retorno de 60 años en promedio.
13. Para el estudio probabilístico de peligro sísmico se ha considerado las fuentes sísmicas por áreas. Para el sismo de diseño se ha determinado un valor de aceleración máxima de 0.51g y un valor de aceleración efectiva de 0.36g. Se recomienda el empleo de las aceleraciones efectivas del sismo de diseño. Para el método de diseño pseudo-estático de taludes, se recomienda un valor de 0.26g para la localidad de estudio.
14. El relave antiguo no estaría funcionando como “contrafuerte”, por la existencia de la capa de arcilla debajo de ella.
15. En la actualidad el área inestable se encuentra en equilibrio/estable, debido a los trabajos y a las acciones realizadas luego de las primeras manifestaciones de inestabilidad.
16. Eliminando el recrecimiento y en condiciones secas el talud sigue inestable con sismos.
17. El talud NW del Cerro Tamboraque, en el estado actual, presencia de los relaves (antiguo y recrecimiento), se hace inestable con sismos. Si se produjeran estos, la masa afectada máxima, alcanzaría un volumen aproximado de 4'000,000 de m³ (incluyendo los relaves). Dada la configuración topográfica del terreno y la morfología del sustrato, no toda la masa comprometida, se deslizaría hacia el río.
18. El talud se vuelve estable tanto en condiciones drenadas (agua) y pseudoestáticas (sismos), si se eliminan los relaves.

10.0 RECOMENDACIONES

1. El drenado del cuerpo del deslizamiento es primordial para la estabilización del área inestable: drenaje superficial y subterráneo. Se debe realizar de acuerdo al mapa hidrogeológico presentado.
2. Los resultados de los análisis demuestran que si eliminamos, tanto el relave antiguo como el recrecimiento, el talud mejora en estabilidad, inclusive en casos de sismos.
3. Se puede mejorar la estabilidad del talud con el relave antiguo, siempre y cuando se realicen obras de estabilización como contrafuertes y/o densificación de las arcillas.
4. Eliminar las tuberías que salen del reservorio de la Comunidad de San Antonio, hacia el área del deslizamiento o zona inestable. Una vez eliminados, el reservorio puede ser usado, con riego tecnificado, en otras áreas al NE de la zona de estudio (Chucllapampa y Socococha).
5. Es importante continuar con el monitoreo topográfico, piezométrico e inclinométría en el área del deslizamiento. Este debe ser permanente en el tiempo, inclusive después de realizar las obras de estabilización recomendadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA J., MENESES, J. & GUZMÁN, V. (1984). Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.

CAHILL & ISACKS (1992). Seismicity and Shape of the Subducted Nazca Plate. *Journal Geophysic.*

OJEDA, J. (2001). Evaluación del Riesgo por Fenómenos en Masa: Guía Metodológica. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería en coedición con INGEOMINAS. Julio, 2001. Bogotá, Colombia.

KEEFER, D. K. (1994). Landslides Caused by Earthquakes: Geological Society of America. *Bulletin*, v.95, april 1984. 406 – 421 p.

MACHARÉ, J. (1991). Actualización del mapa geotectónico del Perú a escala 1 2 000 000. Congreso Peruano de Geología, Lima-Perú.

MCGUIRE (1999). Fortran Computer Program for seismic risk análisis. Open-file Report 76-77, U.S. Geological Survey.

POLA, A., GARDUÑO, V., DÍAZ, C. & HERNANDEZ, V. (2006). Estudio Geotécnico asociado a procesos de remoción en masa del parque Francisco Zarco (Ocolusen), Morelia (Michoacán, México). *Boletín de la Sociedad Geológica.*

SALAZAR, H. (1983). Geología de los Cuadrángulos de Matucana y Huarochiri (hojas 24 k y 25 k). *Boletín N° 36, INGEMMET, Serie A, Carta Geológica Nacional, 68 p., 2 mapa.*

SILGADO E. (1978). Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974). Instituto de Geología y Minería, *Boletín N° 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica*, Lima, Perú.

SISRA (1985). Catálogo de Terremotos para América del Sur" Volúmenes 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, Centro Regional de Sismología para América del Sur. Lima, Perú.

TAVERA & BUFORN (2001). Source mechanics of Earthquakes in Perú. *Journal of Seismology.*

ZAVALA B., VALDERRAMA P., COSTA C. & HERMANNNS R. (2007). Movimientos en masa y Deformaciones Superficiales asociadas al sismo de Pisco del 15/08/2007. Informe Interno, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, INGEMMET, Octubre 2007.

