



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

CONVENIO UNSA - INDECI

Proyecto PER 98/018 PNUD - INDECI



Iglesia de Callalli



Iglesia de Sibayo



Callalli

ESTUDIO GEODINÁMICO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS DE LAS LOCALIDADES DE CALLALI Y SIBAYO

Arequipa, enero del 2002

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE
AREQUIPA**

**CONVENIO UNSA - INDECI
Proyecto PER 98/018 PNUD – INDECI**

AUTORIDADES

Dr. Rolando Cornejo Cuervo
RECTOR

Contralmirante (r). Juan Luis Podesta LLosa
JEFE, INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL-INDECI

**ESTUDIO GEODINAMICO Y EVALUACION DE PELIGROS DE LAS
LOCALIDADES DE CALLALLI Y SIBAYO**

AUTORES

Ing. Roberto Kosaka Masuno Ing. Edgard Gonzáles Zenteno
Ing. Hector Palza Arias Barahona Ing. Armando Minaya Lizárraga
Ing. Eduardo Farfán Bazán Ing. Javier Ticona Paucara
Br. José Campano

COLABORADORES

Ing. Robert Salazar Loayza
Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Geofísica

Arequipa, enero 2002

AGRADECIMIENTO:

Por su colaboración y apoyo a los representantes de los siguientes Concejos Distritales:

- Concejo Distrital de Callalli
- Concejo Distrital de Sibayo

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 METODOLOGIA	2
1.3.1 Trabajo Bibliográfico	2
1.3.2 Trabajo de campo	2
1.3.3 Gabinete	2
1.3.4 Base cartográfica	2
1.4 UBICACIÓN	3
1.5 CLIMA Y VEGETACION	3
CAPITULO II	7
2. ASPECTO SOCIO-ECONOMICO	7
2.1 Infraestructura de transporte	7
2.2 Infraestructura agrícola	7
2.3 Las características de la población	7
2.4 La actividad pecuaria	8
CAPITULO III	9
3. GEOLOGIA	9
3.1 HIDROLOGIA	9
3.1.1 Río Colca	9
3.1.2 Análisis pluviométrico	11
3.2 CORRELACION ENTRE CAUCE Y ESTRUCTURA GEOLOGICA DEL RIO COLCA	12
3.3 ESTRATIGRAFIA	13
3.3.1 Grupo Yura	13
3.3.1.1 Formación Labra	13
3.3.1.2 Formación Gramadal	13
3.3.1.3 Formación Hualhuani	15
3.3.1.4 Grupo Yura indiviso	15
3.3.2 Grupo Tacaza	16
3.3.3 Formación Pichu	16
3.3.4 Grupo Sillapaca	17
3.3.5 Grupo Barroso	17
3.3.6 Depósitos aluviales	18
CAPITULO IV	19
4. GEODINAMICA EXTERNA	19
4.1 FACTORES	19
4.2 PROCESOS DE GEODINAMICA EXTERNA	19
4.2.1 Cordillera Occidental	19

4.3 PROCESO DE ORIGEN ANTROPICO	20
4.4 RIESGOS NATURALES O GEOLOGICOS	20
4.4.1 Inundaciones	20
4.4.2 Deslizamientos y derrumbes	21
4.4.3 Flujos de barro (Activación de quebradas)	21
CAPITULO V	23
5. GEODINAMICA INTERNA	23
5.1 SISMICIDAD	23
5.1.1 Sismicidad Histórica	23
5.1.2 Tectonismo de la Región Andina	32
5.1.3 Análisis de la sismicidad	35
5.2 MICROZONIFICACION SISMICA	38
5.2.1 Refracción Sísmica	38
5.2.1.1 Localidad de Callalli	38
5.2.1.2 Localidad de Sibayo	41
5.2.2 Resistividad Geoeléctrica	42
5.2.2.1 Localidad de Callalli	42
5.2.2.2 Localidad de Sibayo	43
5.2.3 Aspecto Geotécnico	45
5.2.3.1 Mecánica de Suelos	45
5.2.3.2 Tipos de Suelos	47
5.2.3.2.1 Localidad de Callalli (Suelos Tipo II)	47
5.2.3.2.2 Localidad de Sibayo (Suelos Tipo II)	47
5.3 EVALUACION DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001	49
5.4 MAPA DE PELIGROS DE CALLALLI Y SIBAYO	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56
ANEXOS	
A. LISTA DE PERFILES SISMICOS	
B. LISTA DE COLUMNAS SISMICAS	
C. LISTA DE SECCIONES DE SONDAJE ELECTRICO VERTICALE (SEV)	
D. RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO	
E. LISTA DE PLANOS	
• Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas (CALLALLI)	
• Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas (SIBAYO)	
• Zonificación Sísmica (CALLALLI)	
• Zonificación Sísmica (SIBAYO)	
• Activación de quebradas e inundación (CALLALLI-SIBAYO)	
• Mapa de Peligros (CALLALLI-SIBAYO)	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Mapa de ubicación de la Zona de Estudio	4
2. Plano Topográfico de la zona de Estudio	10
3. Plano Geológico de Callalli y Sibayo	14
4. Isosistas del Sismo del 15 de enero de 1958	28
5. Isosistas del Sismo del 13 de enero de 1960	30
6. Isosistas del Sismo del 16 de febrero de 1979	31
7. Isosistas del Terremoto del 23 de junio del 2001	33
8. Mapa epicentral, período 1964-1998	36
9. Mapa epicentral, Campañas Sísmicas:1965, 969,1975-76 y 1985	37
10. Secciones Sísmicas	39

LISTA DE CUADROS

	Pag.
1. VELOCIDADES Y ESPESORES DE CALLALLI	41
2. VELOCIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO	42
3. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE CALLALLI	42
4. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO(PUENTE NUEVO)	44
5. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO(PUEBLO VIEJO)	44
6. EVALUACION DE DAÑOS DE CALLALLI Y SIBAYO	49

RESUMEN

La evaluación de peligros de las localidades de Callalli y Sibayo, se ha realizado mediante los Métodos Geofísicos de Refracción Sísmica y Sondeo Eléctrico Vertical, Estudios Geotécnicos y Geológicos. Estos poblados se encuentran ubicados en la parte alta del río Colca a 3800 msnm aproximadamente, pueblos dedicados fundamentalmente a la ganadería debido a las condiciones climáticas.

El pueblo de Callalli se encuentra asentado en una terraza cercana al río Llapa y cuyo suelo es de origen aluvial, es el mismo caso que el pueblo de Sibayo. De acuerdo al análisis de las observaciones realizadas, a estos le corresponden un suelo de relativa estabilidad.

El nivel de precipitación en época de lluvias es alta, sin embargo le corresponde un peligro bajo por las condiciones de las viviendas y su topografía. En relación al gran caudal de los ríos Llapa y Colca propiamente dicho, reviste un peligro alto por la erosión y socavamiento de sus riberas, que podría traer consecuencias como obstrucción del tránsito, deterioro del Puente que une Callalli y Sibayo e inundaciones en los sectores bajos adyacentes al río Colca como en el poblado antiguo de Sibayo.

Adicionalmente estos dos poblados están expuestos a la activación de quebradas que surcan al NE de Callalli y frente a Sibayo, que eventualmente podría erosionar parte de la plataforma de la carretera y de los poblados.

Los daños registrados en el sismo del 23 de junio del 2001 fueron moderados, fundamentalmente porque la energía liberada en dicho sismo llegó al poblado sumamente atenuada, aún cuando las viviendas en su mayor parte son de adobe y piedras. En Callalli las condiciones de las edificaciones de adobe son bastante consistentes mientras que en el poblado de Sibayo la mayor parte de las construcciones son de piedras.

Los resultados de los sondeos verticales adiciona la propuesta de estabilidad de estos suelos por el poco contenido de agua en sus capas, que concuerda con los estudios geotécnicos y las velocidades sísmicas encontradas.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El territorio peruano se encuentra ubicado en una de las regiones más activa del mundo desde el punto de vista tectónico, adicionalmente por una serie de factores como la presencia de la Cordillera de los Andes, la Corriente de Humbolt, la Corriente de El Niño y los Anticiclones es una región con una gran diversidad de clima. A través de la historia nuestro territorio ha sufrido desastres a consecuencia de los fenómenos naturales, tal como lo ocurrido con el sismo del 23 de junio del 2001, donde se registraron 39 pérdidas de vidas humanas y considerables daños materiales. Este evento sísmico comprometió todo el Sur del Perú, pero ocasionando daños moderados en las viviendas de este sector.

En el año de 1994, por efectos del fenómeno de El Niño en muchos lugares del territorio peruano se registraron considerables daños. Estadísticamente este fenómeno natural ocasionó 41,180 damnificados, medio centenar de muertos y 4,297 Has afectadas. Los daños superaron los US\$ 25'000,000 en pérdidas. Se calcula que el 60% de las carreteras fueron interrumpidas por los huaycos, deslizamientos y derrumbes que dejaron aislados a centenares de pueblos. En estos dos poblados no se registraron daños por efecto del El Niño.

La cuenca del río Colca - Majes - Camaná es importante tanto por las actividades mineras, agrícolas, ganaderas y turísticas que en ella se desarrollan, las localidades de Callalli y Sibayo ubicadas a una altitud de aproximadamente 3800 msnm tiene como actividad económica principal la ganadería.

La geodinámica externa de la zona esta relacionada fundamentalmente a los procesos de reactivación de quebradas, huaycos, deslizamientos y derrumbes, fundamentalmente por su ubicación geográfica el nivel de precipitación es sumamente alta. La actividad reciente del volcán Sabancaya, los fenómenos de remoción en masa como los de Lari, Madrigal, Maca y Ayo (deslizamientos), no tienen repercusión en los poblados de Callalli y Sibayo.

En el territorio peruano y particularmente nuestra región ha soportado una serie de desastres naturales, ocasionando una fuerte incidencia en el desarrollo socio-económico. Por ello, es de vital importancia la identificación de los peligros para una exacta planificación de desarrollo a través de propuestas de vulnerabilidad y de riesgo.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del mapa de peligros son:

- Identificación de la estratigrafía de los poblados de Callalli y Sibayo en base a los estudios geológicos, geofísicos y de suelos.
- Definir las características físicas de los suelos.
- Mejorar las características constructivas de las viviendas que en la mayoría de los casos son de adobe y de piedras, formulando nuevos sistemas, que brinde mayor seguridad y resistencia a los efectos de sismos.
- Crear conciencia y responsabilidad en la colectividad frente a los peligros a los cuales esta expuesta dichas localidades; Para que esta se organice y tome las medidas necesarias para cautelar su seguridad física e integridad de sus bienes.
- Definir estrategias que permitan acelerar las actividades de rehabilitación y reconstrucción, en caso de desastres.
- Identificar las zonas de mayor peligrosidad, que permitirá definir y cuantificar las principales medidas que deben ser adoptadas para reducir la vulnerabilidad de las viviendas y de los terrenos, que se encuentran expuestas a la amenaza de sismos, inundaciones, deslizamientos y otros.

1.3 METODOLOGIA

El estudio se ha realizado teniendo en consideración las siguientes etapas:

1.3.1 Trabajo bibliográfico

- Evaluación de la información disponible
- Análisis de los fenómenos naturales de la zona de estudio
- Recopilación de información hidrológica
- Información sísmica
- Recopilación sobre información de suelos

1.3.2 Trabajo de campo

- Evaluación geológica
- Reconocimiento General del terreno materia de estudio
- Estudio sísmico de refracción
- Sondeo eléctrico vertical
- Calicatas
- Evaluación de daños del sismo del 23 de junio

1.3.3 Gabinete

- Ensayos de laboratorio
- Análisis y evaluación de los fenómenos
- Tratamiento de información sísmica
- Interpretación de los sondeos
- Interpretación de los resultados de análisis de suelos
- Preparación del informe
- Presentación del estudio

1.3.4 Base cartográfica

Para la realización del presente estudio se ha utilizado lo siguiente:

- Imágenes de satélite Landsat
- Cartas fotogramétricas a escala 1:100 000 del Instituto Geográfico Nacional

- Mapas de la Carta Geológica
- Mapas de diversos organismos

1.4 UBICACION

El área de estudio donde se han realizado las evaluaciones de peligros, se encuentra en la provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. Los poblados considerados en el presente estudio son Callalli y Sibayo (Fig. 1, Fotos 1 y 2).

Ambos pueblos se encuentran ubicados en la parte alta del río Colca a una altitud promedio de 3800 msnm, donde la actividad económica principal es la cría de auquénidos y ovinos.

1.5 CLIMA Y VEGETACION

El clima de la cuenca en general varía de acuerdo a los diferentes pisos altitudinales existentes, el área de estudio se ubica en las siguientes regiones:

- **Región andina:** Región ubicada entre los 2,000 y 3,000m, está caracterizada por un clima desértico montano templado, las lluvias alcanzan promedios anuales entre 98 á 227mm, con una humedad relativa promedio que fluctúan alrededor del 65% y temperaturas que varían entre 12° y 17°C entre los niveles bajo y alto respectivamente.
- **Región andina:** Región ubicada entre los 3,000 y 4,000m, de clima templado sub-húmedo con temperaturas promedio anuales de 7.8°C mayores en el verano (10.8°C) y mínimas en el invierno (4.8°C), con máximas de 21°C y mínimas extremas de – 10.6°C.

Las precipitaciones son de régimen estacional y ocurren entre Enero y Marzo con promedios anuales entre 226 y 560 mm. La humedad relativa promedio anual es de 48%.

- **Región andina superior:** Comprende sectores que superan los 4,000 m. (altiplano y puna), caracterizado por un clima frígido, donde la temperatura anual promedio es de 3.1°C, con extremos de 14.0°C en el verano y -10.7°C en el invierno. Las precipitaciones alcanzan valores entre 481–926 mm. anuales.

La zona se caracteriza por presentar la siguiente vegetación natural:

- **Cuenca Media:** Especie arbustivas semileñosas y leñosas, tola; silvestres como:upino, agave, tuna y sincera; arbóreos: aliso y arrayán.
- **Cuenca Alta:** Sobresalen: la tola, el canlli, la yareta, etc.

Los pueblos considerados para la evaluación de peligros le corresponden clima de la región andina y los principales peligros estarían relacionados con los deslizamientos, inundaciones y activación de quebradas.

CAPITULO II

ASPECTO SOCIO-ECONOMICO

En este punto se describe lo concerniente a la infraestructura existente en el área de estudio:

2.1 INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE

Los poblados de la parte alta de la cuenca del Colca se comunican con la ciudad de Arequipa a través de la carretera que por sectores se encuentran en proceso de reconstrucción, es posible llegar a estos poblados a través de Arequipa-Chivay o Arequipa-La Pulpera. A su vez los poblados de Callalli y Sibayo se conectan con la ciudad del Cusco y la localidad de Caylloma.

2.2 INFRAESTRUCTURA AGROPECUARIA

Eliminado: ¶

En el área de estudio la actividad principal es la crianza de auquénidos y en menor escala la crianza de ganado vacuno y ovino, la fuente hídrica proviene de las aguas que discurren en el río Colca, la actividad agrícola es prácticamente nula por las condiciones climatológicas y la altitud a que se encuentran los pueblos de la parte alta del Colca. La actividad principal lo desarrollan en los pastizales que se encuentran a mayor altitud, por ello es posible observar que muy pocos pobladores se encuentran habitando en forma permanente.

2.3 LAS CARACTERISTICAS DE LA POBLACION

Las unidades familiares en los poblados del valle del Colca según los resultados del estudio se caracterizan por:

- A. El escaso tamaño de la familia en la medida en que el número de sus miembros fluctúa muy variadamente entre tres y seis personas, en los sistemas de la zona alta e intermedia, superan los 5 miembros por familia.
- B. Los Jefes de familia, por su edad, tienden a ser generalmente mayores de 30 años. El 85.6% de los entrevistados se ubica en este rango, por tanto son escasas las familias jóvenes.
- C. La tendencia migratoria es coherente con lo anterior. Las personas inmigrantes con residencia definitiva fuera de la zona constituyen entre el 41% y el 52% en cada unidad familiar.
- D. Los niveles educativos de la población local, sin embargo, son relativamente altos. Sólo el 4% de familias responde no tener ningún grado de educación mientras que el 72% de los jefes de familia tienen instrucción formal de primaria completa a más. El 47% tiene secundaria incompleta a más y el 22% secundaria completa o, además educación superior. Estamos por tanto frente a una población con una considerable ventaja en términos de capacidades y nivel educativo.

2.4 LA ACTIVIDAD PECUARIA

La producción pecuaria más comunes de la zona, son alpacas, llamas, ovinos y vacunos. Los dos primeros se ubican con preferencia en las comunidades altas y son de crianza secundaria en algunas comunidades del valle que tienen acceso a los pastos comunes de altura.

Los ovinos y vacunos tienen presencia más generalizada en todo el ámbito aunque en forma diferenciada. Los ovinos son de crianza más numerosa en las comunidades altas conjuntamente con los camélidos, pero también forman parte, en número más reducido, de la pequeña ganadería de muchas familias de las comunidades bajas. Por su parte, los vacunos, si bien están presentes en todos los grupos, se caracterizan por orientarse más a la producción de carne en las comunidades de la zona intermedia y alta, mientras que los de la zona baja se orientan más a la producción de leche.

Existen cinco tipos de sistemas de producción, se diferencian en forma nítida por las especies de crianza. Mientras que los dos primeros son las que combinan la posesión de las cuatro especies, con una preferencia por los camélidos y ovinos, los otros tres sistemas se dedican a la crianza casi exclusiva de ovinos y vacunos.

*** Tecnología Pecuaria**

La característica común es el carácter familiar directo de la crianza en la medida en que los hatos son conducidos en todos los casos por los mismos propietarios. No se acostumbra el uso de pastores contratados. La única forma de delegación de las tareas de pastoreo, en el caso de alpacas, llamas y ovinos, se da mediante las relaciones de cooperación entre familiares, fenómeno que ocurre especialmente en las zonas altas donde el sistema de condominio de las estancias permite confiar los animales al cuidado de unos y otros miembros de la familia extensa. En todos los casos se utilizan corrales rústicos para proteger a los animales durante la noche. No se han reportado casos de familias que posean instalaciones como bebederos, comederos o establos en ninguna de las comunidades del ámbito.

Los pastos naturales, bajo estas condiciones, son aprovechados en forma extensiva y simple. Su desarrollo es más dependiente de las condiciones climáticas y las posibilidades de manejo son limitadas. En pocos casos las familias realizan trabajos de protección o de abonamiento directo. La única forma de abonamiento de los pastizales se da en forma espontánea mediante las excreciones de los propios animales. Las prácticas de abonamiento se dan en todo caso para secciones muy limitadas y en los casos siempre de pastos cultivados.

CAPITULO III

GEOLOGIA

Eliminado: ¶

En el presente capítulo se describe La Hidrología y las rocas existentes en los alrededores de los poblados de Callalli y Sibayo, esto es, con la finalidad de definir las implicancias con la ocurrencia de fenómenos geodinámicos.

3.1 HIDROLOGIA

3.1.1 El río Colca

El río Colca-Majes y Camaná, en la vertiente del pacífico es uno de los de mayor longitud, sus nacientes está en el C° Yanasalla, a 4886 m al NE del departamento de Arequipa, en el límite con el departamento de Puno. En sus inicios sigue una dirección SE-NO, atravesando las Pampas de Acucullo, Lazayacınca y Colca, donde toma el nombre de Colca (Fig. 2).

El río Colca, recibe una serie de afluentes, siendo el mayor el río Negrillo, luego recibe las aguas del río Acopunco y a partir de esta confluencia cambia de rumbo y se dirige al SSO, hasta Chivay donde varía nuevamente su dirección y discurre con rumbo E-W, formando un importante valle agrícola entre los 3 651 m (Chivay) y los 2 219 m (confluencia del Colca con el río Huaro Rumi). Concluye el valle agrícola y el Colca formando un largo y profundo cañón, sigue con dirección NO-SE hasta confluir con el río Andamayo, donde una vez más cambia de rumbo y de nombre pues se dirige con dirección N-S, y la denominación de río Majes nombre que se mantiene hasta poco antes de su desembocadura, llegando al mar como río Camaná, al Norte de la ciudad de Camaná.

La longitud es de 397 Km, con una pendiente promedio de 1.2%. Tiene una forma ensanchada en su sector superior y alargada en el inferior. Como casi todos los ríos de la costa, es de fondo profundo y quebrado y de fuertes pendientes. Se encuentran en su parte superior varias lagunas como las de Arcata, Huisca Huisca, Mamacocha, Chilacocha, Samaccota y Mucurca. Sus afluentes principales por la margen derecha, son los ríos Blanquillo, Negrillo, Condoroma, Moqueruyo, Molloco, Chalhuanca, Ayo, Mamacocha y Capisa. Por la margen izquierda los ríos Antasalla, Callalli, Hualca Hualca y Huambo.

El escurrimiento superficial del río se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta.

3.1.2 Análisis pluviométricos

La cuenca del río Colca-Camaná-Majes comprende áreas que se ubican en diferentes regiones geográficas: costa, sierra, sierra alta y puna, con altitudes que varían entre 0 á 6,300 msnm, donde se manifiestan marcadas diferencias en el régimen de precipitaciones, con influencia directa de la altura y de las condiciones orográficas del

macizo rocoso andino, denotándose un incremento a medida que nos alejamos de la influencia marina litoral.

La cuenca se ha dividido en sectores de acuerdo a su altitud geográfica:

- Cuenca baja (0-2,000m)

La precipitación máxima controlada en cuatro estaciones, se registra en el mes de Enero con promedios entre 2.2 y 4.6 mm mensuales (el máximo se registró en 1967, alcanzando 89.4 mm). Los promedios anuales varían entre 2 y 12 mm. El promedio anual de precipitación calculada por el método de Thiessen es de 1.0mm.

- Sector medio de la sierra baja (2,000 a 3,000m)

El periodo lluvioso se da entre los meses de Enero y Marzo (con valores máximos en Febrero). El promedio para estos tres meses es de 51.5 mm, 50.5 mm, 39.6 mm. y 27.3 mm. en Chuquibamba, Pampacolca, Choco y Ayo respectivamente, Los promedios anuales varían entre 98 y 227 mm. Los meses más secos ocurren en Junio y Julio con promedios mensuales entre 0.0 y 2.0 mm. de precipitación.

Valor máximo mensual alcanzado es de 220.5 mm. en Febrero de 1989 (Chuquibamba). El año más húmedo se registró en 1972 (Chuquibamba, con 389 mm.). El año más seco ocurrió en 1970, registrando en Ayo 43.2 mm.

- Sierra alta (3,000 y 3,900 m)

El nivel de precipitación promedio anual varía entre 226.2 mm en Chachas (3,055 m.) a 560 mm en Sibayo (3,810 m). Se cuenta con registros para este sector de 11 estaciones meteorológicas.

El periodo de lluvias entre Enero y Marzo varía en las diferentes estaciones, con promedios mensuales, para este periodo de 62.3 mm en Chachas, 198.4 mm. en Machahuay, 85.6 mm. en Madrigal, 106.4 mm en Cabanaconde, 177 mm en Huambo, 235.5 mm, en Yanque, 120 mm. en Andahua, 90 mm en Chivay, 113.7 mm en La Calera, 102.6 mm en Orcopampa y 119.9 mm en Sibayo. El periodo seco ocurre entre Junio y Julio con promedios de 0.1 a 1.5 mm mensuales, en la localidad de Madrigal se registró una de las precipitaciones mas altas en marzo de 1968 que alcanzó un valor mensual de 329.4 mm.

Los años más lluviosos se dieron en 1954 (Yanque), 1967 (Chachas), 1963 (Orcopampa), 1972 (Machahuay), 1986 (Cabanaconde), siendo el mayor el registrado en Orcopampa con 871 mm anuales.

Los años más secos se registraron en 1978 (Machahuay), 1983 (Chivay, Madrigal) y 1992 (Orcopampa), siendo el de menor registro el de 1978 en Machahuay con 60.4 mm anuales.

- Sector puna (sobre los 3,900 m)

El promedio anual varía en las diferentes estaciones entre 480.9 a 926.1 mm en el sector NE de la cuenca (Estaciones Hda. Morocaque y Huinco) a 632 mm. en el sector NO (Estación Pulhuay).

El periodo de precipitaciones abundantes está comprendido entre Diciembre y Marzo, registrándose los promedios más altos en Huinco (159.1 mm. mensuales, para estos cuatro meses, representando el 69% de la precipitación total anual). El valor máximo mensual se registró en Pulhuay, en marzo de 1973 con 571 mm. Los meses de menor precipitación se registran en junio, julio y agosto.

El año de mayor precipitación se registró en Huinco en 1967, acumulando ese año 1452.2 mm el año más seco ocurrió en 1983, registrando 164.4 y 230.7 mm en Pulhuay y Crucero Alto respectivamente. También se registraron años moderadamente secos en 1965 (Pulpera), 1969 (Tisco) y 1971 (Pañe y Morocaque).

La variación media anual en el sector Puna, calculada por el Método de Thiessen es de 194.21 mm anuales.

3.2 CORRELACION ENTRE CAUCE Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA DEL RÍO COLCA

Desde sus nacientes el río Colca presenta una correlación entre su recorrido (cauce) y la geología (sistemas de fallamiento, plegamiento y rocas).

En la cuenca alta, en su nacimiento, conocido como río Chilamayo su cauce de dirección SE-NO y N-S, muestra un control litológico, pues recorre en el contacto entre areniscas tobáceas, calizas del Grupo Maure e ignimbritas dacíticas y lavas andesitas-dacitas del Grupo Barroso, hasta el sector de Pallca (Qda. Infiernillo), continuando con la misma dirección por los cuadrángulos de Callalli y Condoroma hasta el paraje Morokake desembocadura de la Qda. Charcantaya afluente por la margen derecha, cruzando en este sector primero a la Fm. Sillapaca (lavas porfiríticas, andesíticas a dacíticas, luego como característica peculiar cerca y en el contacto entre afloramientos de la Fm. Confital (Grupo Barroso) y Grupo Maure indiviso con la Fm. Sillapaca, y luego, entre las Qda. Huamarutuña y Charcantaya por sectores, entre lavas andesíticas del Grupo Tacaza y Fm. Acopata del Grupo Barroso, manifestándose igualmente un control litológico en el cauce principal y quebradas tributarias. Los afluentes primarios muestran un patrón de drenaje paralelo a subparalelo. Cabe mencionar que las fallas o estructuras geológicas, reconocidas en este sector tienen dirección NO-SE, que coinciden con la dirección principal del Río Colca, Río Llapa y otras quebradas menores como Lloclla y Parcomayo.

Entre Morokake y Sibayo el río cambia de dirección a NE-SO y N-S, dando un quiebre en forma de “U” invertida, debido evidentemente a un control litológico, originado por la depositación del Volcánico Barroso (Fm. Acopata) en el Plioceno, que hicieron cambiar de curso del Río Colca. Aquí atraviesa tobas del Grupo Tacaza y en el contacto entre cuarcitas, calizas y lutitas del Grupo Yura y los Volcánicos Tacaza (entre Cotaña y Sibayo).

Este control lito-morfoestructural se hace más evidente entre Sibayo y Pinchollo, en donde la actividad volcánica del Plio-Pleistoceno (Grupo Barroso) y reciente (Grupo Ampato).

La orientación entre Chivay y Cabanaconde es E-O, la dirección del cauce, está controlado por la actividad volcánica mencionada, e inclusive el ancho de la cuenca se

estrecha en este sector (Chivay y Pinchollo), que evidencia la ocurrencia de centros volcánicos tanto al Norte (Volcán Mismi y otros) y al sur (Hualca Hualca, Sabancaya, Ampato y Ananto), como divisorias de aguas, reduciendo el ancho de la cuenca en este sector a 27 Km.

Como expresión litomorfo-estructural más saltante se incluye también el cañón del río Colca, de aproximadamente 64Km. de longitud, que se inicia en Pinchollo al este y termina 2Km. aguas debajo de la Qda. Andamayo, con un recorrido NE a SO, el cual ha labrado su cauce en el tramo inicial, en rocas volcánicas del Grupo Ampato, erosionadas en aproximadamente 3,000 metros (zona más profunda), luego rocas del Precámbrico y finalmente cortando perpendicularmente a secuencias replegadas del Grupo Yura y la Fm. Murco, fácilmente erosionables hasta la confluencia con el río Taparza.

El río mantiene una dirección casi paralela a fallas gravitacionales neotectónicas, siendo posible que el cañón esté pasando por una de ellas, que en forma longitudinal se une a la falla Filos Unca, prolongándose hasta frente a Pampa de Ayo donde se ha reactivado y controla estructuralmente el cauce principal del río. Las divagaciones de éste serían pequeñas fallas tensionales relacionadas a la falla principal.

3.3 ESTRATIGRAFIA

En la región las unidades estratigráficas reconocidas abarcan desde el Jurásico Superior, hasta el Cuaternario reciente (Fig. 3), sus características se describen a continuación:

3.3.1 Grupo Yura

El Grupo Yura está presente sólo en la parte occidental del área del Proyecto en los cuadrángulos de Chivay, Condorama, Callalli y Ocuvi. El Grupo Yura fue dividido por BENAVIDES (1962) en cinco formaciones, siendo mapeada primero en su área típica en el cuadrángulo adyacente de Arequipa por VARGAS (1970). Las tres formaciones superiores: Labra, Gramadal y Hualhuaní, afloran en el extremo SO del cuadrángulo de Chivay y en Toroya. Otros afloramientos ocurren cerca de Sumbay y Sibayo.

3.3.1.1 Formación Labra

La formación Labra se compone de cerca de 500 m. de areniscas cuarzosas blancas a marrón claro con estratificación cruzada, las cuales afloran al SO de Toroya. Ellas se distinguen por su bandeamiento fino y sus tonos blancos.

3.3.1.2 Formación Gramadal

La formación Gramadal aflora en la Quebrada Seraj, donde se observan pequeños afloramientos de calizas gris oscuro, lamosas, cubiertas por una caliza nodular masiva que suma en total cerca de 200 m. de grosor.

3.3.1.3 Formación Hualhuaní

Los principales afloramientos de esta formación se encuentran al SE de Toroya es un testigo cerca de Sibayo y en la esquina extremo SE del cuadrángulo de Condorama. Se compone de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color blanco a gris claro y marrón claro con menor cantidad de fangolitas rojas, algunas areniscas feldespáticas, marrón rojizo de grano fino a medio y capas conglomerádicas con clastos de vena de cuarzo hasta de 2 cm.

En términos regionales la potencia está entre 100 y 500 m. pero en el cuadrángulo de Chivay, en túneles construidos para el proyecto de la irrigación de Majes, hay evidencia de espesamiento tectónico presumiendo que sea debido a sobrecorrimientos sobre los planos de estratificación. En forma similar al SE del cuadrángulo de Condorama es difícil estimar la potencia debido a que aflora conjuntamente con la Formación Arcurquina en una serie de sobrecorrimientos.

3.3.1.4 Grupo Yura Indiviso

En afloramientos donde las formaciones componentes del Grupo Yura, no se pueden diferenciar, se las muestra en el mapa como indiviso. Los afloramientos más grandes están en Sumbay y Sibayo.

El Testigo de Sibayo: El Grupo Yura indiviso está bien expuesto en el valle del Río Colca al Norte de Sibayo. Afloran en Cerro Cullumpa donde se expone la siguiente sección:

	Espesor (m)
Arenisca gris oscura cuarzosa masiva bien estratificada (Formación Hualhuani)	100
Caliza gris oscura de grano fino, fosilífera Intercalada con capas de areniscas cuarzosas delgadas y limolitas lutáceas gris oscuro (Formación Gramadal)	60
Arenisca cuarzosa, blanquecina a marrón claro con intercalaciones delgadas de Lutita negra (comunes en los 20 m. Superiores) y calizas fosilíferas delgadas (Formación Labra)	170
Grupo Tacaza	
Areniscas tufáceas y arcósicas de grano medio a grueso, finamente estratificadas, con ocasionales capas conglomerádicas, que contienen abundantes Gravas volcánicas (40%)	65
Areniscas subarcósicas, marrón rojizo pálido interestratificado con conglomerados lenticulares que contienen gravas redondeadas y cantos (hasta de 15 cm. de sección transversal) de cuarcita gris pálida y gris verdosa pálida, areniscas rojas, calizas y volcánicas (principalmente andesitas porfiríticas)	55
Areniscas arcósicas rosadas marrón pálido de gris medio a grueso, interestratificadas con abundantes capas de conglomerados, localmente en canales cortando capas de areniscas que contienen gravas subredondeadas a subangulares de cuarcita, areniscas rojas y caliza	30
Conglomerado masivo, soportado por clastos con bloques subredondeados a subangulares hasta de 60 cms. De sección transversal, de caliza gris (50%) cuarcíticas y areniscas rojas	660
Areniscas rojas, tufáceas, arcósicas de grano fino a medio, masivas, pobremente estratificadas, localmente con estratificación cruzada, con escasos lentes de conglomerados hasta de 1 m. de espesor.	350
Areniscas roja violáceo, arcósicas, grano medio con capas delgadas conglomerados hasta de 1 m. de espesor con gravas redondeadas a subangulares hasta de 29 cm. de sección transversal de arenisca roja; cuarcitas, calizas cherts y venas de cuarzo	600

Areniscas gris violáceas pálidos a intensas, arcósicas grano fino a grueso, mal clasificadas, con escasos lentes conglomerádicos conteniendo gravas hasta de 5 cm. de sección transversal de cuarcitas subangulares a subredondeadas, areniscas rojas con cherts y volcánicos con alternancias cíclicas de 1 m. de espesor de capas de grano fino y medio a grueso	390
Areniscas blancas a anaranjado pálido, a amarillo pálido, arcósicas de grano Fino a medio, bien estratificado, localmente con laminación fina, estratificación cruzada, con escasas cavidades conglomerádicas	50
Areniscas arcósicas, rojo violáceo de grano fino a grueso	40
TOTAL	2240

3.3.2 Grupo Tacaza

El término Volcánicos Tacaza, fue empleado por primera vez por JENKS, (1949), siendo publicado formalmente por NEWELL (1949), describiendo una gruesa acumulación de rocas volcánicas en las proximidades de la Mina Tacaza en el cuadrángulo de Lagunillas. El Grupo Tacaza ocupa una gran extensión en los cuadrángulos de Chivay, Condoroma, Ocuvi, Lagunillas y Pichacane. Descansa casi siempre en discordancia sobre rocas del Mesozoico o del Grupo Puno, y localmente sobre estratos paleozoicos (N. Del Lago Arapa). En el cuadrángulo de Puno, el Grupo Tacaza descansa en contacto paralelo sobre el Grupo Puno. Este es a su vez superpuesto por varios volcánicos del Cenozoico o rocas volcánicas que se extienden desde las ignimbritas del Grupo Palca hasta las lavas del Grupo Ampato de edad Cuaternaria.

Como en muchas localidades no hay secciones completas, el espesor total es difícil de estimar. Se puede apreciar la variación general de 250 m. en el cuadrángulo de Juliaca a más de 1,900 m. en el valle del Colca.

3.3.3 Formación Pichu

Esta formación fue descrita por primera vez por MAROCCO y DEL PINO (1966) en el cuadrángulo de Ichuña. No se ha descrito una sección típica, pero las litologías son principalmente de tobas riolíticas, riolíticas y ignimbríticas con menores cantidades de lavas andesíticas y conglomerados. La formación ha sido mapeada también en el cuadrángulo de Characato (GUEVARA 1969).

En la presente área la Formación Pichu aflora solamente en el cuadrángulo de Callalli. Descansa discordantemente sobre el Grupo Tacaza, en contactos bien expuestos directamente al sur del poblado de Callalli.

El espesor es difícil de estimar debido al plegamiento, pero por lo menos 500 m. afloran al S. De Callalli y al E. de Sumbay. Su expresión fotogeológica es bastante variable, siendo gris claro pero dominando los tonos blancos. Son comunes las trazas de estratificación espaciadas estrechamente, con escarpas claras, rocosas y bajas, excepto en el sur donde la formación es de un tono gris y casi sin forma.

La sucesión es bastante variable pero las ignimbritas soldadas y no consolidadas son dominantes, en unidades de flujo menores a 20 m. de espesor, excepcionalmente

alcanza 50 m. por ejemplo en el valle del Río Llapa, donde forman farallones verticales. Ejemplos de ignimbritas soldadas, líticas, lapillíticas, cristalizadas de color gris morado, están bien expuestas cerca de Sihuacollo. Los cristales son plagioclasa, biotita y cuarzo, los clastos líticos son menores a 1 cm. y la pumita cerca de los flujos es también generalmente menor a 1 cm. de diámetro.

3.3.4 Grupo Sillapaca

El término se ha derivado de la Cordillera Sillapaca al NO del cuadrángulo de Lagunillas, nominado por JENK y NEWELL (1949), usando ambos el nombre de volcánicos Sillapaca y “Grupo Sillapaca”. Posteriormente PORTUGAL (1984) introduce el término “Formación Sillapaca” a lo largo de los volcánicos de la Cordillera. Estos autores también incluyen el basalto de Umayo geográfica y morfológicamente distinto, el cual en el presente informe se incluye en el Grupo Barroso. Los volcánicos de la Cordillera Barroso, al sur del área del proyecto han sido correlacionados con la Formación Sillapaca (WILSON y GARCIA 1962). Pero en el presente estudio, se ha reconocido que el Grupo Sillapaca es más antiguo aunque sus relaciones no han sido del todo aclaradas.

El principal criterio usado en el mapeo del Grupo Sillapaca, en el área tipo es el reconocimiento de la horizontalidad o el suave plegamiento de los volcánicos y no fácil de identificar, cuando se trata de conos volcánicos. Las edades radiométricas de la secuencia tipo han sido establecidas en el Grupo Sillapaca, así como las secuencias volcánicas contemporáneas que no necesariamente poseen la misma litología o característica morfológica. La secuencia está dominada por lavas formando riscos, principalmente de composición dacítica a traquiandesítica y alcalinas de Condorama y Ocuvi, Callalli y Lagunillas y en pequeños afloramientos aislados en el cuadrángulo de Ilave. Principalmente se muestran como Cordilleras cubiertas de nieve con picos por encima de los 5,000 m. siendo característicamente peñascos como resultado de la presión de congelamiento del agua en las grietas de las rocas.

3.3.5 Grupo Barroso

La Cordillera del Barroso se encuentra en la esquina NO del cuadrángulo de Palca, designada como área típica para la Formación Barroso por WILSON y GARCIA (1962). La Formación consiste en una serie erosionada de andesitas y traquitas, proviene de conos volcánicos por glaciación pre-pleistocénica donde las tobas dominan sobre las lavas. Posteriormente MENDIVIL (1965), eleva la Formación Barroso a la categoría de Grupo, definiéndola como una secuencia que comprende todas las rocas volcánicas posteriores a la Formación Capillune y anteriores a la última glaciación. El Grupo fue dividido en 3 unidades cada una separada por una discordancia son: el volcánico Chilca, el volcánico Barroso y el volcánico Pumpurini. MENDIVIL (1973). En la actualidad el Grupo Barroso ha sido adoptado dentro de un posterior mapeo regional en el Sur del Perú y como tal ahora una entidad estratigráfica establecida (MAROCCO y DEL PINO, 1966; GUEVARA, 1969; VARGAS, 1970, GARCIA, 1978; BELLIDO, 1979). En el presente informe, el Grupo Barroso incluye a todas las rocas volcánicas y vulcanoclásticas posteriores al Grupo Sillapaca, y anteriores a la última glaciación pleistocénica; no ha sido posible utilizar las subdivisiones formacionales de MENDIVIL (1973) en base a criterios regionales.

3.3.6 Depósitos Aluviales

A través del área mapeada en valles, depresiones y llanuras, se observan depósitos aluviales. Comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos, pueden distinguirse perfectamente, pudiendo ser mapeados separadamente, pero en los valles pequeños y de áreas con tierras levantadas, son generalmente indiferenciables.

Las llanuras aluviales del altiplano consisten predominantemente de arenas bien clasificadas derivadas en parte de los retrabajamientos de depósitos lacustrinos antiguos. En las áreas de tierra alta muchos de estos materiales aluviales han sido derivados del retrabajamiento de detritos glaciares de morrena y de fluvioglaciares de bloques de grava inconsolidados y de grava de canto que han rellenado muchos de los valles. En muchos de los principales valles se tienen evidencias de erosión reciente. Así como de depósitos aluviales más viejos que están preservados, formando una serie de terrazas levantadas.

CAPITULO IV

GEODINAMICA EXTERNA

4.1 FACTORES

Los factores asociados a la ocurrencia de los fenómenos de geodinámica externa que se localizan en el área se correlacionan de la siguiente manera:

-Litología.- Factor que involucra los tipos de rocas y/o suelo, su grado de alteración y su salud.

-Estructural.- Esta se relaciona con el tipo de estructuras geológicas (relación macizo rocoso-estructura) como plegamientos (anticlinales, sinclinales), fallas, fracturas, diaclasas, etc.

-Sísmico.- La ocurrencia de sismos es causa fundamental de los procesos de geodinámica externa, como deslizamientos, derrumbes, desprendimiento de rocas, etc. Estos actúan como disparadores.

Eliminado: (Maca)

-Clima.- La precipitación es uno de los factores principales de la geodinámica externa, relacionado con inundaciones, deslizamientos y otros.

-Morfología.- La forma del terreno y la pendiente son factores también condicionantes de los fenómenos de geodinámica externa.

4.2 PROCESOS DE GEODINAMICA EXTERNA

En la cuenca del Colca los procesos geodinámicos son sumamente activos, por consiguiente de incidencia negativa en el medio físico, centros poblados, infraestructura y la actividad socioeconómica de la cuenca. En relación a los poblados de Callalli y Sibayo, ellos estarían expuestos fundamentalmente a los procesos de erosión, inundación, activación de quebradas y suelos.

Los procesos geodinámicos están relacionados a las unidades geomorfológicas y se agrupan según su espacio y origen, en el caso de la parte del valle del Colca estas se presentan, en las áreas adyacentes (cordillera andina, valles y planicie alta)

4.2.1 Cordillera Occidental

En este sector se tienen los siguientes procesos.

Procesos de origen fluvio-aluvial: Los procesos de dinámica fluvial (incisión, socavamiento, transporte y colmatación) se desarrollan en forma intensa en el río Colca (sector Tuti-Pinchollo-Andamayo, Cañón del Río Colca) y en menor proporción en la parte alta del Colca.

Los procesos de cárcaveo, incisión y desgaste laminar, son desarrollados por los agentes hídricos en forma de arroyos, flujos de barro (huaycos), dependiendo del factor litológico-estructural, su intensidad y formas. En las laderas de los valles las cárcavas, en algunos sectores son densas de diversa magnitud y con profundidades que van desde uno a decenas de metros.

Procesos de origen hidro-gravitacional: Procesos en cuyo mecanismo intervienen el agua y la gravedad. Se manifiestan como derrumbes, deslizamientos y reptación de suelos. Se presentan en los fondos de los valles y en las partes bajas de las vertientes,

en el caso de Callalli y Sibayo por su configuración morfológica estos procesos no se presentan con intensidad.

4.3 PROCESO DE ORIGEN ANTROPICO

Las actividades del hombre, reactivan y/o aceleran los procesos naturales que interfieren y también originan otros nuevos, que pueden constituirse en muy graves para el medio físico y al mismo hombre.

Las principales actividades que realiza el hombre y modifican el medio físico son:

- **Urbanismo:** Emplazamiento de poblados en las desembocaduras de los ríos, quebradas; en lecho de los ríos, al pie de taludes inestables, etc.
- **Construcción de Carreteras:** Los cortes en los taludes naturales en muchos casos contribuyen a la reactivación de antiguos derrumbes o deslizamientos, así como a generar nuevos procesos geodinámicos.

Eliminado: ¶

4.4 RIESGOS NATURALES O GEOLÓGICOS

Estos pueden producirse como consecuencia de la dinámica propia del medio geológico, correspondiente a acciones previsibles a escala de tiempo humano y fruto de los procesos de geodinámica y que pueden afectar a las personas y a los bienes.

Se diferencia los peligros naturales de los peligros inducidos (acción antrópica), por que el factor desencadenante es producto de procesos independientes en gran medida, aunque no totalmente, de la voluntad humana. Como es el caso de la actividad erosiva del río, y que tiene repercusión sobre los terrenos y construcciones ubicadas en las zonas erosionables, pero los factores desencadenantes (presencia de materiales inconsolidados, pendiente del río, caudal, etc.) pueden considerarse prácticamente independientes a la actividad humana.

4.4.1 Inundaciones

Las altas precipitaciones en el área de estudio no tienen mayor incidencia en los poblados de Callalli y Sibayo, por el tipo de construcción y el suave pendiente donde se encuentran asentados. Sin embargo, podría estar expuesto a la generación de cárcavas en las partes altas del pueblo de Callalli.

4.4.2 Deslizamientos y derrumbes

Los deslizamientos se consideran a algunas de las formas de remoción en masa, en las que volúmenes de material intemperizado (suelo) y/o bloques y masas de roca fresca se desprenden y se desplazan cuesta abajo como una sola unidad sobre un plano inclinado o sobre una superficie cóncava.

Estos fenómenos tienen lugar cuando sólo un nivel subsuperficial traspasa el límite de plasticidad o liquidez, en cuyo caso la masa suprayacente (consolidada o suelta) se desliza sobre este plano.

En ambos poblados, los deslizamientos y derrumbes no ofrecen mayor peligro excepto en algunos tramos de la carretera cercanos a Callalli y Sibayo. Derivado fundamentalmente por:

- Influencia de las filtraciones.
- Influencia de las precipitaciones.
- Acción erosiva del río Colca
- Sismos
- Acción antrópica (construcción de carreteras y canales).

4.4.3 Flujos de barro (activación de quebradas)

Se incluyen varias formas de desplazamiento lento o rápido de materiales, cuesta abajo, por la acción conjunta de la gravedad y la saturación de agua. Los flujos de volúmenes mayores de materiales en estado líquido, que se presentan sobre pendientes inicialmente pronunciadas y confinadas, lo cual determina una gran velocidad de desplazamiento a lo largo de las quebradas y valles, comunicando a los flujos de barro un mayor poder de arrastre y devastación. Los huaycos adquieren suficiente poder de arrastre como para remover materiales sueltos, de finos hasta de gran tamaño (bloques de roca, árboles, animales, viviendas, etc.), presentes a lo largo de la quebrada y conos de deyección, y desplazarlos cuesta abajo en flujos turbulentos y a menudo catastróficos.

En el sector de Callalli, estaría expuesta al fenómeno de erosión, la plataforma de la carretera por efecto del ingreso del río Llapa. El poblado de Sibayo, está expuesto a inundación y erosión de ribera en el sector S y SE del pueblo, que compromete viviendas, campo deportivo y otros. El poblado de Puente Sibayo Nuevo, en un eventual aumento de caudal del río Colca podría ocasionar erosión en la margen derecha del río Colca (Fotos 3 y 4).

En la cuenca se ha localizado principalmente dos zonas donde se podrían producir flujos de barro (Anexo E, Plano 5), éstas son:

- Quebrada Paseana Alayo y
- La quebrada (s/n) frente al poblado de Sibayo,

Eliminado: ¶

CAPITULO V

GEODINAMICA INTERNA

5.1 SISMICIDAD

La distribución de sismos en tiempo y espacio es una materia elemental en sismología, observaciones sísmicas han acumulado una extensa información de la actividad sísmica (Sismicidad).

La definición de la palabra "sismicidad" no es muy precisa, pero podemos describirla como la actividad sísmica en un área particular durante un cierto período de tiempo, o como la cantidad de energía liberada en forma de ondas sísmicas. Sin embargo, la representación de la sismicidad deberá tener en cuenta no sólo el número de eventos registrados sino también su dimensión, frecuencia y distribución espacial, así como su modo de ocurrencia.

5.1.1 Sismicidad Histórica

Aunque se tiene referencias históricas del impacto de terremotos durante el Imperio de los Incas, la información se remonta a la época de la conquista. En la descripción de los sismos se han utilizado como documentos básicos los trabajos de Silgado (1968) y Tesis.

Entre los años de 1471 - 1490.- Gran terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, fue la época del Inca Túpac Yupanqui, en la cual perecieron todos sus habitantes y hubo la erupción del volcán Misti, alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.

Entre los años de 1513 - 1515.- Grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierra de algunos cerros altos, en la costa el mar sobrepasó muchas veces la línea de playa. En Arequipa alcanzó intensidades de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.

22 de Enero 1582.- A las 11:30 terremoto que destruyó la Ciudad de Arequipa. El movimiento se percibió en Lima. Perecieron más de 30 personas sepultadas entre los escombros, tuvo una magnitud de 8.1.(750 Km. al NE de Arequipa), el movimiento sísmico alcanzó una intensidad de X en la Escala Modificada de Mercalli, en Socabaya; en Arequipa se sintió con una intensidad de IX.

En el año de 1590.- Fuerte sismo sentido en casi toda la Costa del Sur del Perú, destruyó el pueblo de Camaná debido a la salida del mar y el represamiento del río.

19 de Febrero de 1600.- A las 05:00, fuerte sismo causado por la explosión del Volcán Huaynaputina (Omate), la lluvia de ceniza obscureció el cielo de la Ciudad de Arequipa, según el relato del Padre Bartolomé Descaurt. Se desplomaron todos los edificios con excepción de los más pequeños, alcanzando una intensidad de XI en la Escala Modificada de Mercalli, en la zona del volcán.

24 de Noviembre de 1604.- A las 13:30, la conmovión sísmica arruinó las ciudades de Arequipa y Arica. Un tsunami destruyó la ciudad de Arica y el puerto de Pisco, como consecuencia del Tsunami murieron 23 personas en Arica. Tuvo una magnitud de 7.8, y alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Arica.

31 de Marzo de 1650.- A las 14:00, se produjo un terremoto en el Cuzco que dejó a la ciudad en ruinas. Fue sentido en Lima y tuvo una magnitud de 7.6.

20 de Octubre de 1687.- Gran movimiento sísmico ocurrido en la ciudad de Arequipa aproximadamente a las 06:30, causando serios daños en los templos y viviendas, los

efectos secundarios de éste sismo trajo como consecuencia el agrietamiento de muchos kilómetros de extensión entre Ica y Cañete, el mar inundó parte del litoral comprendido entre Chancay y Arequipa.

Ocasionó otros daños en los valles de Siguan y Majes, alcanzando en Aplao y Siguan una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.

22 de Agosto de 1715.- A las 19:00 horas, en la ciudad de Arequipa ocurrió un gran terremoto que sepultó a pequeños pueblos por los derrumbes de las partes altas de los cerros, alcanzando una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, el movimiento se sintió en Arica.

08 de Enero de 1725.- A las 08:00 horas, fuerte temblor remeció la ciudad de Arequipa destruyendo la mayor parte de sus viviendas, éste movimiento sísmico tuvo una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, como consecuencia del sismo se levantó una gran polvareda que cubrió la ciudad.

27 de Marzo de 1725.- Gran sismo que se sintió en toda la costa sur del Perú, llegándose a sentir hasta el Callao, el pueblo de Camaná fue el que sufrió grandes daños, el mar salió sobrepasándose la línea de playa.

13 de Mayo de 1784.- A las 07:35. Terremoto que arruinó la ciudad de Arequipa, ocasionando graves daños en sus templos, murieron 54 personas, 500 heridos, tuvo una magnitud de 8.4, en Arequipa alcanzó una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.

10 de Julio de 1821.- A las 05:00. Terremoto que causó graves daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. Se sintió en Lima. Murieron 70 personas en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caravelí, tuvo una magnitud de 7.9, y una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.

08 de Octubre de 1831.- A las 21:15, fuerte sismo en Tacna, Arica y en el interior del departamento de Arequipa, ocasionó algunas víctimas y alrededor de 32 heridos.