ANEXO 1: RELACIÓN DE INFORMACIÓN UTILIZADA POR INGEMMET, PROPORCIONADA POR LA CMSJ:

1. **Topografía en planta:** General a escala 1:2000 en Auto Cad con ubicación de sondajes, vectores de desplazamiento secciones geofísicas, ubicación de grietas.
2. **Monitoreo Topográfico:** Gráficos en Excel de monitoreo topográfico en los sectores de: berma intermedia cancha 1-2; extensión sur canchas 1-2; instalaciones planta concentradora; pie de talud cancha 1-2; riel inferior a la cancha 1-2; riel superior a la cancha 1-2; Adicionales.
3. **Monitoreo de inclinómetros:** I-1 al 24/08; I-2 al 03/06; I-3 al 23/08; I-6 al 25/08; I-7 al 20/08 e I-8 al 19/08/2008.
4. **Control diario de piezómetros:** Del 01/05/2008 al 28/08/2008.
5. **Registros litológicos de los sondajes:** Información de los piezómetros (P-4, P-5 y P-6), e inclinómetros (I-1, I-2, I-3, I-3A, I-4, I-6, I-7, I-8).
6. **Resultados de ensayos de laboratorio:** Del nivel de arcilla aluvial a varios niveles de profundidad en el sondaje I-2 (ensayo de compresión no confinada, análisis granulométrico, humedad y límites de consistencia).
7. **Secciones con información geológica:** Secciones Geológicas y geofísicas (Refracción sísmica L1, L2 y L3).
8. **Análisis de estabilidad preliminar:** Análisis realizado por SVS, donde se adjuntan las características de los materiales.

ANEXO 2. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS UTILIZADOS

(Tomado del Glosario de Términos Relativos a Movimientos en Masa, elaborado por el Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA), Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas, de los servicios geológicos de Latinoamérica y Canadá). PMA:GCA, 2007).

ACTIVIDAD HISTÓRICA. Evidencia geológica o histórica de la ocurrencia de un movimiento en masa.

ALUVIAL. Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES (slope stability analysis). Proceso en el que se evalúa cuantitativamente la interacción entre las fuerzas (o momentos) estabilizantes o resistentes y las fuerzas (o momentos), destabilizantes o movilizantes que actúan sobre un talud. A partir de esto, se establecen las condiciones de estabilidad actual o hipotética de ese talud. Usualmente esta condición de estabilidad se expresa en términos de un factor de seguridad. También puede involucrar el análisis de deformaciones del terreno.

ARCILLA (1) Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento geomecánico (2) Tamaño de partículas minerales menores a 2 micras (0,002 mm).

CAÍDA (fall) sin.: desprendimiento. Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

COHESIÓN. Parámetro de resistencia de un suelo que expresa la fuerza por la cual las moléculas homogéneas de un cuerpo se adhieren unas con otras (Holtz y Kovacs, 1991).

COLUVIAL Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

CONDICIONANTE. Se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

DERRUMBE. Término común para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída.

DESLIZAMIENTO (slide). Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL. Deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. La cabeza del movimiento puede moverse hacia abajo dejando un escarpe casi vertical, mientras que la superficie superior inclinarse hacia atrás en dirección al escarpe. Estos movimientos ocurren frecuentemente en masas de material relativamente homogéneo, pero también pueden estar controlados parcialmente por superficies de discontinuidad pre-existentes (Cruden y Varnes, 1996).

DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL. Deslizamiento en el cual la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o plano de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla puede

ocurrir cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

DETONANTE sin.: disparador, desencadenante, gatillante (Ch). Acción, o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera y la sobrecarga de una ladera.

EVIDENCIA VISUAL DE MOVIMIENTO sin.: evidencia indirecta (Ar). Todo aquello que a simple vista indica que una masa de suelo o roca se ha movido o se encuentra en movimiento. Por ejemplo: postes o troncos de árboles inclinados, cercas corridas, escarpes, deformación del terreno.

FACTOR DE SEGURIDAD (safety factor) sin.: coeficiente de seguridad (Ch). Valor que indica la relación entre las fuerzas (o momentos) de resistencia al corte y las fuerzas (o momentos) desestabilizantes en un talud o ladera dada.

INCLINÓMETRO. Instrumento para medir desplazamientos horizontales del terreno en profundidad.

INSTRUMENTACIÓN. Conjunto de actividades en las cuales se identifican y caracterizan unas variables a medir (p.ej.: desplazamientos, presión del agua), se escogen unos instrumentos apropiados para medir esas variables, se establece un número y distribución en campo de los instrumentos escogidos, se diseñan las características y especificaciones de la instalación y se establece un programa de lecturas de instrumentos.

MACIZO ROCOSO Es el conjunto de material de roca in situ y sus discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo confiere al macizo un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad de los cuales dependen el comportamiento geomecánico e hidráulico del mismo.

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide) sin.: fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

NIVEL FREÁTICO (water table) sin.: tabla de agua (Co). Nivel del agua subterránea para el cual la presión es igual a la presión atmosférica.

NIVEL PIEZOMÉTRICO (piezometric level). Nivel del agua en un piezómetro para el cual la presión es igual a la atmosférica.

PERÍODO DE RETORNO (TR) Tiempo promedio entre dos eventos de iguales características que han ocurrido en el pasado.

PERMEABILIDAD sin.: conductividad hidráulica. Facilidad con que el agua puede fluir a través de los poros y discontinuidades de un suelo o macizo rocoso. Se expresa en unidades de velocidad.

PESO UNITARIO (unit weight) Relación entre el peso total W_T y el volumen total V_T de un material dado.

PIEZÓMETRO. Instrumento que sirve para medir la presión de poros del agua en un punto.

REACTIVADO (reactivated) Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún período de tiempo.

REPTACIÓN (creep) sin.: reptaje (Ar), repteo (Ve). Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional cuando se asocia a cambios climáticos, o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

ZONA DE ARRANQUE (initiation zone, zone of depletion) sin.: zona de despegue, zona de desprendimiento. Área dentro de la cual el material desplazado se encuentra por debajo de la superficie original del terreno.