18 de Setiembre de 1833.- A las 05:45 violento movimiento sísmico que ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya, murieron 18 personas; fue sentido en La Paz y Cochabamba en Bolivia.

13 de Agosto de 1868.- A las 16:45. Este terremoto alcanzó una intensidad de grado XI y fue acompañado de tsunami. Según el historiador Toribio Polo (1904), este terremoto es uno de los mayores que se han verificado en el Perú desde su conquista. El epicentro posiblemente estuvo en el Puerto de Arica, se sintió hasta unos 1400 Kms. al norte y a la misma distancia hacia el sur. Este movimiento sísmico destruyó la ciudad de Arequipa, llegando a producir fracturas en los cerros de la caldera, inmediatos a los baños de Yura. Este movimiento sísmico ocasionó fuerte destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa. A las 17:37 empezó un impetuoso desbordamiento del mar. La primera ola sísmica alcanzó una altura de 12 metros y arrasó el puerto de Arica. A las 18:30, el mar irrumpió nuevamente con olas de 16

metros de altura, finalmente a las 19:10, se produjo la tercera ola sísmica que varó la corbeta América de 1560 toneladas y el Wateree de los Estados Unidos, que fueron arrojados a unos 300 metros de la playa tierra adentro. Las salidas del mar, arrasaron gran parte del litoral peruano y chileno, muriendo en Chala 30 personas y en Arica unas 300 personas. La agitación del océano llegó hasta California, Hawai, Yokohama, Filipinas, Sidney y Nueva Zelanda. En Moquegua murieron 150 personas, en Arequipa 10 y en Tacna 3, se contaron como 300 movimientos sísmicos o réplicas hasta el 25 de agosto, tuvo una magnitud de 8.6.

03 de Noviembre de 1869.- A las 19:30 horas se produjo un fuerte temblor local en Arequipa que causó deterioros en los edificios, alcanzando una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

09 de Mayo de 1877.- A las 20:28. Un violento sismo que sacudió y averió las poblaciones de Ilo, Arica, Mollendo y otras. Se produjo un tsunami que inundó el puerto de Ilo y destruyó parte del ferrocarril. En la ciudad de Arica el mar avanzó más de 600 metros. Esa misma noche se produjeron como 100 réplicas. La ola sísmica originada por esa conmoción se extendió casi por todo el Pacífico, llegando hasta las costas de Nueva Zelanda y Yokohoma, en Japón.

04 de Mayo de 1906.- A las 19:36. Fuerte temblor en Mollendo, en la ciudad de Tacna ocasionó derrumbes de casas y paredes cuarteadas. Se sintió fuertemente en la ciudad de Arica y aún en Iquique.

28 de Julio de 1913.- A las 01:40. Este movimiento sísmico afectó gran parte de la costa sur situada entre Chala y Mollendo, causando roturas de tres cables submarinos frente a la costa, lo que se atribuyó a un deslizamiento del talud submarino. La posición geográfica del epicentro fue de -17° Lat. S. y -74° Long. W, y alcanzó una magnitud de 7.0.

06 de Agosto de 1913. - A las 17:13. Terremoto que destruyó la ciudad de Caravelí, este movimiento produjo desplome de todos los edificios de dicha ciudad y derrumbes de las laderas del valle. Hubo 4 heridos, además afectó otras poblaciones situadas más al Sur como la de Chuquibamba. En Atico se destruyeron muchas edificaciones, resultando un muerto y varios heridos. En el pueblo de Ocoña el sismo causó daños apreciables en las edificaciones. En la ciudad de Arequipa ocasionó daños en algunos edificios. El epicentro se le ubicó en el Océano Pacífico frente al litoral, siendo su posición geográfica de -17° Lat. S y -74° Long. W y su magnitud de 7.7, en Caravelí y Chuquibamba alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en Ocoña y Caylloma se sintió con una intensidad de VI.

11 de octubre de 1922.- A las 09:50. Fuerte sismo que causó daños considerables en Arequipa, Caravelí y Mollendo. Fue sentido fuertemente en Chala, Acarí, Puquio, Palpa, Ica y Cañete. La posición geográfica fue de -16° Lat. S. y -72.5° Long. W, se estima su profundidad focal en 50 kilómetros y su magnitud 7.4 en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI de la Escala Modificada de Mercalli

11 de Octubre de 1939.- A las 09:59. Se registró un fuerte sismo en el Observatorio Sismológico de Lima. Causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí,

además provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando intensidades de VII en Chuquibamba, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

24 de Agosto de 1942.- A las 17:51. Terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando intensidades de grado IX de la Escala Modificada de Mercalli, el epicentro fue situado entre los paralelos de 14° y 16° de latitud Sur. Causó gran destrucción en un área de 18,000 kilómetros cuadrados. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos por diversas causas. Se sintió fuertemente en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo, con menor intensidad en Moquegua, Huancayo, Cerro de Pasco, Ayacucho, Huancavelica, Cuzco, Cajatambo, Huaraz y Lima. Su posición geográfica fue -15° Lat. S. y -76° Long. W y una magnitud de 8.4, en Arequipa alcanzó una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli.

11 de Mayo de 1948.- A las 03:56. Fuerte movimiento sísmico en la región Sur afectó parte de los Dptos. de Arequipa, Moquegua y Tacna. Los efectos destructores fueron máximos dentro de un área aproximada de 3,500 Km², dejando el saldo de 1 muerto y 66 heridos. En el área central alcanzó el grado VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del epicentro fue de -17.4° Lat. S. y -71° Long. W. La profundidad focal se estimó en unos 60-70 Km., con una magnitud de 7.1, en Moquegua se sintió con una intensidad de VII y en Arequipa alcanzó una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

20 de Julio de 1948.- A las 06:03. Sismo ligeramente destructor en las poblaciones de Caravelí y Chuquibamba. En el área epicentral alcanzó el grado VI-VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del sismo fue de -16.6° Lat. S. y -73.6° Long. W, la magnitud fue de 7.1.

03 de Octubre de 1951.- A las 06:08, fuerte temblor en el Sur del país. En la ciudad de Tacna se cuartearon las paredes de un edificio moderno, alcanzó una intensidad del grado VI en la Escala Modificada de Mercalli. Se sintió fuertemente en las ciudades de Moquegua y Arica. La posición geográfica fue de -17° Lat. S y -71° Long. W y su profundidad de 100 Km.

15 de Enero de 1958.- A las 14:14:29, terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli, y de grado VIII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica M.S.K.(Medvedev, Sponheuer y Karnik), este movimiento causó daños de diversa magnitud en todas las viviendas construidas en base a sillar, resistiendo sólo los inmuebles construidos después de 1940 (Fig. N° 4).

Se considera los poblados más afectados por este sismo a Tiabaya, Sabandia, Cerrillos, incluyendo las viviendas construidas en base a adobe en el sector de La Pampilla, de igual manera sufrieron daños los domicilios situados a las orillas de la torrentera de San Lázaro; en Sachaca: la iglesia, el cementerio y la gran mayoría de casas fueron cuarteadas; la calle Mercaderes, es una de las zonas que sufrió fuertes daños, en la cual la mayoría de paredes se vinieron al suelo.

Por efectos del sismo, se desprendieron enormes bloques de rocas tanto del volcán Misti como de los cerros circunvecinos. Los derrumbes dañaron en varios tramos la línea del ferrocarril a Puno, la carretera panamericana en el sector comprendido entre Chala y Arequipa, quedó cubierta en varios trechos por deslizamientos de magnitud variable, siendo la zona más afectada entre Camaná y Atico. El movimiento fue sentido de Chíncha a Tarapacá en Chile, por el Este en Cusco, Puno y otras localidades del Altiplano.

El pueblo de Yura fue sacudido fuertemente, el movimiento sísmico también se sintió en las localidades de Chuquibamba, Aplao y Moquegua.

La posición geográfica del epicentro fue localizado en las siguientes coordenadas: -16.479° Lat. y -71.648° Long. W, con una profundidad focal de 60 Km. y una magnitud 6.3.

13 de Enero de 1960.- A las 10:40:34, fuerte terremoto en el departamento de Arequipa que dejó un saldo de 63 muertos y centenares de heridos.

EL pueblo de Chuquibamba quedó reducido a escombros, siendo igualmente destructor en Caravelí, Cotahuasi, Omate, Puquina, Moquegua y la ciudad de Arequipa.

En ésta última ciudad los edificios antiguos de sillar afectados por el sismo de 1958 sufrieron gran destrucción, como consecuencia del movimiento una inmensa nube de polvo cubrió gran parte de la ciudad, advirtiéndose gigantescos derrumbes de las faldas del volcán Misti, por toda la ciudad se miraba ruinas; fuera de Arequipa, Miraflores no mostraba mayores daños. Tiabaya, Tingo, Huaranguillo, Tingo Grande, Sachaca, Alata, Arancota, Pampa de Camarones, Chullo y la urbanización de Hunter, exhibían el 90% de sus viviendas destruidas o a medio destruir.

Igual cuadro presentaba La Pampilla, Paucarpata, Characato, Socabaya, Mollebaya y los distritos aledaños a éstos. A consecuencia del movimiento telúrico se produjo un derrumbe en Charcani, que cortó el suministro de fluido eléctrico. Los canales de agua sufrieron también ruptura, principalmente el canal de Zamácola.

Todas las casas del distrito de Polobaya, quedaron destruidas por efecto del sismo y apenas pasado el movimiento llovió granizada y la tormenta se produjo con rayos y relámpagos, el 95% de las casas de Puquina y alrededores quedaron completamente destruidas.

En la zona urbana del puerto de Mollendo los daños se limitaron a algunas caídas de cornisas. Las carreteras de penetración a Puno, a las diversas localidades del departamento. y hacia la costa quedaron intransitables por los derrumbes.

Eliminado: ¶

El radio de perceptibilidad fue, de aproximadamente 750 Km. sintiéndose en toda la extensión de los departamentos de Cuzco, Apurímac y Ayacucho. En el área epicentral la intensidad fue del grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M.S.K. (Fig. N° 5). Este sismo fue percibido en la ciudad de Lima con una intensidad del grado III y en la ciudad de la Paz con el grado III-IV. La posición geográfica del epicentro es de: -16.145° Lat. y -72.144° Long. W. La profundidad focal se estimó en 60 Km., y una magnitud de 6.2.

09 de Marzo de 1960.- A las 18:54, se produjo una violenta réplica del terremoto del 13 de enero en la ciudad de Arequipa, se cayeron las cornisas removidas, este sismo fue sentido en Puno, en los Puertos de Matarani y Mejia, tuvo una Intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli, en la ciudad de Arequipa se sintió con una magnitud de 6.0 y una intensidad de grado VIII; el epicentro se ubicó a -16° Lat. S. y -72° Long. W.

26 de Enero de 1964.- A las 04:00 se produjo un sismo en el Sur del Perú, en Arequipa como producto del violento movimiento se registró cuatro heridos, y daños en las viviendas que ya se encontraban remecidas por anteriores sismos, este sismo tuvo una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli en la ciudad de Arequipa y V en Mollendo y Ubinas.

16 de Febrero de 1979.- A las 05:08:53, fuerte terremoto en el departamento de Arequipa, que ocasionó algunas muertes y muchos heridos. Este sismo produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes. Alcanzó una intensidad máxima del grado VII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica M.S.K.(Fig. N° 6).

En la ciudad de Arequipa el sismo fue del grado VI habiendo afectado seriamente algunas viviendas de sillar. Además ocasionó graves daños en edificios relativamente modernos como el Hospital Regional N° 2 (Ex-empleado), Programa Académico de Arquitectura y el pabellón Nicholson, ubicados estos 2 últimos en los Campus de la Universidad de San Agustín. La posición geográfica del epicentro es localizada en las siguientes coordenadas: -16.515° Latitud S y -72.599° Longitud W. La profundidad focal se estima en 52.5 Km. y la magnitud de 6.2.

23 de Junio de 2001.- A las 15 horas 33 minutos, terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas.

Las localidades más afectadas por el terremoto fueron las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, Ilo, algunos pueblos del interior y Camaná por el efecto del Tsunami.

El Sistema de Defensa Civil y medios de comunicación han informado la muerte de 35 personas en los departamentos antes mencionados, así como desaparecidos y miles de edificaciones destruidas, las intensidades se presentan en la Fig. N° 7.

5.1.2 Tectonismo de la Región Andina

El Sur del Perú es, desde el punto de vista tectónico, una de las regiones más activas de la tierra y está sujeta a frecuentes fenómenos catastróficos, la actividad tectónica de la región occidental del continente sudamericano, están relacionadas con la interacción

principalmente de las Placas Litosféricas de América del Sur y de Nazca, constituyendo una de las regiones de subducción más extensas en nuestro planeta. En esa interacción también deben ser considerados los efectos que causan las placas menores próximas como la de Cocos y la del Caribe en la porción norte y la placa de Escocia en la porción sur, principalmente por presentar diferentes velocidades y direcciones del movimiento con relación a las Placas principales.

De acuerdo con Wortel (1984), el modelo simple de interacción entre una Placa Oceánica y otra Continental sobre la región andina, que fue considerado poco después del lanzamiento de la teoría de la tectónica de placas, al inicio de la década de los 70, fue modificada en base a investigaciones subsecuentes que mostraban la existencia de cambios significativos de norte a sur, en la estructura de la placa sumergida y los procesos asociados con la subducción. Entre estos procesos están los fenómenos sísmicos y vulcanológicos, el tectonismo superficial y la formación de depósitos minerales. Esos cambios no concuerdan con la velocidad de la convergencia entre esas placas que es prácticamente uniforme a lo largo de toda la zona de subducción (~10 cm/año), la cual era considerada como principal proceso del control de la subducción; esta discrepancia, de acuerdo con Wortel hace cuestionar la validez del modelo de la tectónica de placas para la región andina.

Esa discrepancia entre tanto puede ser explicada (Wortel, 1984) tomándose en consideración la edad de la Placa Litosférica sumergida. Muchas de las complejidades de la zona de subducción en la región andina, resultan de la circunstancia peculiar de que la zona se encuentra en transición desde una etapa primitiva de absorción de la Placa Litosférica oceánica más antigua (> 70 ma., y que produce sismos profundos). Ese estado de transición habría provocado un modelo tectónico sobre la región andina con variaciones temporales importantes, principalmente con cambio en el ángulo de subducción y la extensión de la Placa sumergida, además varios segmentos de esa placa se encuentran en diferentes etapas de esa evolución.

Entre los elementos tectónicos más importantes relativos a la zona de subducción entre las placas de Nazca y de América del Sur, destacan las Dorsales Marinas Asísmicas, la Fosa Perú - Chile, los Volcanes Activos y la Topografía de la Zona de Subducción.

*** Dorsal de Nazca**

La Dorsal de Nazca es una formidable elevación submarina de rumbo Suroeste. Está a 2500 metros por debajo de la superficie del mar, dividiendo a la Fosa Oceánica en dos segmentos, la Fosa de Arica hacia el SE. y la Fosa de Lima hacia el NW. La Dorsal influye notablemente en la parte continental, determinando una inflexión en la dirección general de la Cadena Andina. Por consiguiente, la Cadena Andina se extiende en dirección NW a SE, a la latitud del contacto de la Dorsal con el continente, se dobla para seguir una nueva orientación de Oeste a Este, posteriormente recupera aproximadamente su dirección inicial, hasta la latitud del codo de Arica, tomando una dirección Sur.

*** Geometría del plano de subducción**

Ha sido frecuentemente estudiada debido a las características peculiares presentes en la placa de Nazca subduida bajo la Región Andina. Los investigadores como Isacks & Molnar (1971), Sykes (1972), Barazangi & Isacks (1976, 1979), Sacks (1977), Snoke et al. (1977), tomando como base los datos de los catálogos internacionales y las soluciones de los mecanismos focales muestran la existencia de características distintas en el plano de subducción.

Utilizando la distribución hipocentral de los sismos con focos superficiales e intermedios, fueron reconocidas hasta cuatro porciones en la placa de Nazca (Stauder, 1973, 1975; Barazangi & Isacks, 1976, 1979; Isacks & Barazangi, 1977). Estos investigadores concluyeron que entre 2° - 15° S, el plano tiene un ángulo de subducción entre 5 y 10 grados hacia el Este, o sea un plano casi horizontal donde no hay actividad volcánica, más aún, sin deformación en el continente, en tanto que desde los 15° a los 24° S y al sur de los 33° S el ángulo de subducción alcanza los 30° hacia el Este, y por el contrario, existe presencia de la actividad volcánica (Jordán et al., 1983), Además la "Deflexión de Abancay", una importante estructura transversal andina, que comprende seis sectores de fallas discontinuas con longitudes entre 3 y 18 kms., se presenta al norte de la zona de transición entre la zona de subducción casi horizontal y la porción con una subducción de 30° (Mercier et al, 1992).

Los cambios en la geometría del plano de subducción sobre el sur del Perú y norte de Chile, fueron estudiados, posteriormente, por medio de datos de redes sísmicas locales, en trabajos presentados por Hasegawa & Sacks (1981), Grange et al. (1984), y Boyd et al. (1984), que confirmaron un plano con un ángulo de buzamiento menor en la porción central del Perú y un ángulo de casi 30° al Sur del Perú, y atribuían este cambio a una contracción y no a un empuje como había sido propuesto por Barazangi & Isacks (1979). Schneider & Sacks (1987) demostró que efectivamente en el sur del Perú la actividad sísmica muestra un ángulo de subducción mayor que el observado en el Perú Central, proponiendo entonces que se trata de una contorsión en la Placa. En la región Norte de Chile también se realizó varios estudios sismológicos; Comte & Suárez (1994) y Comte et al. (1994) han publicado algunos trabajos sobre el plano en esta región. Ellos dan evidencias de una fase de transformación a lo largo de la porción subduida, con fallamiento normal e inverso entre 100 y 200 km. de profundidad y la ausencia de una corteza oceánica subduida.

Estudios efectuados por Abe & Kanamori (1979) mencionan que los sismos profundos e intermedios proveyeron importante información sobre las propiedades mecánicas y la distribución de esfuerzos de la placa oceánica subduida. Estudios sobre los sismos profundos en América del Sur, con esta finalidad, fueron efectuados por Suyehiro (1967), Khattri (1969), Mendiguren (1969), Wyss (1970), Isacks & Molnar (1971), Linde & Sacks (1972), Giardini (1984, 1986, 1988).

A partir de los 300 Km. de profundidad, no hay presencia de actividad sísmica en la zona de Benioff sobre la región andina, sin embargo ésta vuelve aparecer cerca de los 500 Km., lo que conduce a especulaciones sobre la continuidad en profundidad de la zona de Benioff, sobre esa región (Barazangi & Isacks, 1976, 1979; Berrocal, 1991).

Berrocal & Fernández (1997), proponen que la porción de la placa de Nazca que es subduida entre 24° y 14.5° S, parece tener continuidad lateral y en profundidad hasta los 600 km. Esa porción de la placa subduida, según ese trabajo, parece que está siendo contorsionada hacia el Sur, cuando se correlaciona con los sismos muy profundos ocurridos en el extremo Sur, sugiriendo además, que la placa que es subduida correspondiente a los otros sismos profundos es contorsionada en menor proporción que la del extremo Sur. También sobre la base de un mapa de contornos del plano de subducción, elaborado por los mismos autores, se observa el efecto provocado por las dorsales de Nazca y de Juan Fernández en la topografía de la porción subduida de la

placa de Nazca, una contorción del Plano de Benioff parece ser originada por la subducción de esas dorsales. El efecto de la dorsal de Nazca es más evidente y provoca una porción subduida flotante, representada por la amplia separación de las Isopacas y la contorción cóncava y convexa de esos contornos alrededor del contacto de la dorsal con el continente. Esto también es observado en la subducción de la dorsal de Juan Fernández sobre Chile Central, en tanto que la dorsal Perdida aparentemente se curva hacia el Norte antes de ser subduida sobre la costa de Chile.

5.1.3 Análisis de la sismicidad

Distribución epicentral en el área de estudio.- La distribución epicentral se encuentra representada en las Figuras 8 y 9, las cuales representan todos los sismos disponibles para el área de estudio. La Figura 8 muestra la distribución de los sismos para el periodo 1964 a 1998 usando para ello el catálogo Engdahl (Engdahl et al. 1998). Se puede ver en esta figura, en una primera aproximación que la sismicidad en un rango de profundidades superficiales ($h < 70$ Km) toman lugar continuamente a lo largo de la línea de costa conformando la porción más superficial de la subducción. En esta área han ocurrido los sismos más destructivos en la historia de la sismicidad de esta región como son los sismos de 1604 y de 1868 frente al Sur del Perú, sin embargo, otros sismos superficiales se encuentran ubicados dentro del continente los que pueden estar asociados a estructuras activas provocadas principalmente por el levantamiento de los Andes.

La actividad intermedia ($70 < h < 300$) se distribuye hacia el interior del continente determinando de esta manera el Plano de Benioff en esta región. Del mismo modo, los sismos profundos, que son escasos, se hallan distribuidos en la franja NS, al Sur del

paralelo 15° S, sufriendo un desvío hacia el oeste a los 14° S. Estos sismos representan la porción más profunda del plano.

Sin embargo dada la escasez de datos para el Sur del Perú contenidos en el catálogo de Engdahl no es posible determinar fuentes sismogénicas significativas asociadas a estructuras activas en el interior del continente, por tal motivo ha sido necesario utilizar información de campañas sísmicas locales.

En la Figura 9, a diferencia de la Figura 8, muestra con mejor detalle la sismicidad local del área de estudio obtenida a partir de campañas sísmicas locales a pesar de que el periodo de adquisición de datos de dichas campañas es muy corto (1965,1969,1975-1976,1980-1981), podemos notar dos claros alineamientos posiblemente asociados a estructuras activas, el primero cerca a la ciudad de Arequipa que tiene un largo aproximadamente de 150km. y 40km.de ancho y oscila en un rango de profundidades superficiales. El segundo alineamiento se encuentra más pegado a la costa y tiene un largo de aproximado de 140 km. y un ancho de 30km, oscila en un rango de profundidades entre superficiales e intermedias, profundidades que serán mejor detalladas al realizar las secciones sísmicas las mismas que permitirán hacer una mejor zonificación. También se puede notar actividad correspondiente a la zona de subducción hacia el oeste de la línea de costa.

El rango de magnitudes de esta actividad es muy pequeño, se encuentran sismos desde una magnitud de 2.5 a 4.0 como se puede ver en el catálogo obtenido a través del reprocesamiento de los datos de Schneider y usando la fórmula obtenida para la determinación de la magnitud (M_D) a partir de la coda de duración de los sismos.

Secciones sísmicas.- Estas secciones (Fig. N° 10) son elaboradas para conocer la morfología de las fuentes sismogénicas, a través de la distribución espacial de los hipocentros, que son proyectados en planos verticales convenientemente orientados. El análisis de las secciones sísmicas permitieron determinar que los sismos en las cordilleras oceánicas son superficiales, en tanto que los sismos más profundos se presentan en los márgenes activos de los continentes. En América del Sur son superficiales en la zona de la costa y profundos en el interior del continente.

5.2 MICROZONIFICACION SISMICA

Para identificar los tipos de suelos y particularmente sus características físicas en las localidades de Callalli y Sibayo se han utilizado los métodos geofísicos de Refracción Sísmica y de Sondaje Eléctrico Vertical y Calicatas. Mediante estos métodos se logra identificar sectores estables e inestables, base fundamental para la microzonificación sísmica, la ubicación de los puntos de Refracción Sísmica, Sondaje Eléctrico Vertical, los Perfiles y Calitas se pueden observar en el Anexo E (Planos 1 y 2), y los resultados de estos perfiles se pueden observar en los Anexos B y C.

5.2.1 Refracción Sísmica

5.2.1.1 Localidad de Callalli

En esta localidad se efectuaron 09 perfiles de refracción sísmica, distribuidos de tal manera que nos permita conocer la distribución de las características sísmicas de su suelo, en base a las velocidades y espesores de los estratos (Anexo A).

El perfil sísmico 1 se encuentra ubicado entre las calles Pachachaca y Sibayo, y el 2 en la Calle Tahuantinsuyo, donde se determinaron 2 y 3 estructuras. La primera presenta velocidades de 292.68m/seg. y 312.50m/seg. con un espesor de 0.37m. a 0.51m. que correspondería a depósitos aluviales en matriz arenosa, la segunda estructura en el perfil sísmico 1 tiene una velocidad de 653.85m/seg. no pudiendo determinarse su espesor y en el perfil 2 se tiene un espesor de 6.44m. y una velocidad de 500.00m/seg. que guardaría relación con el mismo material, pero medianamente consolidado y subyaciendo a esta estructura tenemos una velocidad de 2111.11m/seg. que se correlacionaría con roca algo competente (Anexo B, Fig. 1).

En la parte central de Callalli se efectuaron cuatro perfiles de refracción sísmica: RS3 (Calle Colca), RS4 (Calle 28 de julio), RS5 (Calle Luis Ponce) y RS6 (Calle Progreso) en donde se determinaron dos estructuras (perfiles sísmicos 3 y 5) la primera tiene velocidades de 465.12m/seg. a 487.50m/seg con espesores de 1.10m. a 3.93m. que correspondería a depósitos aluviales, subyaciendo (perfil sísmico3) tenemos una estructura ligeramente competente con una velocidad de 2052.63m/seg. que probablemente estaría constituido por material de origen volcánico y la segunda estructura del perfil sísmico 5 tiene una velocidad de 852.94 m/seg. que se correlacionaría con un material algo compacto. En los perfiles sísmicos 4 y 6 se han determinado tres y cuatro horizontes refractores, el primero presenta velocidades de 207.55m/seg. a 422.54m/seg. con espesor de unos pocos centímetros en el perfil 4 y que correspondería a material coluvial y proluvial, mientras que en el perfil 6 correspondería a depósitos aluviales, el segundo horizonte tiene velocidades de 629.63m/seg. a 666.67m/seg. con un espesor de 4.36m. a 5.04m que guardaría relación con depósitos aluviales ligeramente compactos, el tercer horizonte en el perfil sísmico 4 presenta una velocidad de 1043.48m/seg. con un espesor de 9.82m. que se relacionaría con el mismo material pero más compacto, en el perfil 6 tenemos una velocidad de 1866.67m/seg. que probablemente se relacione con material volcánico alterado no

pudiendo determinarse su espesor y subyaciendo al tercer horizonte del perfil 4 se presenta una velocidad de 2611.11m/seg. que se relacionaría con rocas volcánicas algo competentes (Anexo B, Fig. 2).

Los perfiles sísmicos 7 (Calle Progreso), 8 (Calle Panamá) y 9 (Calle Canadá) se encuentran ubicados en el sector Noroeste del poblado de Callalli donde se determinaron de 2 a 4 estructuras. En el perfil sísmico 7 se ha determinado dos horizontes refractores, el primero con una velocidad de 436.17m/seg. y un espesor de 0.30m. que correspondería a un suelo constituido por material limoso y proluvial y subyaciendo a este horizonte tenemos material aluvional con una velocidad de 937.50m/seg. El perfil sísmico 8 presenta tres estructuras bien definidas, la primera tiene una velocidad de 214.25m/seg. con un espesor de 0.83m. que correspondería a material areno- limoso con guijarros poco consolidado, la segunda estructura tiene una velocidad de 718.75m/seg y un espesor de 9.18m. que guardaría relación con material aluvial, la tercera estructura tiene una velocidad de 1250.00m/seg. que probablemente se relacionaría con el mismo material que la estructura anterior pero más compacto. Se determinaron 4 horizontes refractores en el perfil sísmico 9, el primero con una velocidad de 350.88m/seg. con un espesor de 0.37m. que correspondería a material coluvial y proluvial, el segundo horizonte tiene una velocidad 517.24m/seg. y un espesor de 1.00m que se relacionaría con depósitos aluvionales, el tercer horizonte tienen una velocidad de 714.29m/seg. con un espesor de 4.95m. que guardaría relación con el mismo material del horizonte anterior pero algo más compacto y subyaciendo a esta estructura tenemos probablemente material ligeramente competente constituido por material de origen volcánico con una velocidad de 1666.67m/seg. (Anexo B, Fig. 3).

CUADRO 1
VELOCIDADES Y ESPESORES DE CALLALI

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		CAPA 4	TOTAL
	V ₁ (m/seg)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/seg)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/seg)	Z ₃ (m)	V ₄ (m/seg)	ΣZ(m)
1	312.50	0.37	653.85					0.37
2	292.68	0.51	500.00	6.44	2111.11			6.95
3	465.12	3.93	2052.63					3.93
4	207.55	0.36	629.63	4.36	1043.48	9.82	2611.11	15.54
5	487.50	1.10	852.94					1.10
6	422.54	0.36	666.67	5.04	1866.67			5.40
7	436.17	0.30	937.50					0.30
8	214.29	0.83	718.75	9.18	1250.00			10.01
9	350.88	0.37	517.24	1.00	714.29	4.95	1666.67	6.32

PRS. Perfil de Refracción Sísmica

V₁, V₂,... Velocidad de los diferentes horizontes

Z₁, Z₂,... Espesores de los diferentes horizontes

ΣZ: Sumatoria de los espesores

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados obtenidos podemos indicar, que la cubierta superficial corresponde a suelos poco compacto consistente en gravas con matriz limo-arenoso de origen aluvial, en algunos sectores de sólo algunas decenas de centímetros, subyaciendo en la mayoría de los perfiles tenemos suelos aluviales de diferentes densidades, con características aceptables para la construcción de viviendas. Las

mayores velocidades encontradas se correlaciona con suelos aluviales algo densos y las máximas velocidades se correlacionaría con rocas de origen volcánico. Es necesario precisar que la secuencia estratigráfica es irregular por la forma y condiciones de depositación. Las áreas cercanas a los perfiles 2, 3, 4, 6, 8 y 9 de acuerdo a las velocidades sísmicas serían las de mayor estabilidad, tal como se observa en el Anexo E, Plano 3.

5.2.1.2 Localidad de Sibayo

Ubicado en la margen derecha del río Colca a 32km. al Este de Chivay y a una altitud de 3810m.s.n.m., se realizaron 04 perfiles de refracción sísmica, 02 en el Pueblo Antiguo y 02 en el sector denominado Puente Sibayo Nuevo.

Los perfiles sísmicos 10 y 11 se encuentran ubicados en el pueblo antiguo de Sibayo, determinándose tres estructuras, la primera con velocidades de 333.33m/seg. a 390.24m/seg y con espesores de 0.46m. a 0.82m que correspondería a depósitos aluviales con matriz areno-limoso, la segunda estructura presenta velocidades de 571.43m/seg. a 607.14m/seg. con espesores de 6.17m. a 9.62m., que corresponde según la geología e información geofísica a suelos aluviales del tipo conglomerado con cantos redondeados a subredondeados fundamentalmente en matriz arenosa algo compacta. Subyaciendo a esta estructura tenemos velocidades de 1500.00m/seg. a 1733.33m/seg. que se correlacionaría con material aluvial más compacto (Anexo B, Fig. 4).

El perfil sísmico 12 se ubicó en la calle Ramón Castilla (frente al Centro Educativo-Puente Sibayo Nuevo) en donde se encontró tres horizontes refractores el primero con una velocidad de 392.86m/seg y un espesor de 2.91m. que correspondería a materiales proluviales y coluviales, el segundo horizonte tiene una velocidad de 611.11m/seg. con un espesor de 4.97m. que probablemente se relacionaría con el mismo material de la estructura anterior y depósitos aluviales ligeramente compacto y el tercer horizonte presenta un velocidad de 843.75m/seg. que guardaría relación con depósitos aluviales algo compacto (Anexo B, Fig. 5).

El perfil sísmico 13 está ubicado en la calle Tupac Amarú, en donde se determinó dos estructuras la primera tiene una velocidad de 603.45m/seg. con un espesor de 6.35m que correspondería a depósitos aluviales ligeramente compacto y subyaciendo a esta estructura tenemos una velocidad de 1023.81m/seg que probablemente se correlacionaría con el mismo material pero más compacto (Anexo B, Fig 5).

**CUADRO N° 2
VELOCIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO**

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		TOTAL ΣZ(m)
	V ₁ (m/seg)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/seg)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/seg)	Z ₃ (m)	
10	333.33	0.46	571.43	9.62	1733.33		10.08
11	390.24	0.82	607.14	6.17	1500.00		6.99
12	392.86	2.91	611.11	4.97	843.75		7.88
13	603.45	6.35	1023.81				6.35

Conclusiones.- Los daños ocasionados por el sismo del 23 de junio han sido moderados aún existiendo precariedad en las viviendas. En el Pueblo Antiguo presenta un suelo de naturaleza aluvial medianamente densos y en el Puente Sibayo Nuevo los

suelos corresponden a depósitos aluviales, proluviales y coluviales de características muy similares en lo que respecta a la parte superficial. Los suelos del poblado antiguo tienen suelos algo más densos que el poblado Puente Nuevo Sibayo, tal como se aprecia en el Anexo E, Plano 4.

5.2.2 Resistividad Geoeléctrica

5.2.2.1 Localidad de Callalli

En el poblado de Callalli se han realizado estudios de Resistividad geoeléctrica empleando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Se ejecutaron 02 SEVs, distribuidos en el área de estudio de acuerdo a las necesidades requeridas (Anexo E, Plano 1)

CUADRO 3
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE CALLALLI

SEV N°	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄		H ₅		H ₆	
	R ₁	E ₁	R ₂	E ₂	R ₃	E ₃	R ₄	E ₄	R ₅	E ₅	R ₆	E ₆
1	33	0.7	24	1.9	35	3.4	21	56.6	10	95.4	46	---
2	19	0.8	178	3.9	29	9.5	16	31.1	26	41.7	52	---

H₁ - Horizonte geoeléctrico

R₁ - Resistividad

E₁ - Espesor de la Estructura Geoeléctrica

* Descripción de los Horizontes Geoeléctricos

Horizonte H1.- Este horizonte tiene resistividades que varían entre 33 y 19 Ohmios-metro y espesores entre 0.7 y 0.8 metros respectivamente, esta primera estructura geoeléctrica está constituida por material sedimentario areno-limoso algo compacto con presencia de material orgánico y con contenido de humedad.

Horizonte H2.- Tiene resistividades de 24 y 178 Ohmios-metro y espesores de 1.9 y 3.9 metros respectivamente; posiblemente constituida también por los mismos materiales anteriormente nombrados con mayor compactación y menor contenido de humedad en la parte baja de la población donde se ubica el SEV2.

Horizonte H3.- Presenta resistividades de 35 y 29 Ohmios-metro y espesores de 3.4 y 9.5 metros respectivamente; posiblemente constituida por materiales de origen aluvial con mayor contenido de humedad.

Horizonte H4.- Esta cuarta estructura geoeléctrica presenta resistividades de 16 y 21 Ohmios-metro y espesores de 31.1 y 56.6 metros, constituida por material de origen aluvial, presenta contenido de humedad.

Horizonte H5.- En este horizonte geoeléctrico se observa valores bajos de resistividad de 26 y 10 Ohmios-metro y espesor de 95.4 y 41.7 metros respectivamente; estaría constituida por la parte superior del volcánico Tacaza, fracturado y saturado de humedad.

Horizonte H6.- Este horizonte geoeléctrico presenta valores de resistividad de 46 y 52 Ohmios-metro y de espesor indeterminado; estaría constituida por el volcánico Tacaza compacto.

Se ha elaborado un *perfil geoelectrico*, constituido por los SEVs 1 y 2 ubicados, el primero en la parte alta de la población y el otro en la parte baja del mismo se han correlacionado los horizontes determinados del cuadro 1, en este perfil se observa como está constituido el suelo y la disposición de los estratos geoelectricos determinados para la localidad de Callalli, el cual muestra en su parte superior, una cobertura superficial constituida por materiales de origen aluvial con material orgánico, estas descansan sobre material aluvial más denso, los horizontes inferiores correspondería al volcánico Tacaza intemperizado y con contenido de humedad, este se extiende por debajo del horizonte 5 y su espesor no ha sido determinado (Anexo C, Fig. 1).

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados obtenidos por el método de resistividades, la localidad de Callalli se encuentra emplazada sobre suelos de origen aluvial con relativa presencia de humedad en toda la zona.

5.2.2.2 Localidad de Sibayo

En Sibayo se han realizado también estudios de Resistividad geoelectrica empleando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Se han efectuado 02 SEVs, el primer SEV se ubicó en el pueblo Puente Nuevo de Sibayo y el segundo SEV en el pueblo antiguo frente al templo principal. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene en Sibayo dos zonas diferenciadas por sus valores de resistividad.

CUADRO 4
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO (Pueblo Puente Nuevo)

SEV N°	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄		H ₅		H ₆	
	R ₁	E ₁	R ₂	E ₂	R ₃	E ₃	R ₄	E ₄	R ₅	E ₅	R ₆	E ₆
1	32	0.7	29	1.7	181	2.8	45	15.6	33	53.6	47	----

H₁ - Horizonte geoelectrico

R₁ - Resistividad

E₁ - Espesor de la Estructura Geoelectrica

*** Descripción de los Horizontes Geoelectricos.**

Horizonte H1.- Este horizonte tiene resistividad de 32 Ohmios-metro y espesor de 0.7 metros respectivamente, esta primera estructura geoelectrica está constituida por material granular de origen proluvial-coluvial, contiene humedad.

Horizonte H2.- Tiene una resistividad de 29 Ohmios-metro y espesor de 1.7 metros; posiblemente constituido por los mismos materiales anteriormente nombrados con mayor contenido de humedad.

Horizonte H3.- Presenta resistividad de 181 Ohmios-metro y espesor de 2.8 metros; posiblemente constituida por materiales de origen aluvial con mayor compactación y poco contenido de humedad.

Horizonte H4.- Esta cuarta estructura tiene resistividad de 45 Ohmios-metro y espesor de 15.6 metros, estaría constituida por material de origen aluvial saturados de humedad.

Horizonte H5.- Este horizonte geoelectrico presenta valor bajo de resistividad de 33 Ohmios-metro y espesor de 53.6 metros; correspondería a la parte superior del Grupo

Yura (formación Hualhuani), la misma que se encontraría fuertemente intemperizada. Se encuentra saturada de humedad.

Horizonte H6.- Este horizonte geoelectrico presenta valor de resistividad de 47 Ohmios-metro y de espesor indeterminado; estaría constituida por el Grupo Yura (Formación Hualhuani).

Se ha elaborado una columna geoelectrica, constituido por el SEV1 (Anexo C, Fig. 2).

CUADRO 5
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE SIBAYO (Pueblo Viejo)

SEV N°	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄		H ₅	
	R ₁	E ₁	R ₂	E ₂	R ₃	E ₃	R ₄	E ₄	R ₅	E ₅
2	188	1.0	388	3.9	174	8.1	16	119	126	----

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

*** Descripción de los Horizontes Geoelectricos.**

Horizonte H1.- Este horizonte se presenta una resistividad de 188 Ohmios-metro y espesor de 1.0 metros, está constituida por material de origen aluvial con contenido de material orgánico sin presencia de humedad.

Horizonte H2.- Presenta resistividades de 388 Ohmios-metro espesor de 3.9 metros; debido a su valor de resistividad esta estructura debe presentarse fuertemente compactada y carente de humedad; esta estructura también forma parte de los depósitos aluviales.

Horizonte H3.- Esta estructura geoelectrica presenta valor de resistividad de 174 Ohmios-metro y espesores de 8.1 metros. Está constituida por material de origen aluvial sin contenido de humedad.

Horizonte H4.- Esta estructura geoelectrica presenta resistividad de 16 Ohmios-metro y espesor de 119 metros, estaría constituida por materiales pertenecientes a la parte superior del volcánico Tacaza.

Horizonte H5.- Horizonte geoelectrico que presenta resistividad de 126 Ohmios-metro y espesor indeterminado, por su valor de resistividad posiblemente esté constituida por materiales pertenecientes al Grupo Yura.

Se ha elaborado una columna geoelectrica, constituido por el SEV2 (Anexo C, Fig. 2).

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados obtenidos, en el poblado Puente Nuevo Sibayo esta constituido por materiales de origen aluvio-proluviales asentados sobre rocas pertenecientes al Grupo Yura los mismos que presentan relativo contenido de humedad.

La zona correspondiente al poblado antiguo se encuentra también constituida por materiales de origen aluvial-proluvial sin contenido de humedad y muy compactados los mismos que descansan posiblemente sobre el volcánico Tacaza.

5.2.3 Aspecto Geotécnico

5.2.3.1 Mecánica de Suelos

Para la realización del estudio de suelos de la zona, en las localidades de Callalli y Sibayo, se han efectuado pozos de exploración superficiales, comprendidos entre 1.00 m a 2.50 m de profundidad, así como se han analizado los perfiles existentes, con el objetivo de realizar el muestreo y descripción de las características físicas y mecánicas y de este modo se ha zonificado el área de estudio.

*** Muestreo**

Los objetivos y usos de las muestras son necesarios para identificar y clasificar los suelos correctamente, siendo la parte inicial de la caracterización la determinación de la densidad y humedad para las pruebas de laboratorio.

El muestreo se ha realizado por zonas y de acuerdo con las características estratigráficas, obteniéndose muestras, de cada una de las calicatas o perfiles realizados y luego transportadas al laboratorio con la finalidad de proceder a los ensayos correspondientes, conforme a las normas A.S.T.M

*** Humedad**

La humedad del suelo esta definida como la relación del peso del agua contenido en la muestra.

*** Granulometría**

Es el análisis del tamaño de las partículas, mediante una combinación del cribado y de análisis mecánico en agua, conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), determinando de acuerdo con los diámetros comprendidos entre 3 pulgadas a la malla N° 4 como gravas, los diámetros comprendidos entre las mallas N° 4 y N° 200 como arenas y los diámetros menores a la malla N° 200 denominadas como limos y arcillas

*** Límites de Atterberg**

Son los límites liquido, definido por el contenido de agua por encima del cual el suelo se comporta como un liquido viscoso.

Limite plástico, definido por el contenido de humedad por encima del cual el suelo se comporta como un material plástico, con una resistencia al esfuerzo cortante nula.

Limite de contracción, definido al grado de saturación del 100 % bajo el cual no ocurre un cambio ulterior de volumen del suelo con un secado adicional.

*** Peso específico**

El peso específico, esta constituido por el valor del peso unitario del suelo, siendo la relación del peso entre el volumen.

*** Corte Directo**

El valor de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, constituye el parámetro más importante, siendo un parámetro para determinar entre otros factores la estabilidad de taludes.

* Análisis Químico

Los análisis químicos permiten determinar la composición química, esto es determinar la presencia de agentes agresivos, tales como las sales solubles, cloruros, carbonatos, sulfatos entre otros.

Con los resultados de todos los ensayos realizados de los suelos, se ha podido caracterizar los suelos y en base a todo ello se puede categorizar en cuatro calidades de suelos, Suelos Tipo I, siendo los suelos rocosos, muy estables con muy buenas características de capacidad portante; Suelos Tipo II, suelos granulares de buenas características; Suelos Tipo III, suelos arenosos de medianas condiciones de capacidad portante y Suelos Tipo IV, caracterizado por suelos finos de baja capacidad portante.

* Cálculo de capacidad portante

La capacidad de carga última de un suelo bajo una carga de cimentación depende principalmente de la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad permisible o de trabajo para diseño tomara en consideración la resistencia al corte y las características de deformación

La determinación del valor de la capacidad de carga del suelo, es el valor de resistencia a soportar la transmisión de las cargas de solicitación de una superestructura, entre la más aplicada de las ecuaciones para la determinación de dicho valor se halla la ecuación de Hansen:

$$q_{ult} = cN_cSc_d c + \gamma DN_qSq_d q + 1/2 \gamma BN\gamma S\gamma d\gamma$$

Con los resultados de los valores obtenidos, se ha procedido a realizar, una zonificación de los suelos, agrupando por zonas de acuerdo con las características de los suelos.

5.2.3.2 Tipos de Suelos

De acuerdo con lo descrito anteriormente, en virtud a las propiedades físico-mecánicas de los suelos (Anexo D), se ha determinado lo siguiente:

5.2.3.2.1 Localidad de Callali (Suelos Tipo II)

Caracterizado por suelos aluviales, superficialmente se halla arenas limosas de color marrón claro medianamente cementadas predominando este material en el sector nor-oeste; hacia el sector sur oeste se halla la presencia de arenas limosas de color gris oscura con presencia de contenido orgánico medianamente compacta, de características poco plásticas, subyacente se halla gravas arenosas de color gris claro, cubiertas por una matriz fina de color rojiza a marrón compuesto por bloques con diámetros mayores a 0.80 m., cantos rodados, gravas arenosas de color gris claro, medianamente compactas, mientras que hacia el sector este, se halla predominantemente gravas arenosas con presencia de pocos finos; con una potencia mayor a tres metros, bajo estas condiciones se ha podido establecer valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm² (Fotos 5 y 6).

5.2.3.2.2 Localidad de Sibayo (Suelos Tipo II)

Caracterizado por suelos aluviales, con presencia de cantos rodados, gravas arenosas de color gris claro medianamente compactas con espesores variables, en la parte antigua de la localidad se halla superficialmente la presencia de arenas limosas de color rojiza a marrón conformando una matriz fina bastante compacta poco plástica, con presencia de gravas subangulosas, pudiendo establecer bajo estas características valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm² .

* Conclusiones

- | - El área que comprende las localidades de Callalli y Sibayo, se han caracterizado, de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas.
- | - La localidad de Callalli esta constituido principalmente por material aluvial caracterizado por bloques, guijarros, y arenas gravosas de color gris claro, superficialmente se halla la presencia de arenas limosas de color rojiza hacia el sector nor-oeste y de color gris oscuro, con presencia de material orgánico hacia el sector sur oeste

- La localidad de Sibayo se caracteriza por la presencia de material aluvial de color gris claro, gravas arenosas de formas redondeadas, en la parte de la localidad antigua y en las proximidades al cerro colindante superficialmente se halla arenas limosas de color rojiza poco plástica.

5.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001

Eliminado: 1

Como consecuencia del sismo ocurrido el día 23 de junio del 2001 se realizó un análisis de la información referente a los daños (Fotos 7 y 8), ocasionados en los poblados de Callalli y Sibayo.

CUADRO N° 6
EVALUACION DE DAÑOS DE CALLALLI Y SIBAYO

LOCALIDAD	POBLACIÓN TOTAL SEGÚN CENSO	POBLACIÓN NO AFECTADA	VIVIENDAS Y LOCALES		
			AFEC.	DEST.	INST.
P. CAYLLOMA					
CALLALLI	3531	2496	267	39	0
SIBAYO	1030	796	58	10	0

FUENTE: INDECI

AFEC. Viviendas y locales afectadas
DEST. Viviendas y locales destruidas
INST. Instituciones

5.4 MAPA DE PELIGROS DE CALLALLI Y SIBAYO

Por la ubicación del poblado de Callalli en una terraza (Fotos 9 y 10), cuyo suelo es relativamente estable, consistente en aluviales medianamente densos es que se concluye que desde el punto de vista de la microzonificación sísmica le correspondería un nivel de peligrosidad moderada (Anexo E, Plano 6).

El poblado de Callalli no se encuentra expuesto a problemas mayores de inundaciones, aún cuando el nivel de precipitaciones es alta.

En relación a la reactivación de quebradas, sólo se ha identificado una de ellas hacia el NE del poblado de Callalli.

La carretera que pasa por el poblado de Callalli y conecta con Sibayo, estaría expuesta a erosión del río Llapa y que eventualmente podría interrumpir el tránsito.

El suelo del pueblo de Sibayo (poblado antiguo) es bastante uniforme de origen aluvial, consistente en conglomerado medianamente densos, por tanto estable.

Los suelos del poblado de Puente Sibayo Nuevo tiene ciertas características distintas, porque son de origen aluvial-coluvial-proluvial, pero en líneas generales también son relativamente estables desde el punto de vista de la microzonificación sísmica.

|

El aumento del caudal del río Colca por las precipitaciones o por la regulación de las aguas de la presa de Condoroma, el pueblo de Sibayo podría estar expuesto a inundaciones en el sector cercano a la ribera derecha del río

Frente al poblado de Sibayo existe una quebrada que en épocas de lluvias podría activarse, por consiguiente representaría un nivel de peligrosidad importante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. La localidad de Callalli esta constituido principalmente por material aluvial caracterizado por bloques, guijarros, y arenas gravosas de color gris claro, superficialmente se halla la presencia de arenas limosas de color rojiza hacia el sector nor-oeste y de color gris oscuro, con presencia de material orgánico hacia el sector Sur Oeste
2. La localidad de Sibayo se caracteriza por la presencia de material aluvial de color gris claro, gravas arenosas de formas redondeadas, en la parte de la localidad antigua y en las proximidades al cerro colindante superficialmente se halla arenas limosas de color rojiza poco plástica.
3. Es recomendable, para el caso de las construcciones con material noble, el tipo de cimentación mediante vigas de conexión, ya que las características de los suelos inducen la presencia de deformaciones de los suelos, que podrían causar asentamientos diferenciales con los consiguientes efectos de daños estructurales.
4. Habiéndose establecido que los casos de daños causados son esencialmente por la antigüedad de las construcciones por una parte y por otra parte la precariedad de las construcciones, siendo para el caso, recomendable un sistema de construcción con mayor incidencia técnica, con un control y dirección técnica profesional correspondiente, así como una simetría arquitectónica y estructural con la finalidad de atenuar los efectos que pudieran causar las sollicitaciones dinámicas causadas por un sismo de severas condiciones.

5. Según los estudios de refracción sísmica el poblado de Callalli se encuentra asentada sobre una terraza aluvial cuyo suelo es relativamente estable, correspondiéndole un nivel de peligrosidad moderada.
6. El poblado de Callalli no se encuentra expuesto a problemas mayores de inundaciones, aún cuando el nivel de precipitaciones es alta.
7. En relación a la reactivación de quebradas, sólo se ha identificado una de ellas hacia el NO del poblado, denominado Pascana Alayo.
8. La carretera que pasa por el poblado de Callalli y conecta con Sibayo, estaría expuesta a erosión del río Llapa y que eventualmente podría interrumpir el tránsito.
9. Por el aumento del caudal del río Colca por las precipitaciones o por la regulación de las aguas de la presa de Condoroma, el pueblo de Sibayo podría estar expuesta a inundaciones en el sector cercano a la ribera derecha del río.
10. Frente al poblado de Sibayo existe una quebrada que en épocas de lluvias podría activarse, por consiguiente representaría un nivel de peligrosidad importante.
11. De acuerdo a los resultados obtenidos por el método de resistividades, la localidad de Callalli se encuentra emplazada sobre suelos de origen aluvial con relativa presencia de humedad en toda la zona. Se les puede considerar como suelos moderadamente estables.
12. En Sibayo se presentan dos zonas diferentes; una constituida por materiales de origen aluvial asentados sobre rocas pertenecientes al volcánico Tacaza los mismos que presentan relativo contenido de humedad. La otra zona correspondiente al poblado Puente Nuevo Sibayo se encuentra constituida por materiales de origen aluvial-proluvial y coluvial sin contenido de humedad y muy compactados los mismos que descansan posiblemente sobre el grupo Yura.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abe, K., & Kanamori, H., (1979). Temporal variation of the activity of intermediate and deep focus earthquakes, *J. Geophysics. Res.*, 84, 3589 - 3595.
- Barazangi, M., & Isacks, B.L., (1979). subduction of the Nazca plate beneath Peru: evidences from spatial distribution of earthquakes, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 57, 537-555.
- O. Palacios, J. De La Cruz, N. De La Cruz B.A. Klinck, R.A. Allison y M.P. Hawkins. Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicac-Sur del Perú. INGEMMET 199.
- Boletín N° 23, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N°1. INGEMMET, Lima-Perú, Dic. 2000.
- Cantos Figuerola J. *Geofísica Aplicada* Edit. Omega, Barcelona 1976.
- Comte, D., Roecker, S.W, & Suárez, G., (1994). Velocity structure in northern Chile: evidence of subducted oceanic crust in the Nazca plate, *Geophys. J. Int.*, 117, 625-629.
- Dobrin M.B. *Introducción a la Prospección Geofísica* Ed. Omega. Barcelona 1969.
- Engdahl, R., Van der Hilst, R., & Buland, R., (1997). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 1998.
- Grange, F., Hatzfeld, D., Cunningham, P., Molnar, P., Roecker, S.W., Suárez, G., Rodríguez, A. & Ocola, L., (1984). Tectonic implications of the microearthquake seismicity and faulty plane solutions in southern Peru and their implications, *J. Geophys. Res.*, 89, 6139-6152.
- Griffiths D.H. King R.F. *Geofísica Aplicada para Ingenieros y Geólogos*. Ed. Paraninfo Madrid. 1972.

Eliminado: C

- Guizado J. Geología del Cuadrángulo de Aplao Servicio de Geología y Minería noviembre 1968.
- Gutenberg, B., & Richter, C., (1954). Seismicity of the Earth and associated phenomena, Princeton University Press, New Jersey, 2 Ed., 310p.
- James, D. E., (1971). Plate tectonic model for the evolution of the central Andes, Geological Soc. Amer. Bull., 82, 3325-3346.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros Estudio Geoelectrico y Sísmico de la zona San José de Uzuña. Arequipa. Octubre 1991 Instituto Geofísico de la UNSA.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L y otros Estudio Geoelectrico y Sísmico de la zona Cutanayo Pochi. Arequipa. Octubre 1991 Instituto Geofísico de la UNSA.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros Estudio Geoelectrico y Sísmico de la zona de Chalhuanca. Arequipa. Noviembre 1991.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros Estudio Geoelectrico y Sísmico de la zona de Bamputañe. Arequipa. 1992, Instituto Geofísico de la UNSA.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros Estudio de Refracción Sísmica de La Joya-Arequipa. Agosto 1994 Instituto Geofísico de la UNSA.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. Estudio de Refracción Sísmica del Sector Cerro Muyoorco Reservorio R-13 Qosqo. Arequipa. Noviembre 1994 Instituto Geofísico de la UNSA.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. Estudio de Refracción Sísmica y Geoelectrico del Sector San Sebastián, Reservorio R- 10 Qosqo. Arequipa. Noviembre 1994.
- Kosaka M. Soto V. Minaya L. Estudio de Refracción Sísmica y Geoelectrico del Sector Kenkoro Pata, Reservorio R- 12 en el Distrito de San Jeronimo Qosqo. Arequipa. Noviembre 1994.
- Kosaka M. Soto V. Palza A-B. Minaya L. Estudio Geofísico en las Lagunas de Comerccocha y Senejillayoc. Región Inka Arequipa Junio 1995.
- Kosaka R., González E., Minaya A., Soto J. Campaña Sísmica del Valle del Colca y el Volcán Sabancaya Arequipa, mayo, 1995
- Minaya, A., Lazo, M., Ticona, J., Escalante, C., Aguilar, V., Berrocal, J., & Fernández, C., (2000). Earthquake Hazard Assessment in the Southern Peru (13o S - 18.5o S). 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro - Brasil.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa Cuenca del Río Camaná-Majes Volumen I 1973.
- Parasnis D.S. Principios de Geofísica Aplicada. Paraninfo. Madrid. España 1971.
- Resumen Ejecutivo. Planes de Mitigación de los Efectos producidos por los Desastres Naturales, Programa de Ciudades Sostenibles-I Etapa. Lima, octubre, 2000.
- Sanchez Rodrigo. Sistemas de Producción e Ingreso Familiar en el Ambito del PDR-COPASA, Lima 1996.
- Smoll L., Zavala C. Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Camaná-Majes (Colca) Boletín N°14 INGENMET, Lima diciembre 1994
- Ticona, J., Minaya, A., Lazo, M., Escalante, C., Aguilar, V., Berrocal, J., & Fernández, C.,(2000). Recent Large destructed earthquakes occurred in Arequipa, Southern Peru, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro - Brasil.

- Zavala C. Nuñez J. Estudio Geológico – Geotécnico de la Región SurOccidental del Perú (Boletín N° 22-INGENMET), Lima, setiembre 1999.

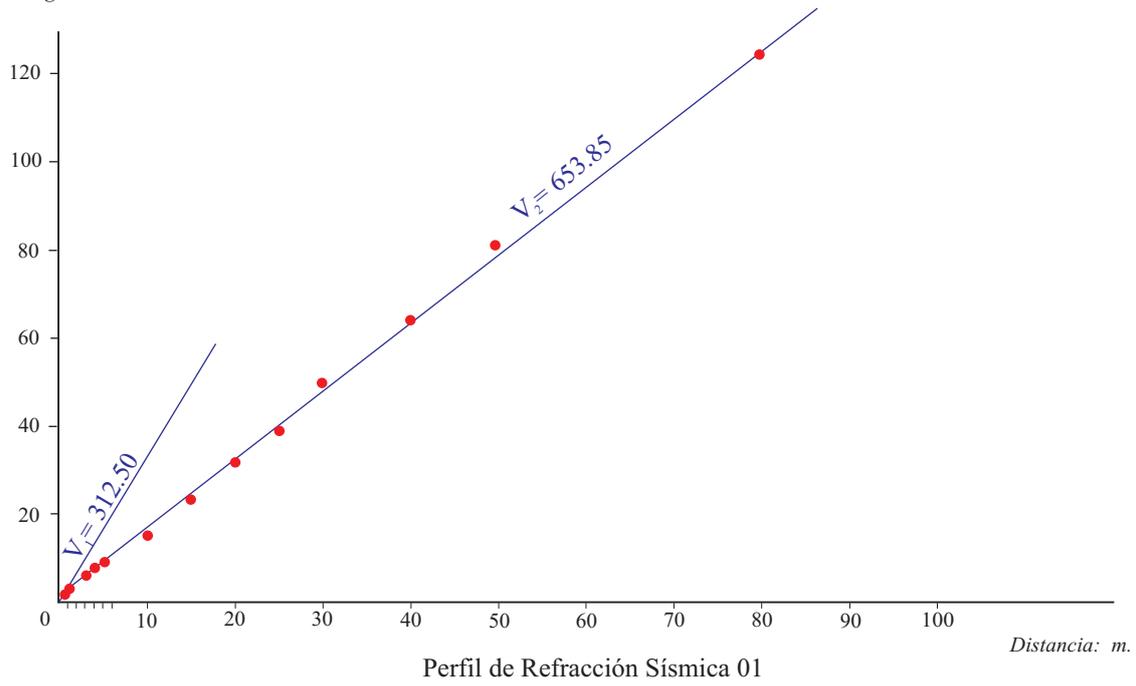
ANEXOS

A. LISTA DE PERFILES SISMICOS

1. Perfil sísmico, Callalli 1, calle Pachachaca-Sibayo
2. Perfil sísmico, Callalli 2, calle Tahuantinsuyo
3. Perfil sísmico, Callalli 3, calle Colca
4. Perfil sísmico, Callalli 4, calle 28 de julio
5. Perfil sísmico, Callalli 5, calle Luis Ponce
6. Perfil sísmico, Callalli 6, calle Progreso
7. Perfil sísmico, Callalli 7, calle Progreso
8. Perfil sísmico, Callalli 8, calle Panamá
9. Perfil sísmico, Callalli 9, calle Canadá
10. Perfil sísmico, Sibayo 1, pueblo antiguo
11. Perfil sísmico, Sibayo 2, pueblo antiguo
12. Perfil sísmico, Sibayo 3, calle Ramón Castilla
13. Perfil sísmico, Sibayo 4, calle Tupac Amaru

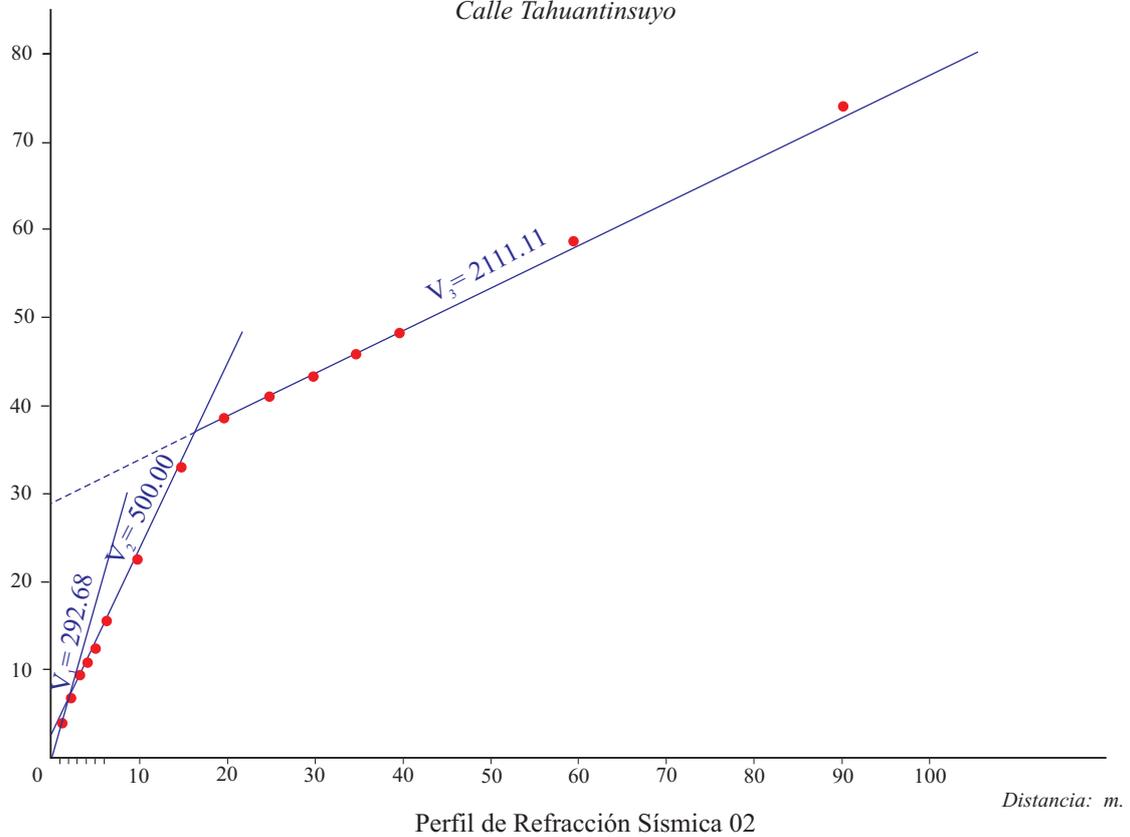
CALLALLI - 1
Calle Pachachaca - Sibayo

Tiempo:
mseg.



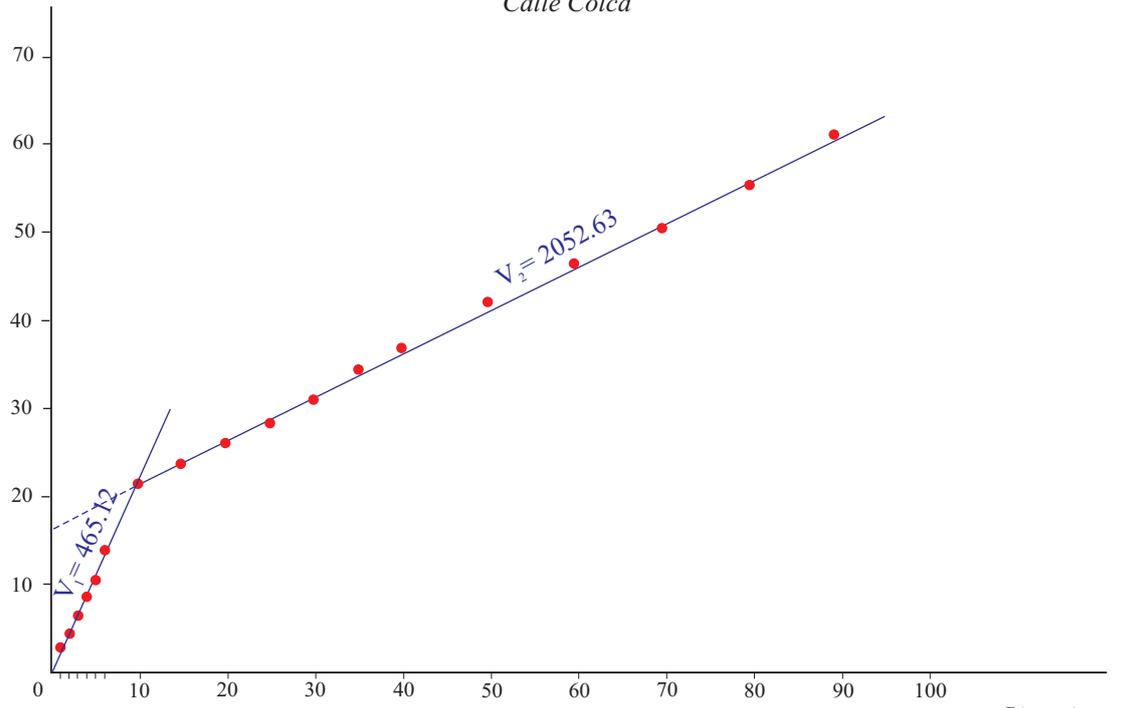
CALLALLI - 2
Calle Tahuantinsuyo

Tiempo:
mseg.



Tiempo:
mseg.

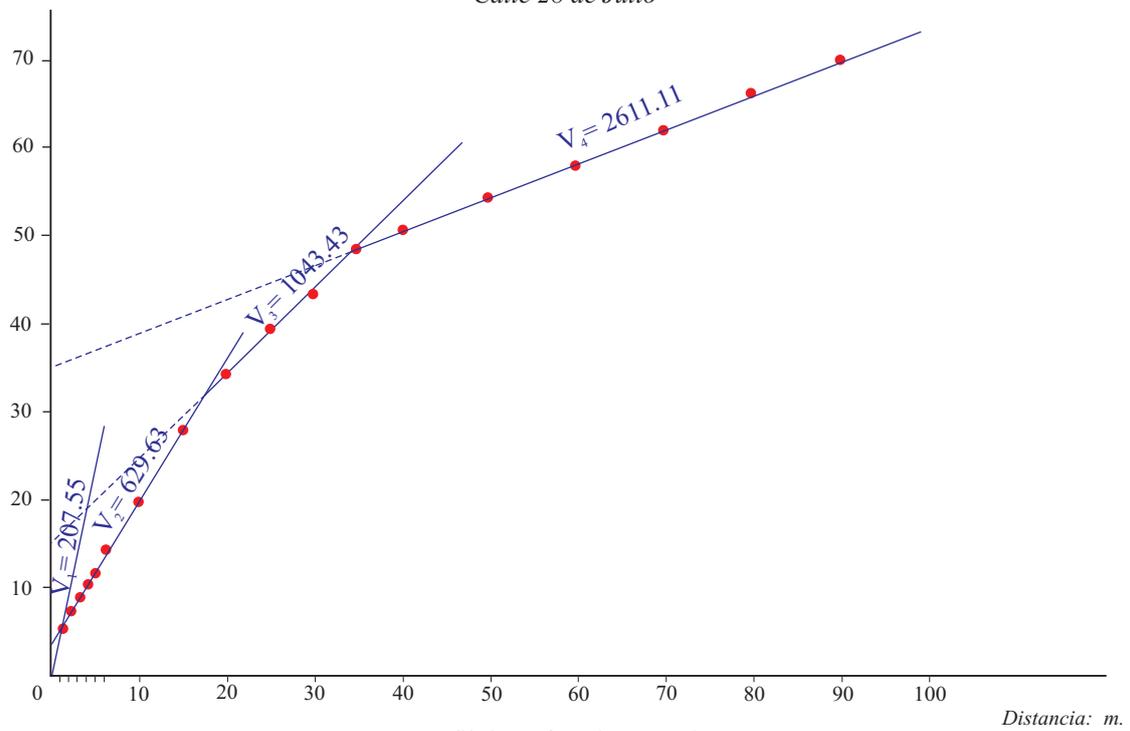
CALLALLI - 3
Calle Colca



Perfil de Refracción Sísmica 03

Tiempo:
mseg.

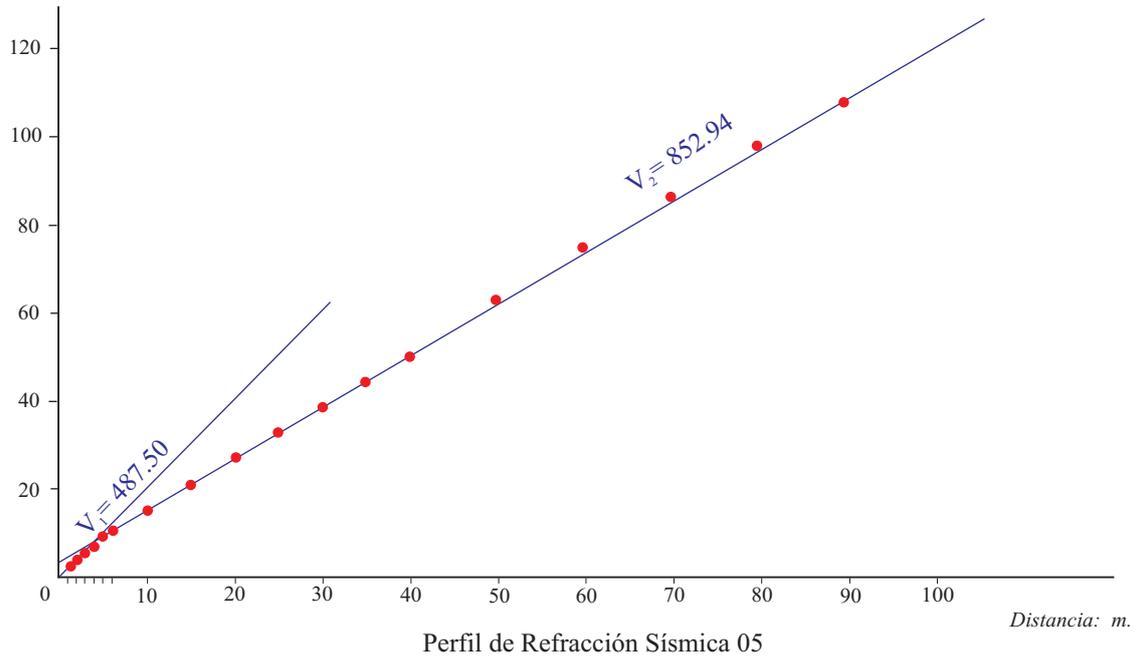
CALLALLI - 4
Calle 28 de Julio



Perfil de Refracción Sísmica 04

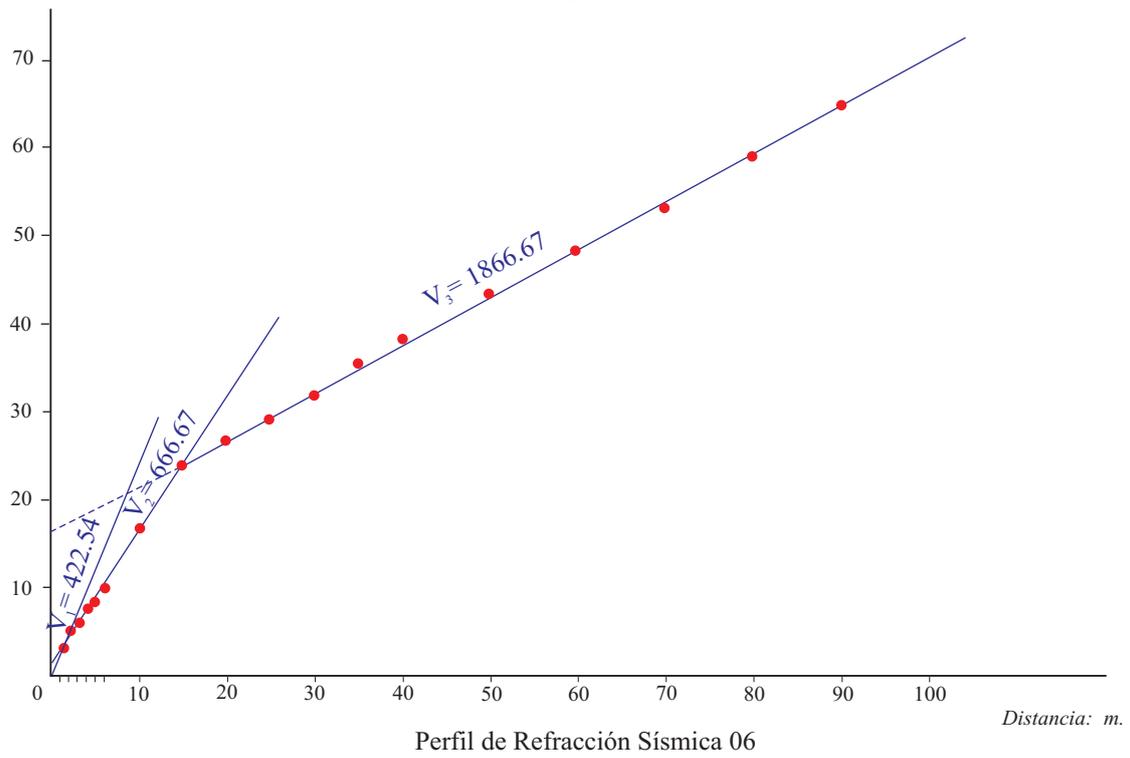
Tiempo:
mseg.

CALLALLI - 5
Calle Luis Ponce



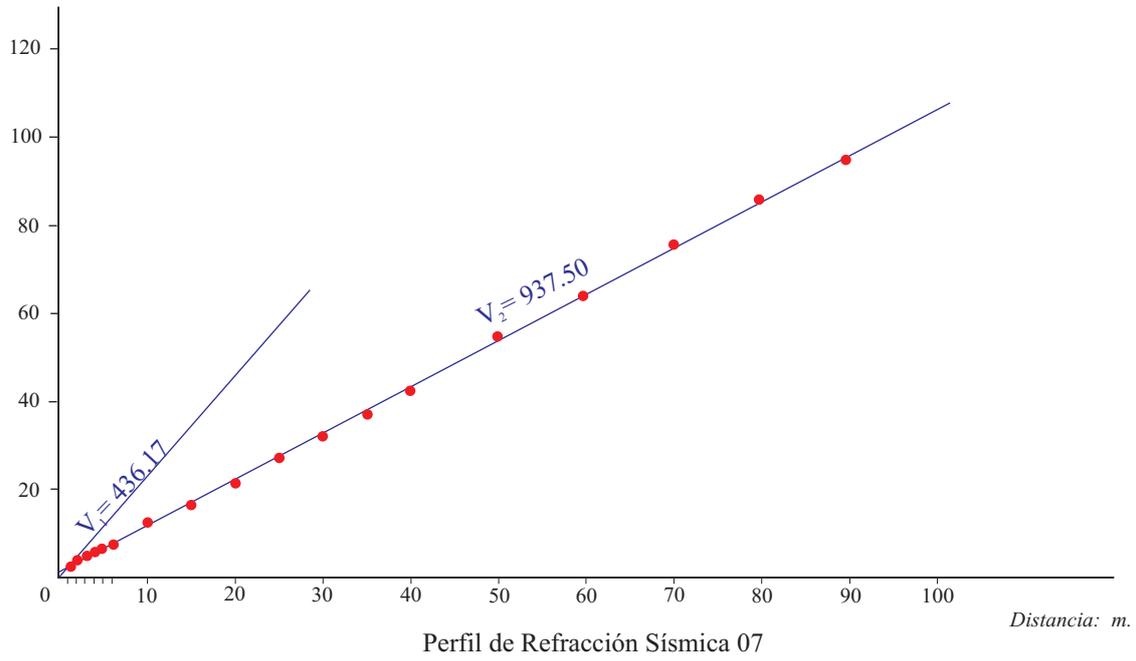
Tiempo:
mseg.

CALLALLI - 6
Calle Progreso



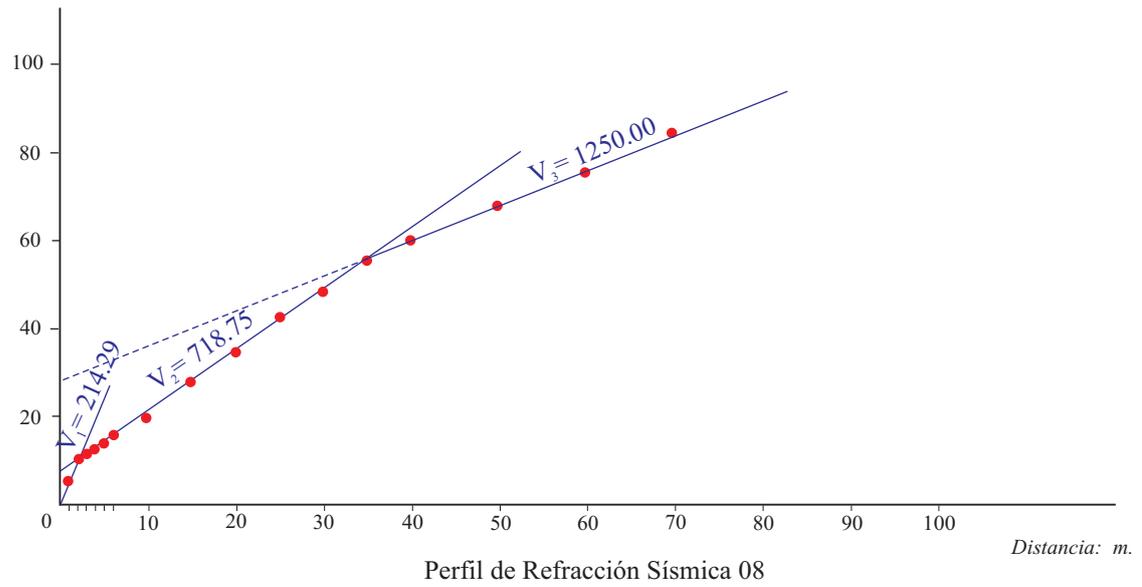
CALLALLI - 7
Calle Progreso

Tiempo:
mseg.



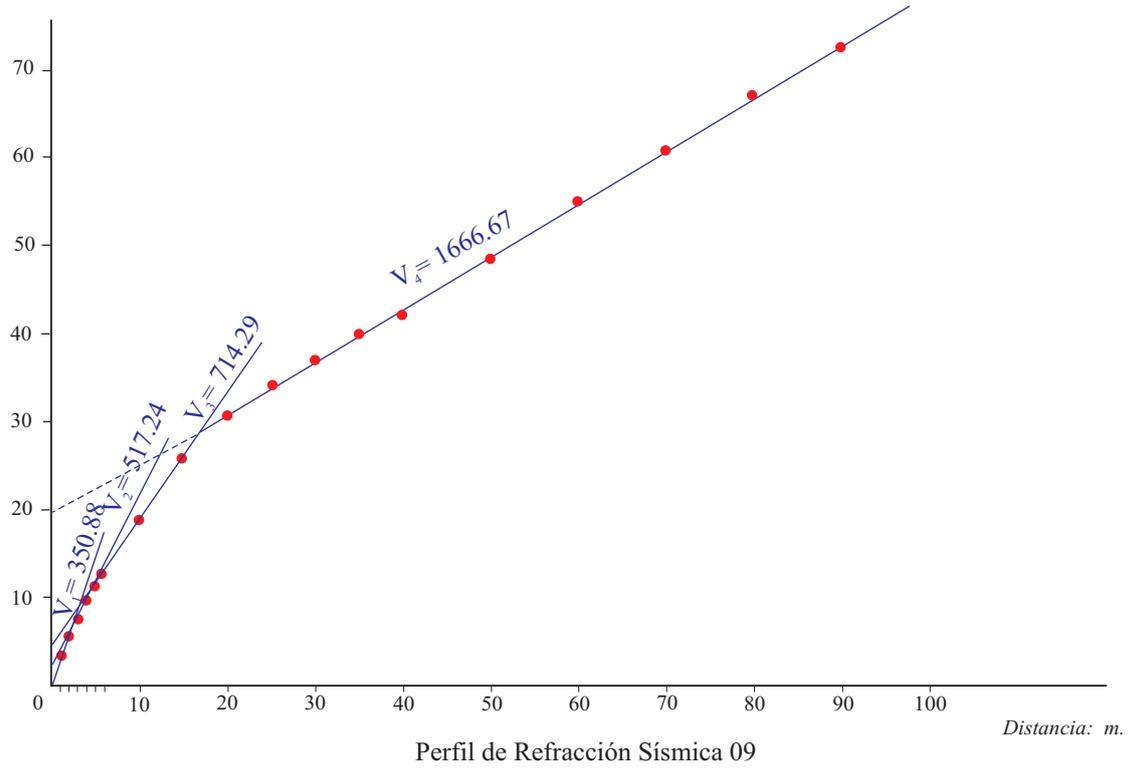
CALLALLI - 8
Calle Panamá

Tiempo:
mseg.



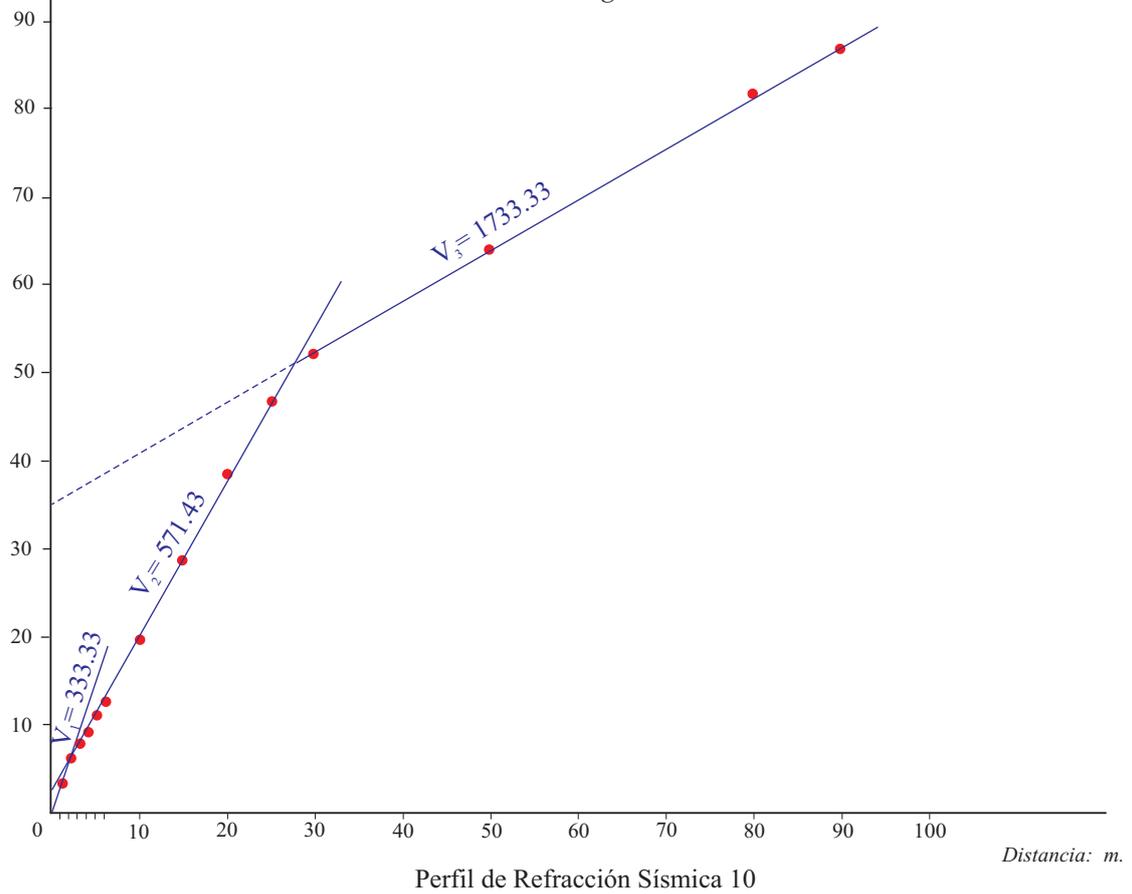
Tiempo:
mseg.

CALLALLI - 9
Calle Canadá



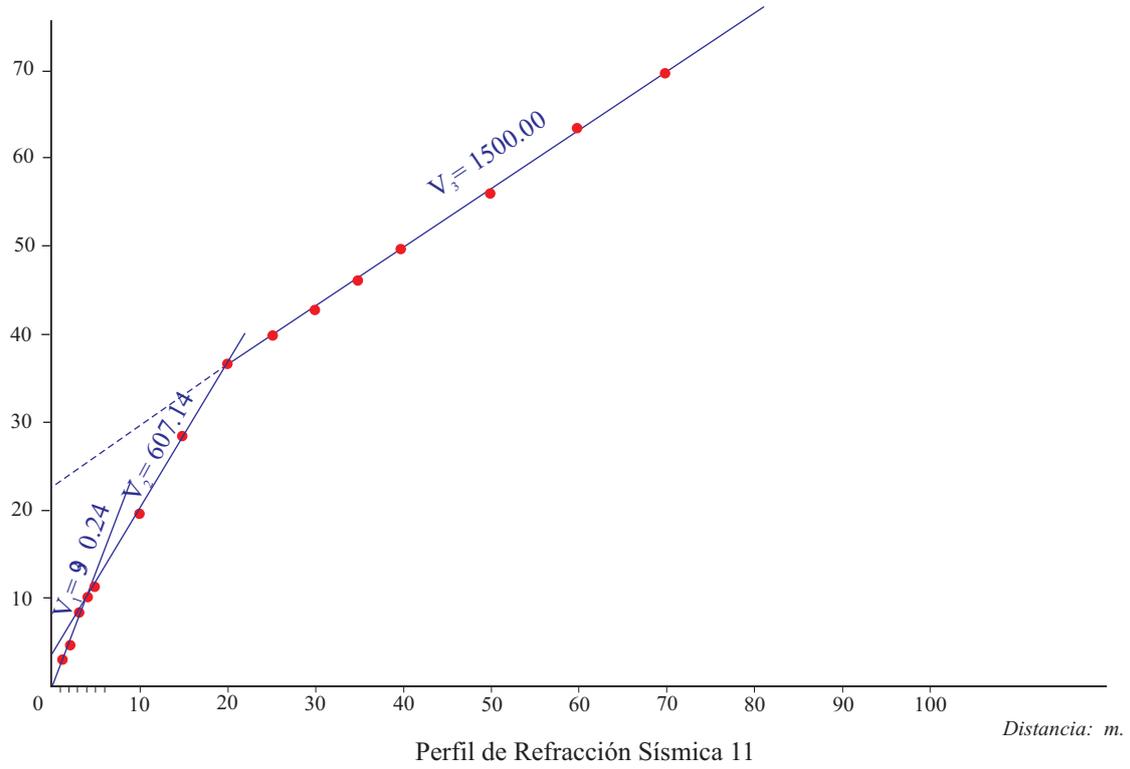
Tiempo:
mseg.

SIBAYO - 10
Pueblo Antiguo



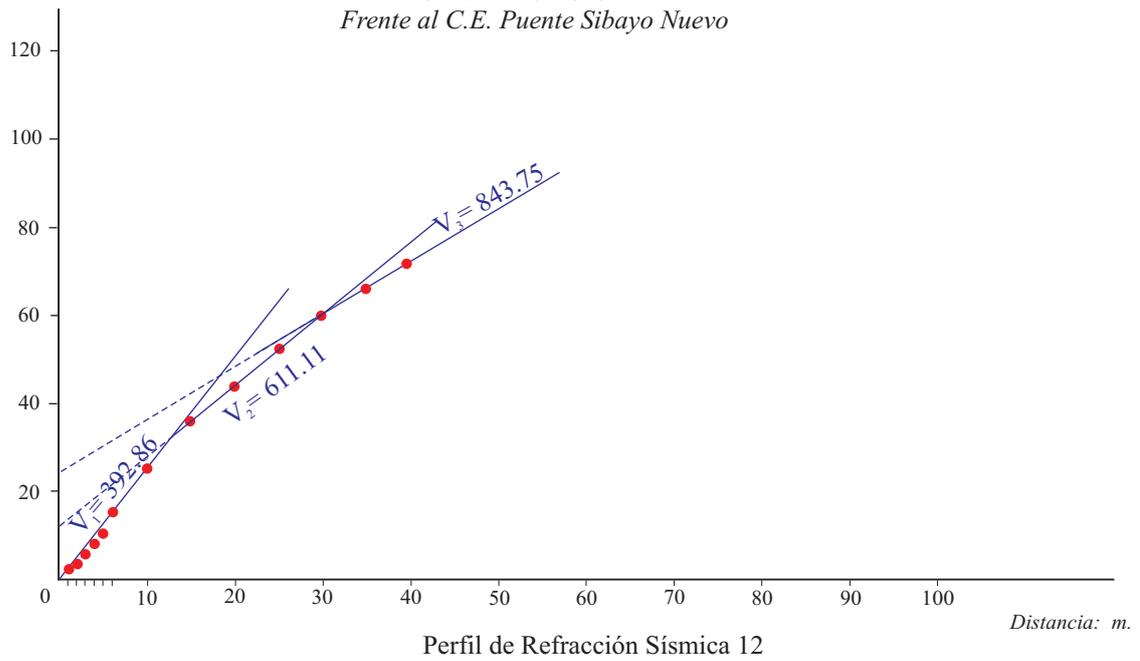
Tiempo:
mseg.

SIBAYO - 11
Pueblo Antiguo



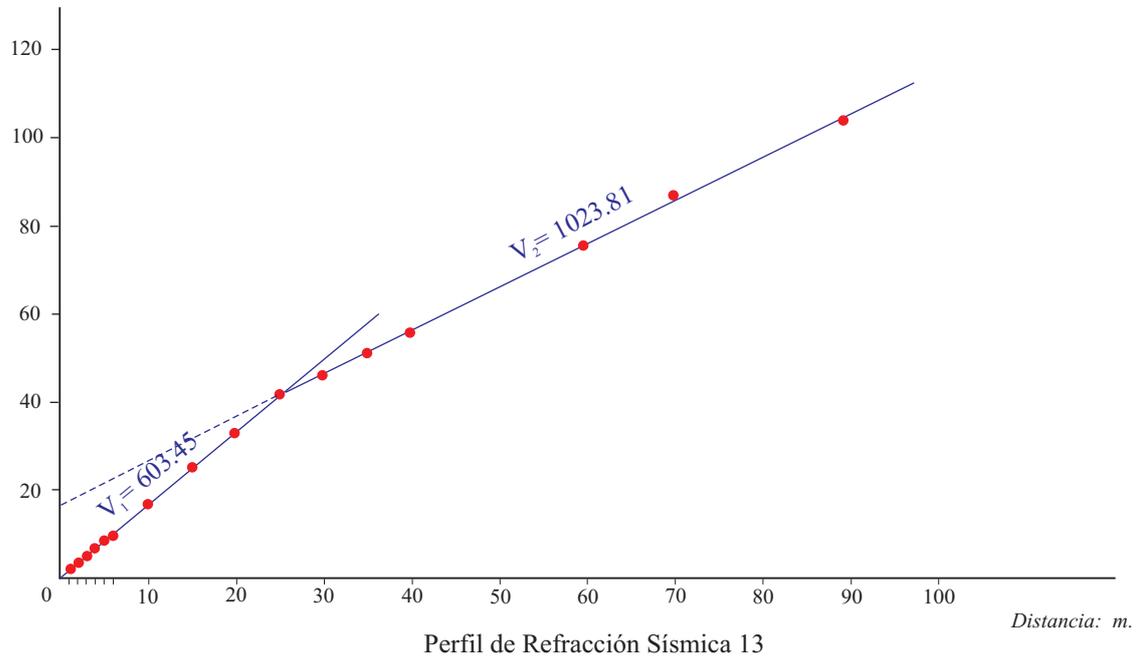
Tiempo:
mseg.

SIBAYO - 12
Calle Ramón Castilla
Frente al C.E. Puente Sibayo Nuevo



Tiempo:
mseg.

SIBAYO - 13
Calle Tupac Amaru



Perfil de Refracción Sísmica 13

B. LISTA DE COLUMNAS SISMICAS

- 1a. Columna Sísmica de Callalli 1, calle Pachachaca-Sibayo
- 1b. Columna Sísmica de Callalli 2, calle Tahuantinsuyo
- 1c. Columna Sísmica de Callalli 3, calle Colca

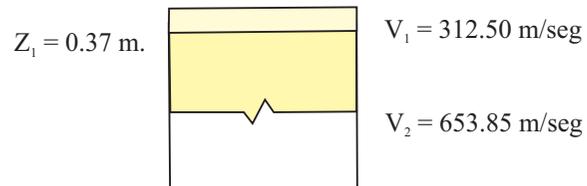
- 2a. Columna Sísmica de Callalli 4, calle 28 de julio
- 2b. Columna Sísmica de Callalli 5, calle Luis Ponce
- 2c. Columna Sísmica de Callalli 6, calle Progreso

- 3a. Columna Sísmica de Callalli 7, calle Progreso
- 3b. Columna Sísmica de Callalli 8, calle Panamá
- 3c. Columna Sísmica de Callalli 9, calle Canadá

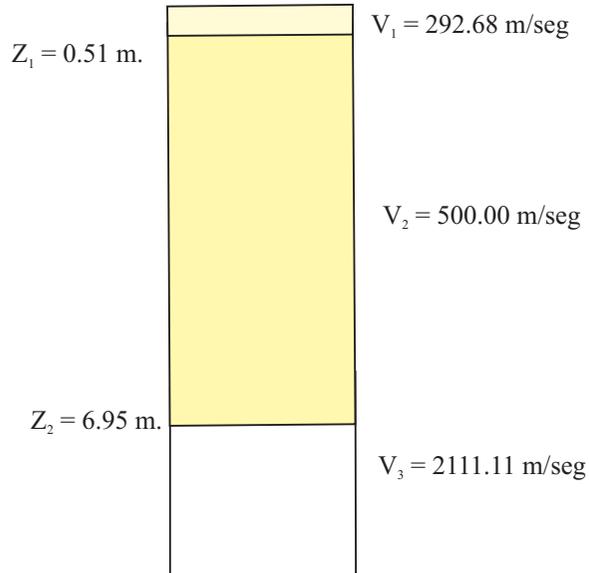
- 4a. Columna Sísmica de Sibayo 10, pueblo antiguo
- 4b. Columna Sísmica de Sibayo 11, pueblo antiguo

- 5a. Columna Sísmica de Sibayo 12, calle Ramón Castilla
- 5b. Columna Sísmica de Sibayo 13, calle Tupac Amaru

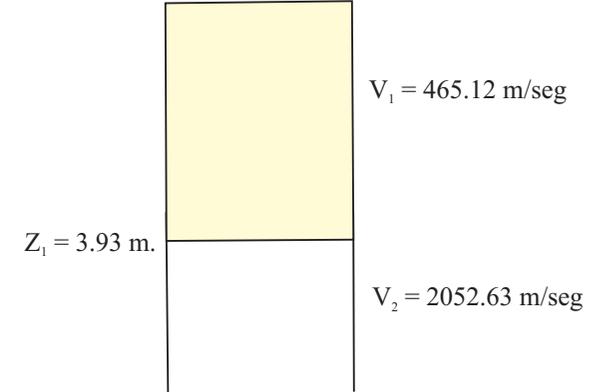
CALLALLI - 1
Calle Pachachaca



CALLALLI - 2
Calle Tahuantinsuyo



CALLALLI - 3
Calle Colca



Leyenda

-  Depósitos aluviales con matriz arenosa
-  Depósitos aluviales con matriz arenosa medianamente consolidados
-  Roca algo competente
- $Z_1 \dots =$ Profundidad
- $V_1 \dots =$ Velocidad

Leyenda

-  Depósitos aluviales
-  Material de origen volcánico
- $Z_1 \dots =$ Profundidad
- $V_1 \dots =$ Velocidad



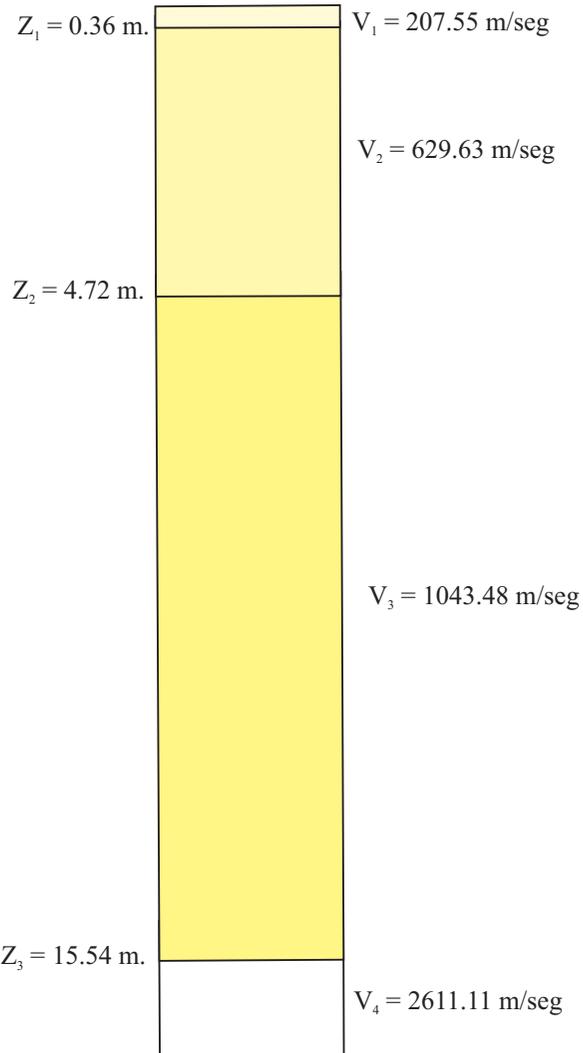
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SÍSMICA
DE CALLALLI

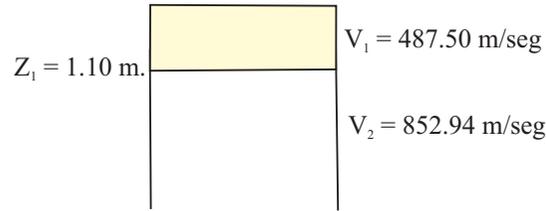
Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1

CALLALLI - 4
Calle 28 de Julio



CALLALLI - 5
Calle Luis Ponce



Leyenda

- Depósitos aluviales
- Material algo competente

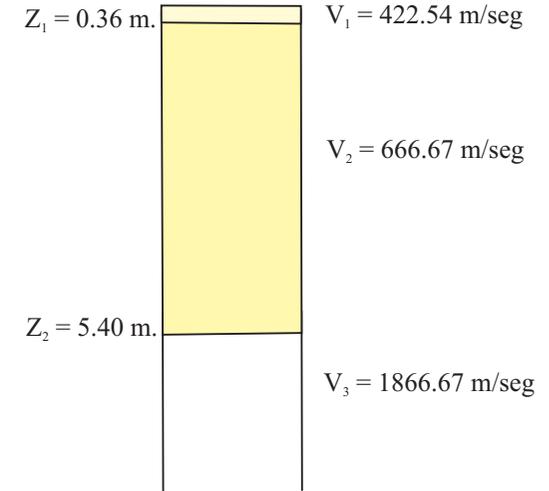
$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad

Leyenda

- Material coluvial
- Depósitos aluviales ligeramente compactos
- Depósitos aluviales más compactos
- Rocas volcánicas algo competentes

$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad

CALLALLI - 6
Calle Progreso



Leyenda

- Material coluvial
- Depósitos aluviales ligeramente compactos
- Material volcánico alterado

$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad



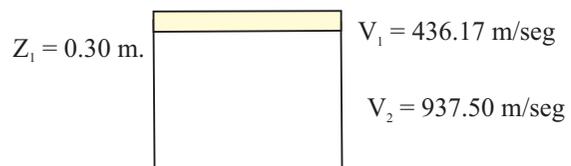
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SÍSMICA
DE CALLALLI

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 2

CALLALLI - 7
Calle Progreso

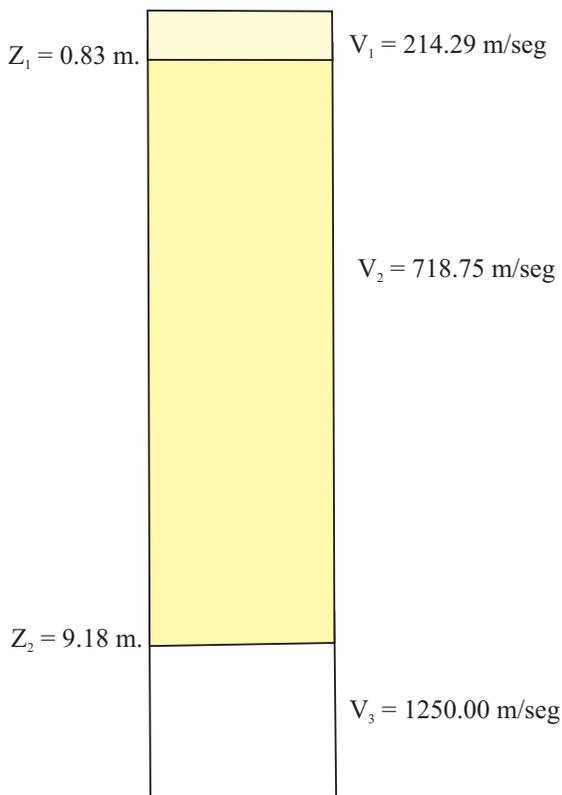


Leyenda

- Material limoso y proluvial
- Material aluvional

$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad

CALLALLI - 8
Calle Panamá

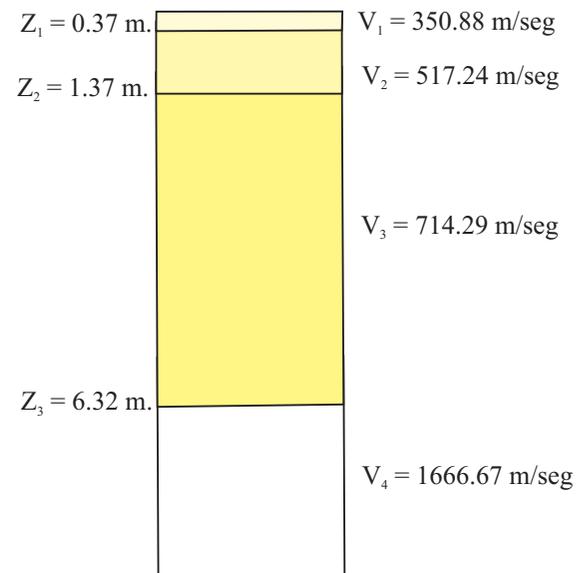


Leyenda

- Material limoso y proluvial
- Depósitos aluvionales
- Depósitos aluvionales algo más compactos
- Material aluvial
- Material aluvial algo más compacto

$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad

CALLALLI - 9
Calle Canadá



Leyenda

- Material coluvial y proluvial
- Depósitos aluvionales
- Depósitos aluvionales algo más compactos
- Material de origen volcánico

$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

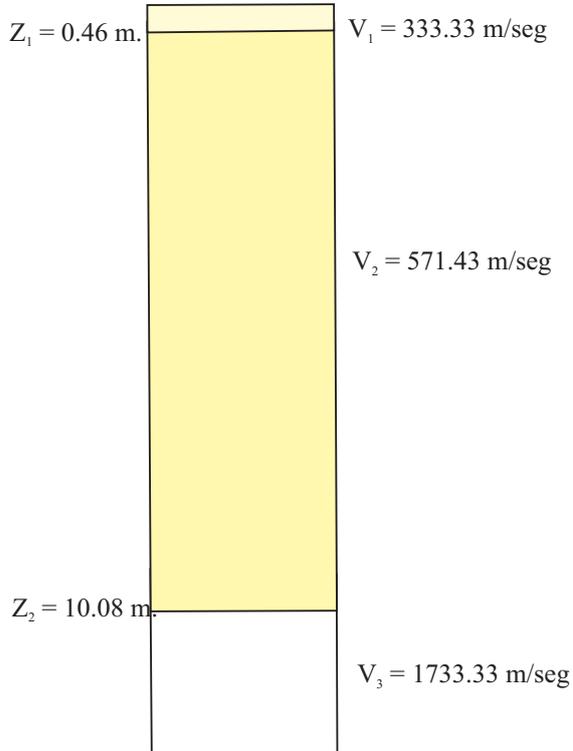
COLUMNA SÍSMICA
DE CALLALLI

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 3

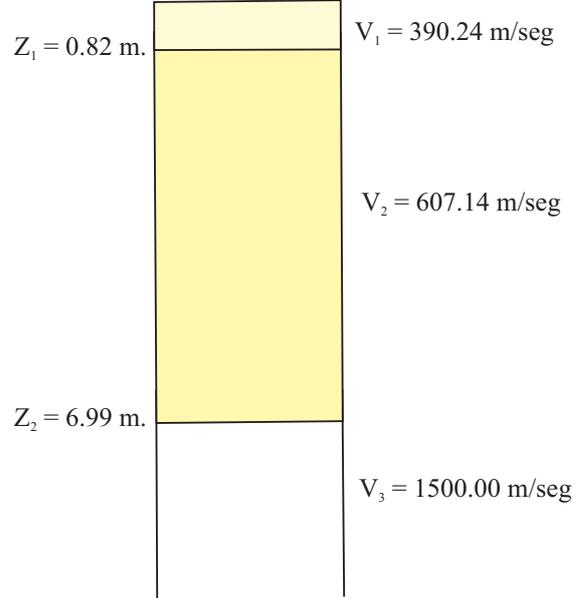
SIBAYO - 10

Pueblo Antiguo



SIBAYO - 11

Pueblo Antiguo



Leyenda

-  Materiales aluviales con matriz arenosa
-  Suelos aluviales del tipo conglomerados con cantos redondeados a subredondeados
-  Material aluvial más compacto

$Z_1 \dots$ = Profundidad

$V_1 \dots$ = Velocidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SÍSMICA
DE SIBAYO

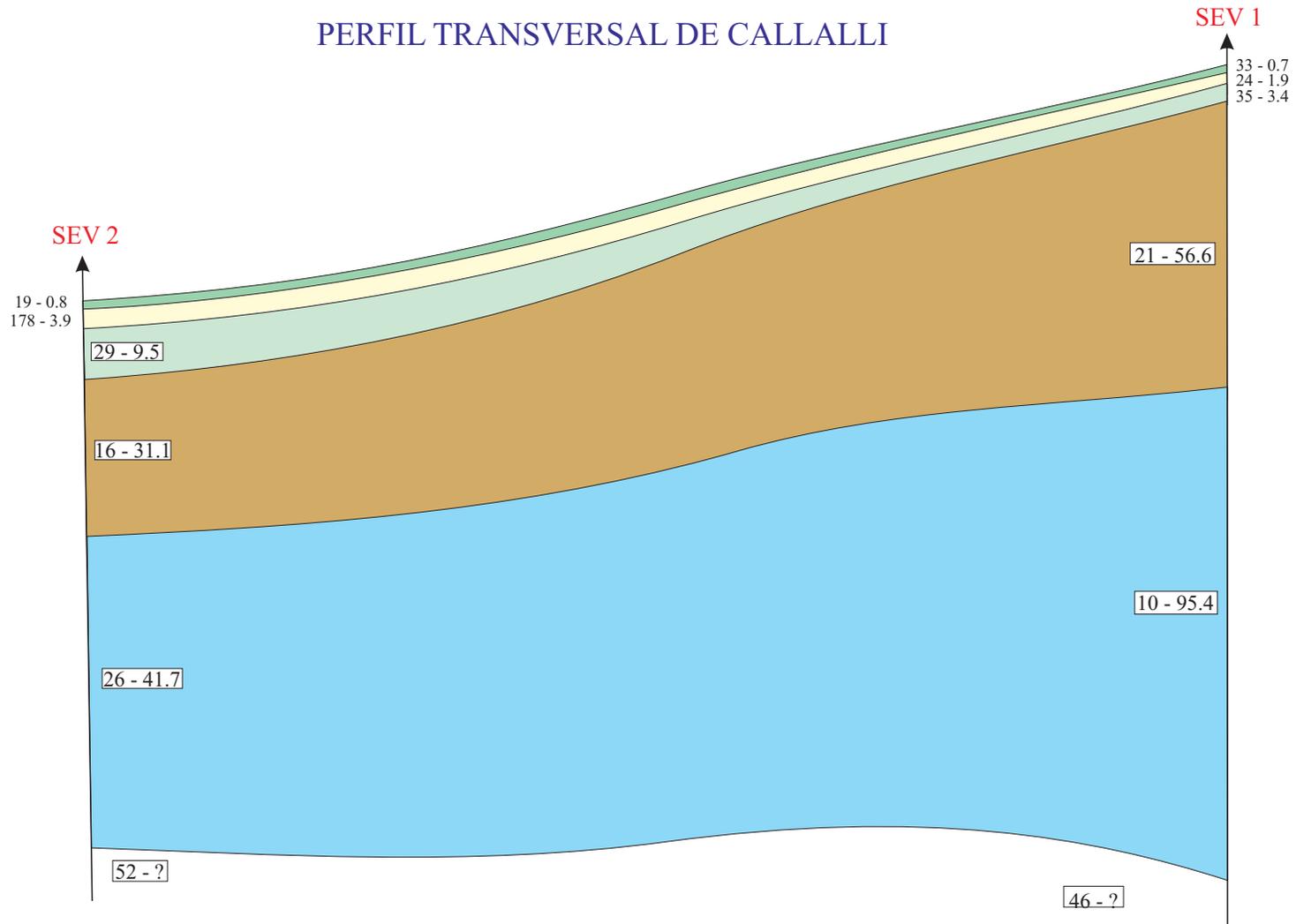
Fecha: enero, 2002

Fig. N° 4

**C. LISTA DE SECCIONES DE SONDAJE ELECTRICO
VERTICAL(SEV)**

1. PERFIL TRANSVERSAL DE CALLALI
2. COLUMNAS GEOELECTRICAS DE SIBAYO

PERFIL TRANSVERSAL DE CALLALLI



LEYENDA

- Material sedimentario (areno-limoso)
- Material arenoso limoso compactado con humedad
- Material de origen Aluvial (poco húmedo)
- Material de origen Aluvial (con humedad)
- Material Volcánico (fracturado con humedad)
- Material Volcánico compactado



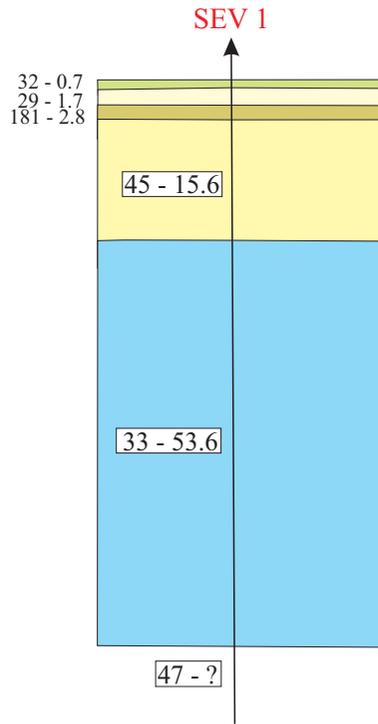
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

PERFIL TRANSVERSAL
 DE CALLALLI

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1

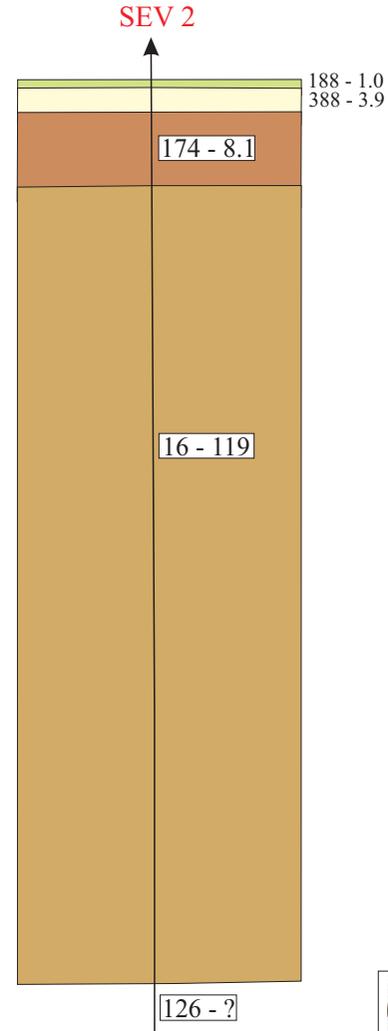
COLUMNAS GEOELECTRICAS SIBAYO



LEYENDA

- Material de origen proluvial-coluvial (húmedo)
- Material de origen Proluvial-coluvial (mayor humedad)
- Material de origen Aluvial compactados
- Material Aluvial (saturado de humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

38 - 76
Resistividad Espesor



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (compacta, sin humedad)
- Material de origen Aluvial (compactado)
- Material Volcánico (fracturado, con humedad)
- Material Volcánico compacto

38 - 76
Resistividad Espesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNAS GEOELECTRICAS
DE SIBAYO

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 2

D. RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

- Ensayo Corte Directo
- Ensayo Densidad Máxima, Mínima
- Ensayo Gravedad Específica
- Ensayo Granulométrico Mecánico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO MECANICA DE SUELOS ENSAYO CORTE DIRECTO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Sibayo

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD : 1.80 m.

UBICACIÓN : Ingreso localidad de Sibayo

FECHA : 16/11/2001

TANGENCIAL δh (mm.)	σ (kg/cm ²)				
	τ (kg/cm ²)				
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20	0,20	0,60	0,77	1,19	0,00
0,28	0,28	0,72	1,00	1,40	0,00
0,00	0,34	0,83	1,19	1,63	0,00
0,00	0,39	0,94	1,28	1,83	0,00
0,00	0,48	1,10	1,63	2,16	0,00
0,00	0,52	1,18	1,73	2,31	0,00
0,00	0,56	1,25	1,84	2,40	0,00
0,00	0,60	1,31	1,94	2,57	0,00
0,00	0,63	1,37	2,04	2,69	0,00
0,00	0,66	1,42	2,12	2,76	0,00
0,00	0,67	1,48	2,19	2,83	0,00
0,00	0,70	1,51	2,26	2,92	0,00
0,00	0,72	1,55	2,31	2,99	0,00
0,00	0,73	1,58	2,37	3,05	0,00
0,00	0,75	1,60	2,42	3,09	0,00
0,00	0,77	1,61	2,46	3,13	0,00
0,00	0,78	1,61	2,50	3,17	0,00
0,00	0,79	1,62	2,54	3,21	0,00
0,00	0,80	1,62	2,58	3,24	0,00
0,00	0,81	1,62	2,59	3,26	0,00
0,00	0,81	1,62	2,60	3,27	0,00
0,00	0,81	1,61	2,60	3,27	0,00
0,00	0,81	1,59	2,58	3,27	0,00
0,00	0,81		2,55	3,26	0,00
0,00	0,82			3,26	0,00
0,00	0,82				0,00
0,00	0,80				0,00
0,00	0,81				0,00
0,00	0,80				0,00

Contenido de humedad	0,0 %
Angulo de Rozamiento interno	34,0 °
Cohesión efectiva	0,00 kg/cm ²

OBSERVACIONES: La muestra (alterada) fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO CORTE DIRECTO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

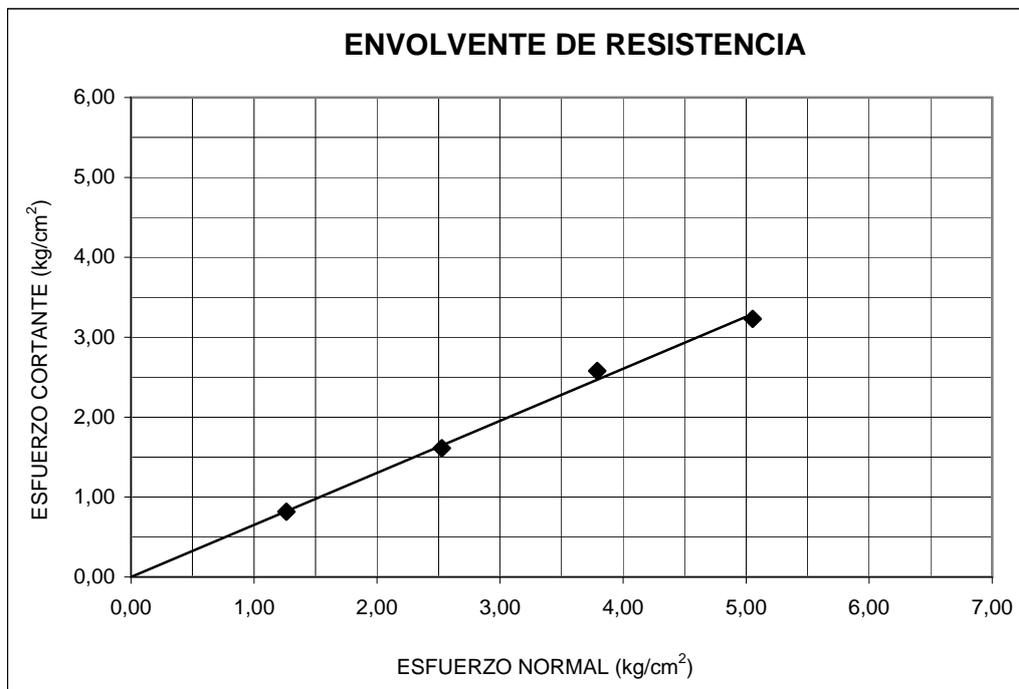
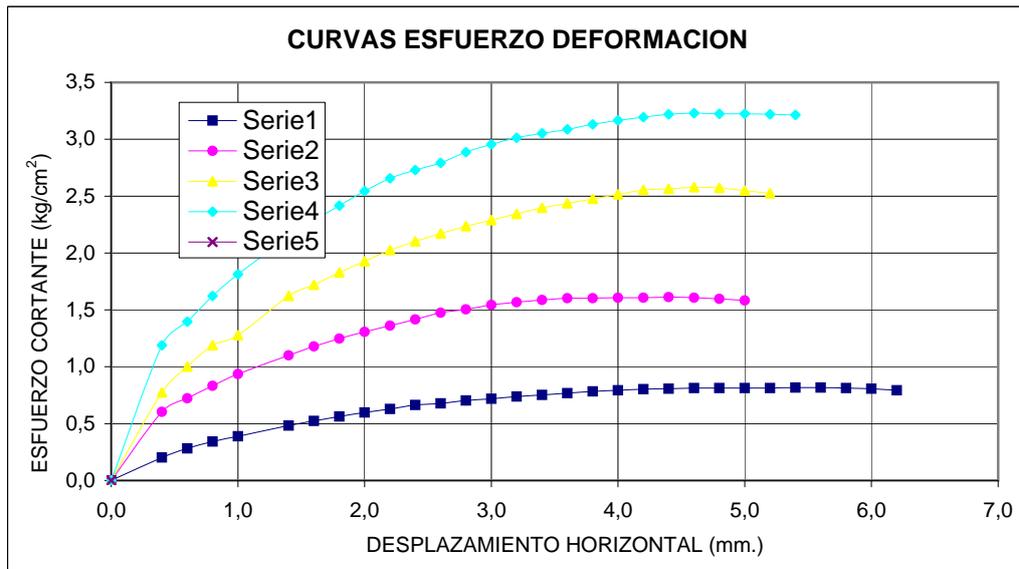
PROYECTO : Mapas de Peligros Sibayo

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD : 1.80 m.

UBICACIÓN : Ingreso localidad de Sibayo

FECHA : 16/11/2001



OBSERVACIONES: La muestra (alterada) fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO MECANICA DE SUELOS ENSAYO CORTE DIRECTO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 2

PROFUNDIDAD: 2.40 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

FECHA : 16/11/2001

TANGENCIAL δh (mm.)	σ (kg/cm ²)				
	τ (kg/cm ²)				
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20	0,20	0,60	0,77	1,19	0,00
0,28	0,28	0,72	1,00	1,40	0,00
0,00	0,34	0,83	1,19	1,63	0,00
0,00	0,39	0,94	1,28	1,83	0,00
0,00	0,48	1,10	1,63	2,16	0,00
0,00	0,52	1,18	1,73	2,31	0,00
0,00	0,56	1,25	1,84	2,40	0,00
0,00	0,60	1,31	1,94	2,57	0,00
0,00	0,63	1,37	2,04	2,69	0,00
0,00	0,66	1,42	2,12	2,76	0,00
0,00	0,67	1,48	2,19	2,83	0,00
0,00	0,70	1,51	2,26	2,92	0,00
0,00	0,72	1,55	2,31	2,99	0,00
0,00	0,73	1,58	2,37	3,05	0,00
0,00	0,75	1,60	2,42	3,09	0,00
0,00	0,77	1,61	2,46	3,13	0,00
0,00	0,78	1,61	2,50	3,17	0,00
0,00	0,79	1,62	2,54	3,21	0,00
0,00	0,80	1,62	2,58	3,24	0,00
0,00	0,81	1,62	2,59	3,26	0,00
0,00	0,81	1,62	2,60	3,27	0,00
0,00	0,81	1,61	2,60	3,27	0,00
0,00	0,81	1,59	2,58	3,27	0,00
0,00	0,81		2,55	3,26	0,00
0,00	0,82			3,26	0,00
0,00	0,82				0,00
0,00	0,80				0,00
0,00	0,81				0,00
0,00	0,80				0,00

Contenido de humedad	0,0 %
Angulo de Rozamiento interno	32,0 °
Cohesión efectiva	0,00 kg/cm ²

OBSERVACIONES: La muestra (alterada) fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO CORTE DIRECTO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

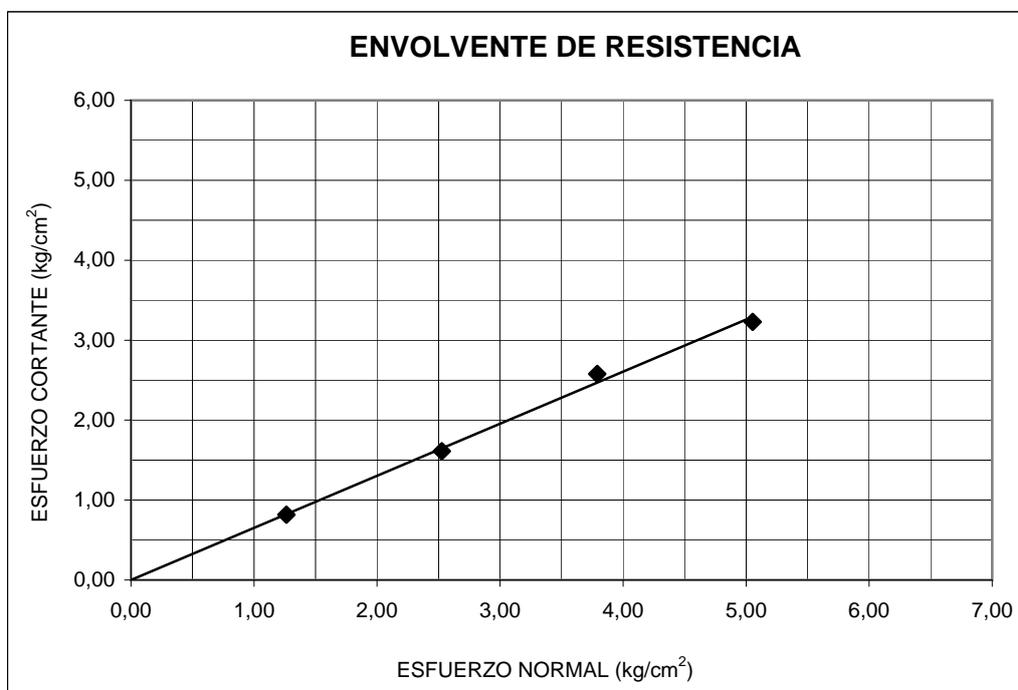
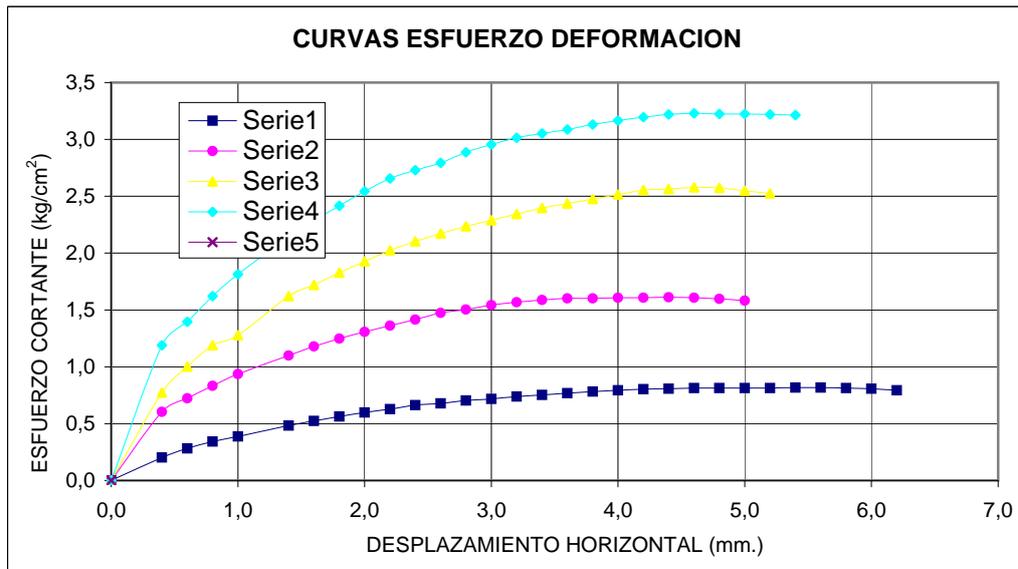
PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 2

PROFUNDIDAD: 2.40 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

FECHA : 16/11/2001



OBSERVACIONES: La muestra (alterada) fue puesta en el laboratorio por los interesados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA**PROYECTO :** Mapas de Peligros Sibayo**MUESTRA :** M - 1**PROFUNDIDAD,** 1.80 m.**UBICACIÓN :** Ingreso localidad de Sibayo**FECHA :** 16/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5699,00	5682,00	5703,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1476,00	1459,00	1480,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,575	1,557	1,580

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO	1,571 g/cm³
--	-------------------------------

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5967,00	5978,00	5976,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1744,00	1755,00	1753,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,861	1,873	1,871

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO	1,869 g/cm³
--	-------------------------------

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.60 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Fonc

FECHA : 16/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5368,00	5365,00	5363,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1145,00	1142,00	1140,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,222	1,219	1,217

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO **1,219 g/cm³**

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5787,00	5792,00	5797,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1564,00	1569,00	1574,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,669	1,675	1,680

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO **1,675 g/cm³**

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 2

PROFUNDIDAD, 2.40 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Fonc

FECHA : 16/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5306,00	5306,00	5306,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1083,00	1083,00	1083,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	804,05	799,02	793,98
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,347	1,355	1,364

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO 1,355 g/cm³

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5436,00	5431,00	5436,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1213,00	1208,00	1213,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	626,91	624,90	620,88
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,935	1,933	1,954

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO 1,941 g/cm³

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS**

ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Sibayo

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.80 m.

UBICACIÓN : Ingreso localidad de Sibayo

FECHA : 16/11/2001

ENSAYO		1	
Temperatura	(° C)	20,00	
Peso de la fiola + agua + muestra	(g)	1345,10	
Peso de la fiola + agua	(g)	1251,50	
Peso de la muestra seca	(g)	150,00	
Peso específico del agua	(g/cm ³)	1,00	
Coficiente de corrección de temperatura	α	1,0000	
Gravedad especifica de los sólidos		2,66	

Gravedad especifica de los sólidos por **2,66**

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.60 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

FECHA : 16/11/2001

ENSAYO		1	
Temperatura	(° C)	20,00	
Peso de la fiola + agua + muestra	(g)	1346,40	
Peso de la fiola + agua	(g)	1255,80	
Peso de la muestra seca	(g)	150,00	
Peso específico del agua	(g/cm ³)	1,00	
Coeficiente de corrección de temperatura	α	1,0000	
Gravedad especifica de los sólidos		2,53	

Gravedad especifica de los sólidos por **2,53**

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID, 2.40 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

FECHA : 16/11/2001

ENSAYO		1	
Temperatura	(° C)	20,00	
Peso de la fiola + agua + muestra	(g)	1346,90	
Peso de la fiola + agua	(g)	1254,70	
Peso de la muestra seca	(g)	150,00	
Peso específico del agua	(g/cm ³)	1,00	
Coeficiente de corrección de temperatura	α	1,0000	
Gravedad específica de los sólidos		2,60	

Gravedad específica de los sólidos por **2,60**

OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO GRANULOMETRICO MECANICO
 CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Sibayo

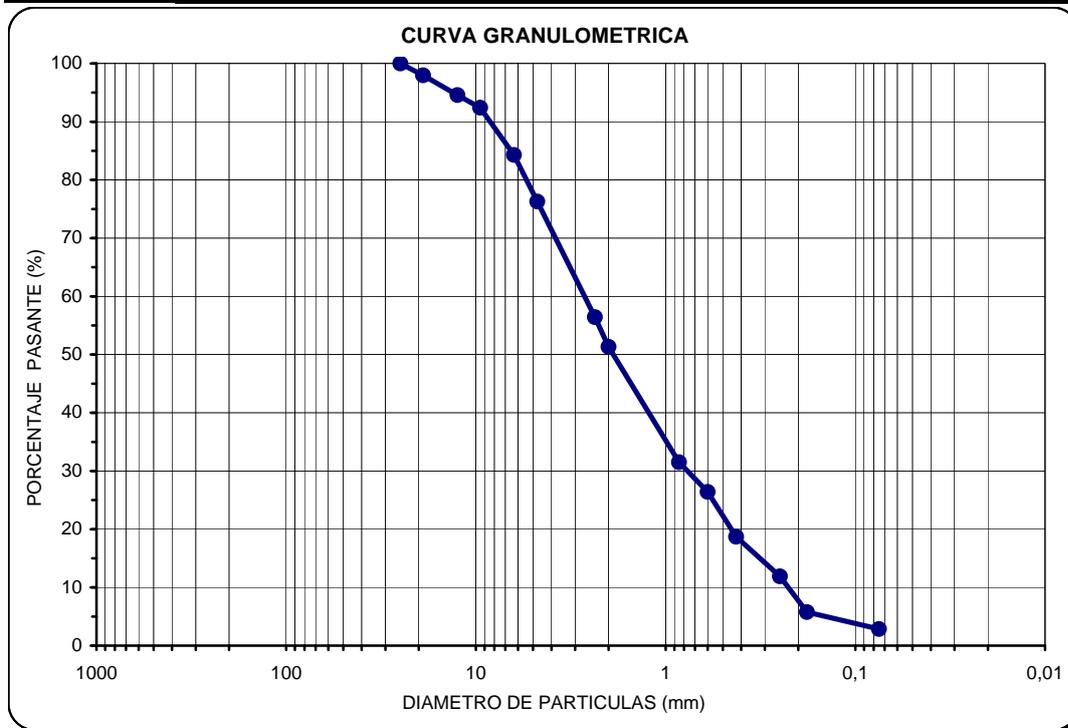
MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.80 m.

UBICACIÓN : Ingreso localidad de Sibayo

FECHA : 16/11/2001

Tamices	Abertura(mm)	Peso Ret.(gr)	% Pasante	Deciles - Coeficientes
11/2"	37,5			D10: 0,290 D30: 0,832 D50: 1,925 D60: 2,710 Cu: 11,826 Cc: 1,052
1"	25,0		100,00	
3/4"	19,0	56,50	97,97	
1/2"	12,5	94,30	94,58	
3/8"	9,50	60,80	92,40	
1/4"	6,30	226,10	84,28	
N° 4	4,75	222,30	76,29	
N° 8	2,36	129,00	56,44	
N° 10	2,00	33,10	51,34	
N° 20	0,850	132,50	31,50	
N° 30	0,600	41,50	26,40	CLASIFICACION SUCS
N° 40	0,425	38,40	18,70	
N° 60	0,250	52,60	11,90	
N° 80	0,180	21,60	5,75	
N° 200	0,075	35,00	2,84	
BANDEJA		6,80		
				SW
				ARENA BIEN GRADUADA



OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO GRANULOMETRICO MECANICO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

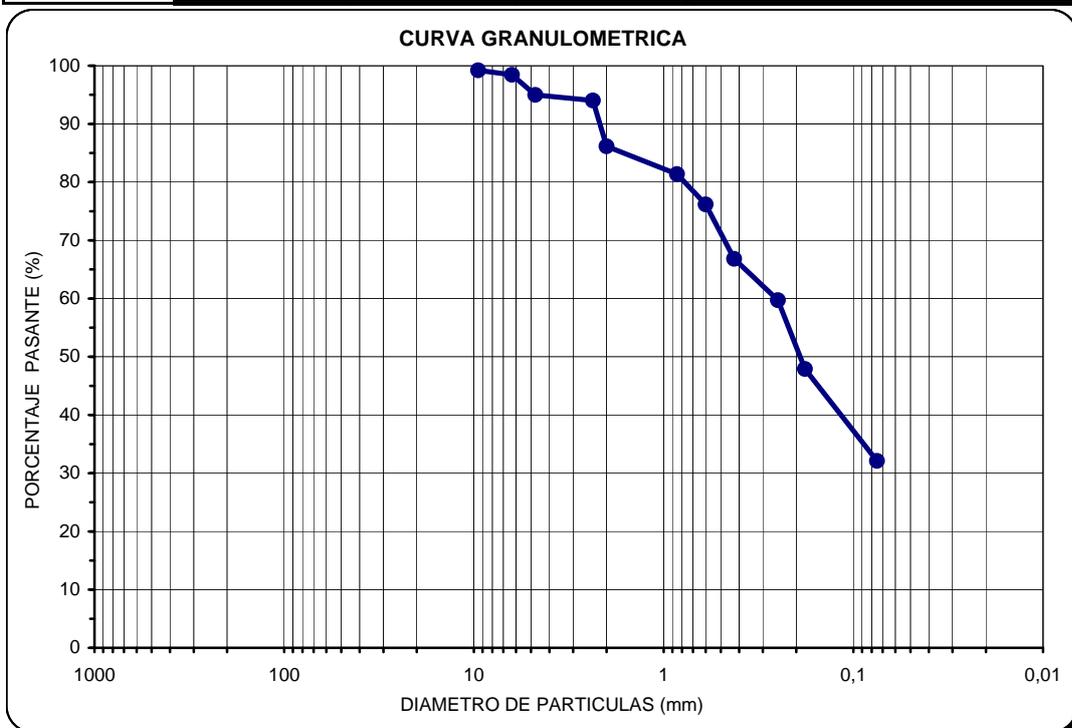
MUESTRA : M - 1

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

PROFUNDIDAD, 1.60 m.

FECHA : 16/11/2001

Tamices	Abertura(mm)	Peso Ret.(gr)	% Pasante	Deciles - Coeficientes	
11/2"	37,5				
1"	25,0			D10	0,005
3/4"	19,0			D30	0,011
1/2"	12,5		100,00	D50	0,022
3/8"	9,50		99,20	D60	0,041
1/4"	6,30	1,60	98,44		
N° 4	4,75	1,50	94,98	Cu	8,200
N° 8	2,36	6,90	94,03	Cc	0,590
N° 10	2,00	1,90	86,15		
N° 20	0,850	15,70	81,38	CLASIFICACION SUCS	
N° 30	0,600	9,50	76,17	ML	
N° 40	0,425	10,40	66,83		
N° 60	0,250	18,60	59,71		
N° 80	0,180	14,20	47,91		
N° 200	0,075	55,00	32,11		
BANDEJA		64,00	0,00	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD	



OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
ENSAYO GRANULOMETRICO MECANICO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros Callalli

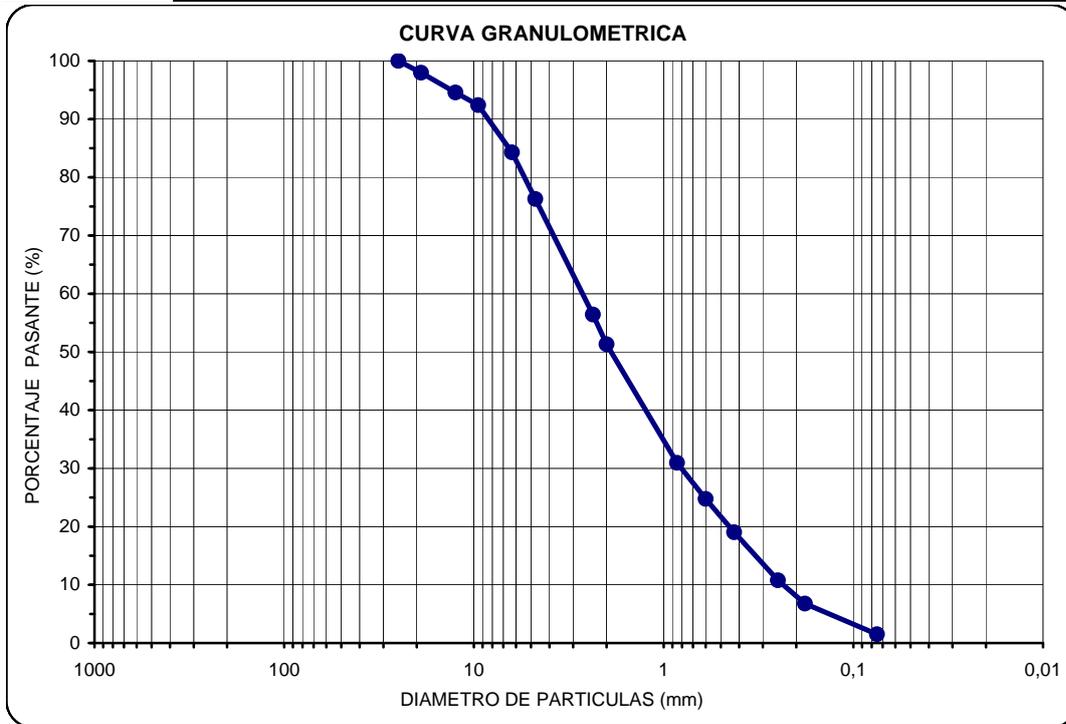
MUESTRA : M - 2

PROFUNDIDAD, 2.40 m.

UBICACIÓN : Quebrada Sur Puente Foncodes

FECHA : 16/11/2001

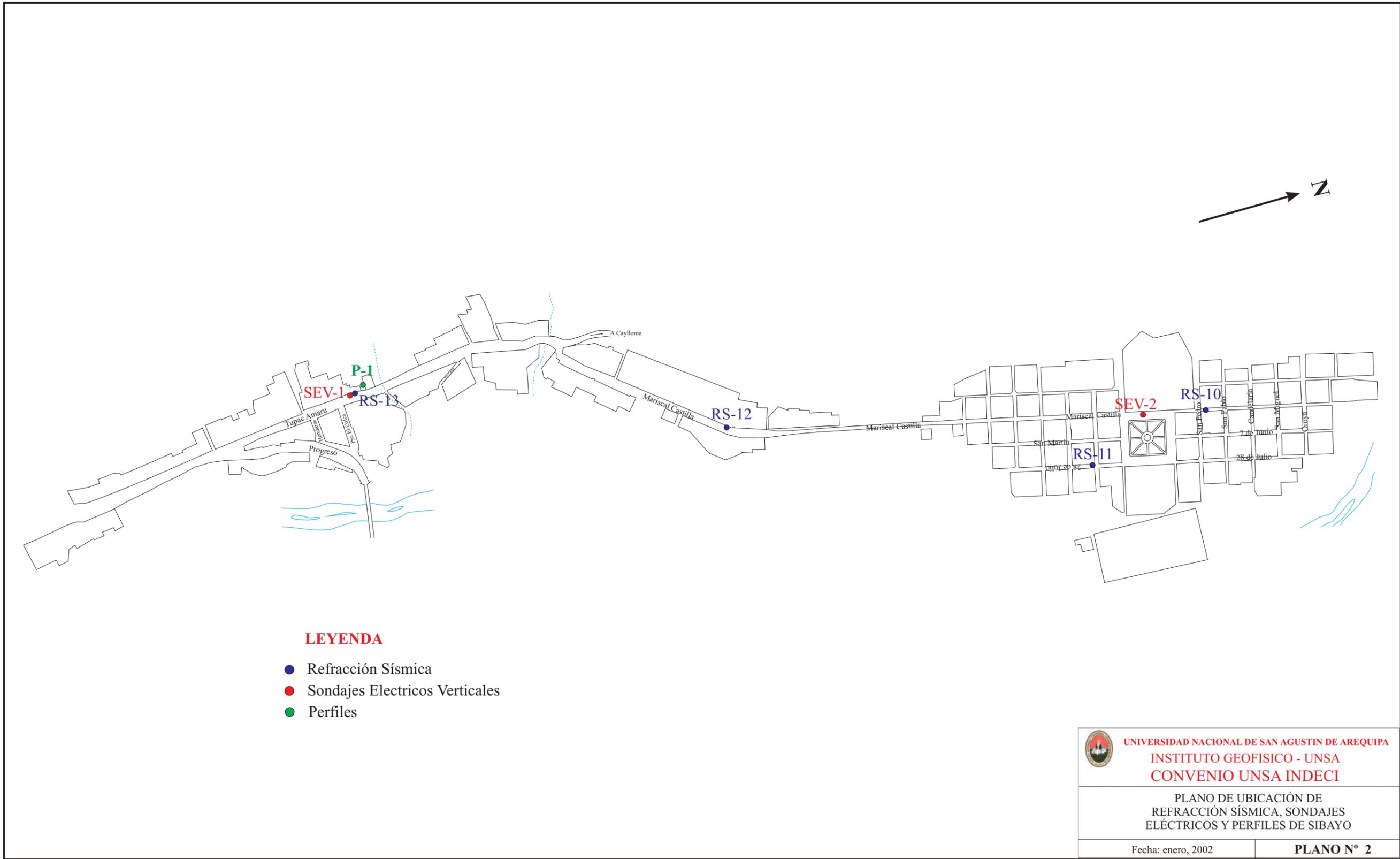
Tamices	Abertura(mm)	Peso Ret.(gr)	% Pasante	Deciles - Coeficientes
11/2"	37,5			D10: 0,238 D30: 0,820 D50: 1,884 D60: 2,710 Cu: 11,387 Cc: 1,043
1"	25,0		100,00	
3/4"	19,0	56,50	97,97	
1/2"	12,5	94,30	94,58	
3/8"	9,50	60,80	92,40	
1/4"	6,30	226,10	84,28	
N° 4	4,75	222,30	76,29	
N° 8	2,36	129,00	56,44	
N° 10	2,00	33,10	51,34	
N° 20	0,850	132,50	30,95	
N° 30	0,600	40,20	24,76	SW
N° 40	0,425	37,20	19,04	
N° 60	0,250	53,70	10,77	
N° 80	0,180	26,10	6,76	
N° 200	0,075	34,00	1,52	
BANDEJA		9,90		ARENA BIEN GRADUADA



OBSERVACIONES: La muestra fue puesta en el laboratorio por los interesados

E. LISTA DE PLANOS

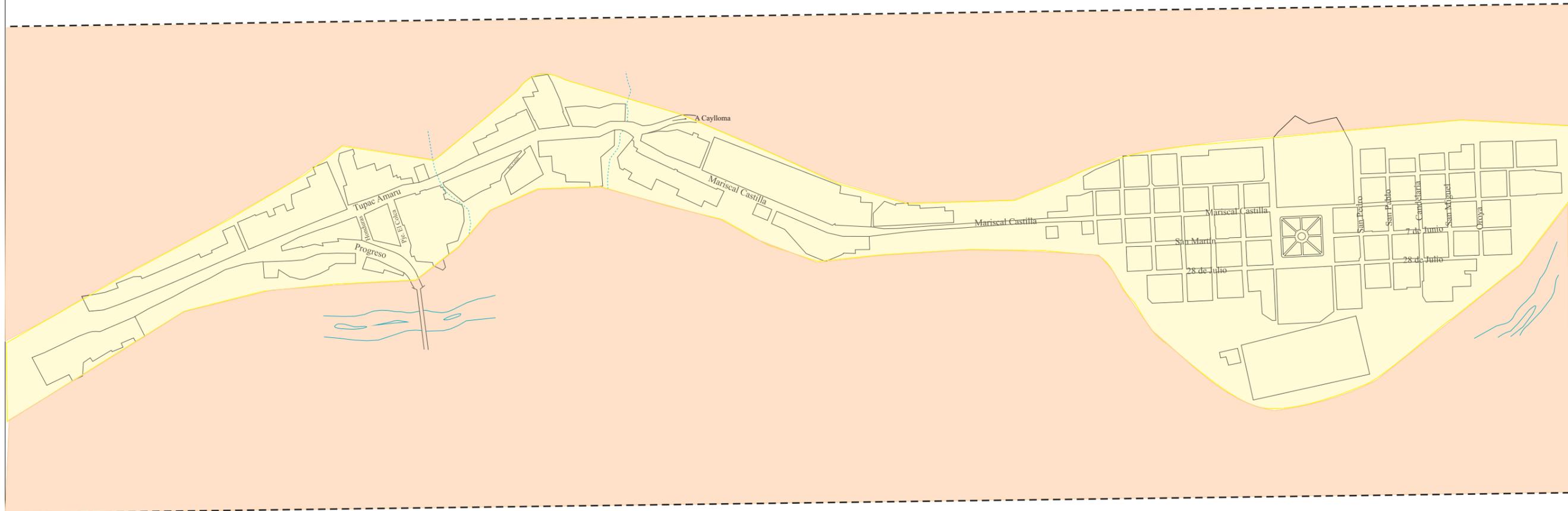
1. Plano de ubicación de Refracción Sísmica, SEVs y Perfiles-Calicatas (CALLALLI)
2. Ubicación de Refracción Sísmica, SEVs, y Perfiles-Calicatas (SIBAYO)
3. Zonificación Sísmica (CALLALLI)
4. Zonificación Sísmica (SIBAYO)
5. Activación de quebradas e inundación (CALLALLI-SIBAYO)
6. Mapa de Peligros (CALLALLI-SIBAYO)



LEYENDA

- Refracción Sísmica
- Sondajes Electricos Verticales
- Perfiles

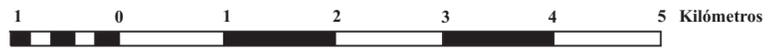
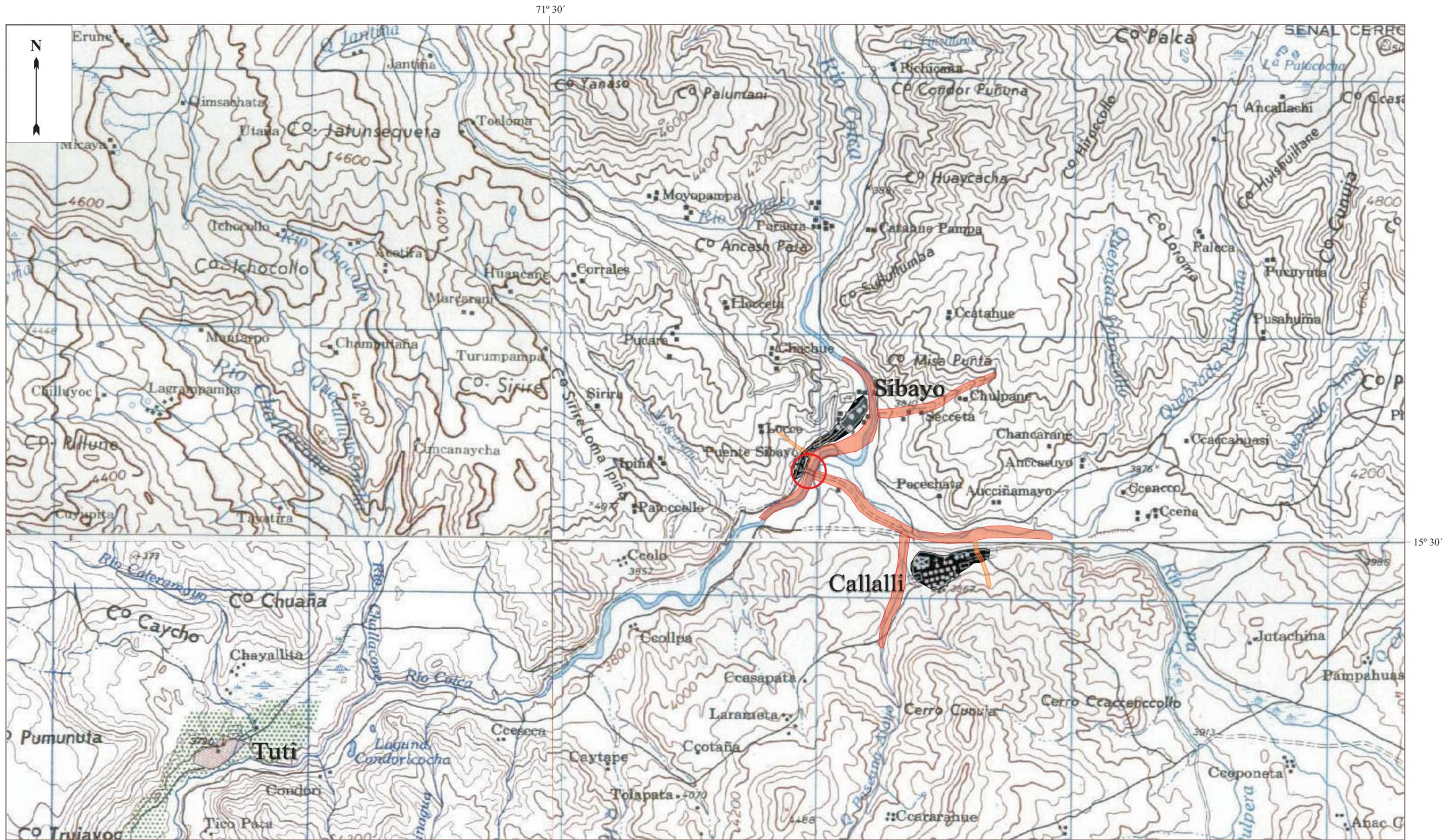
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI
	PLANO DE UBICACIÓN DE REFRACCIÓN SÍSMICA, SONDAJES ELÉCTRICOS Y PERFILES DE SIBAYO
Fecha: enero, 2002	PLANO N° 2



LEYENDA

-  PELIGRO MODERADO
-  PELIGROSO

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI
	PLANO DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA (METODO SISMICO, ELECTRICO Y GEOTÉCNICO) DE SIBAYO
Fecha: enero, 2002	PLANO N° 4

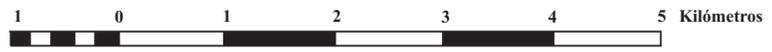
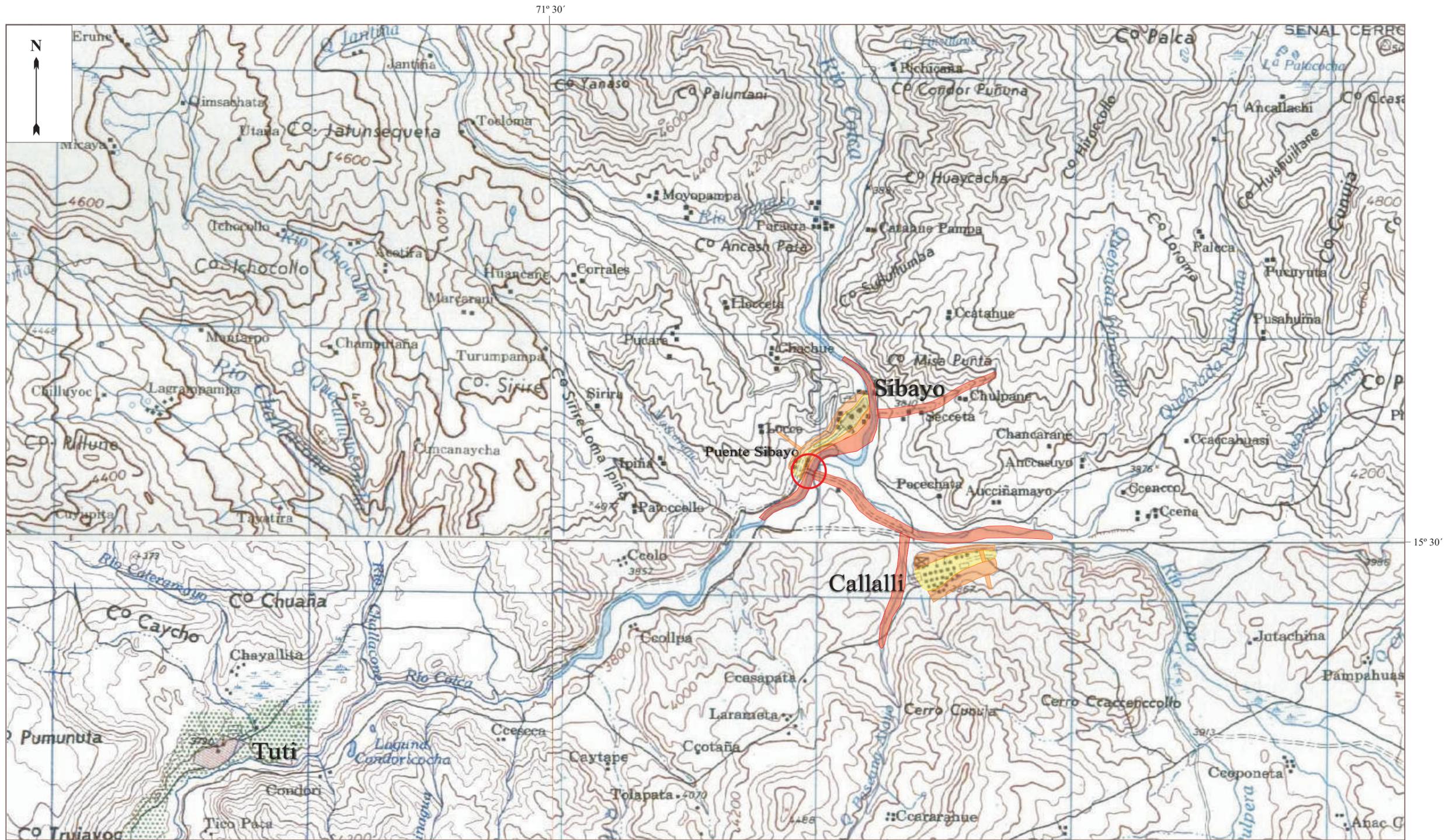


ESCALA GRAFICA

LEYENDA

- ALTAMENTE PELIGROSO
- PELIGROSO

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI</p>
<p>MAPA DE PELIGROS POR ACTIVACIÓN DE QUEBRADAS E INUNDACIÓN DE LOS RIOS COLCA Y LLAPA EN LAS LOCALIDADES DE CALLALLI Y SIBAYO</p>	
<p>Fecha: enero, 2002</p>	<p>PLANO N° 5</p>



ESCALA GRAFICA

LEYENDA

- ALTAMENTE PELIGROSO
- PELIGROSO
- PELIGRO MODERADO

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFÍSICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI</p>
<p>MAPA DE PELIGROS DE LAS LOCALIDADES DE CALLALLI Y SIBAYO</p>	
<p>Fecha: enero, 2002</p>	<p>PLANO N° 6</p>