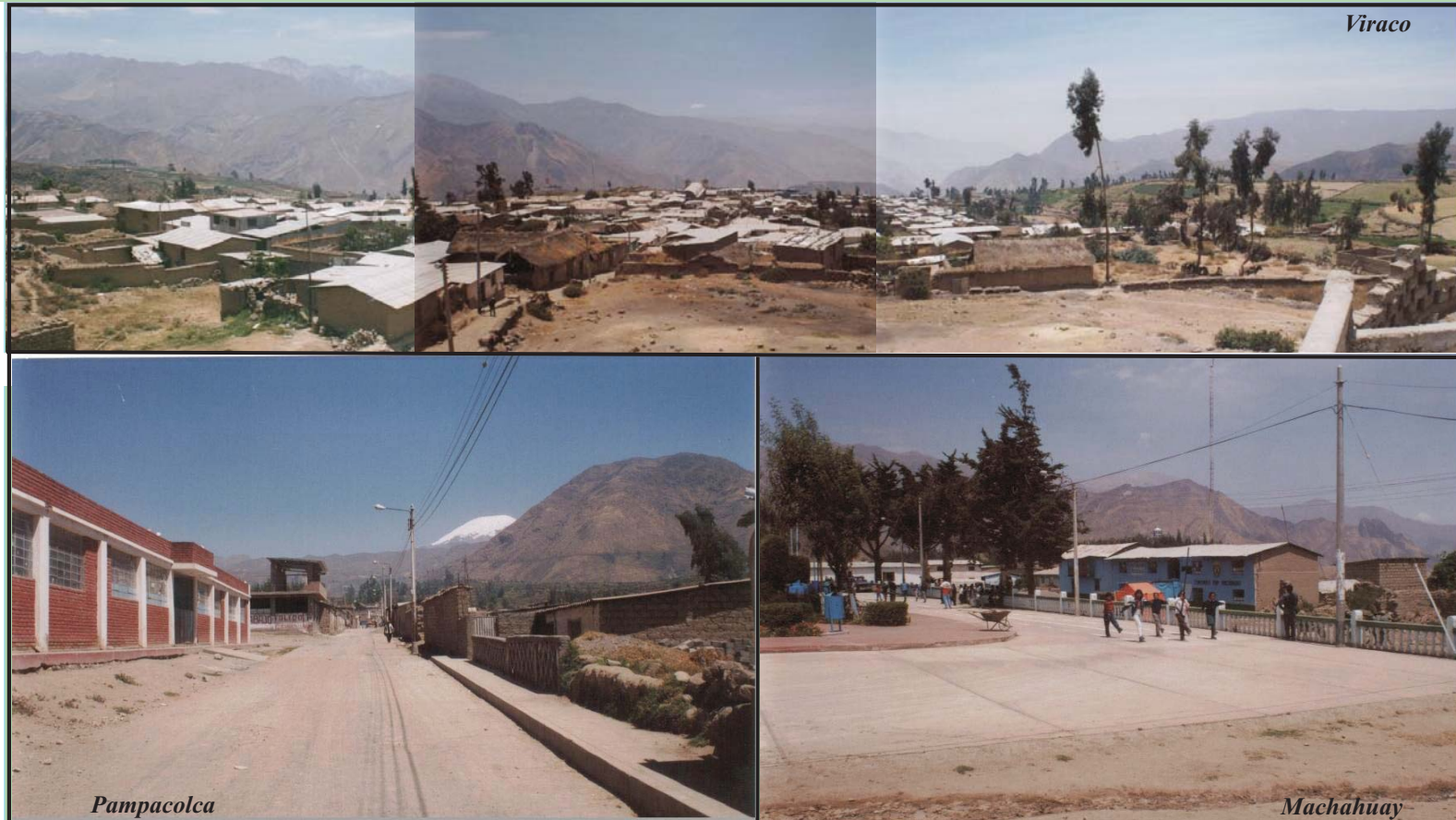




UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

CONVENIO UNSA - INDECI

Proyecto PER 98/018 PNUD - INDECI



ESTUDIO GEODINÁMICO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS DE LAS LOCALIDADES DE VIRACO, MACHAHUAY Y PAMPACOLCA

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 VIRACO, MACHAHUAY Y PAMPACOLCA**

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

COLABORADOR

Ing. Robert Salazar

Arequipa, enero 2002

AGRADECIMIENTO:

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

- Concejo Distrital de Viraco
- Concejo Distrital de Machahuay
- Concejo Distrital de Pampacolca

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
CAPITULO I	
1. INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	1
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	
2. ASPECTO SOCIO-ECONOMICO	7
2.1 Infraestructura de transporte	7
2.2 Infraestructura agrícola	7
2.2.1 Número de productores y superficie de las unidades agropecuarias	7
2.2.2 Condición jurídica del productor	8
2.2.3 Lugar de residencia	9
2.2.4 Condición de alfabetismo	9
2.2.5 Nivel educativo	10
2.2.6 Profesión u oficio	10
CAPITULO III	
3. GEOLOGIA	12
3.1 GEOMORFOLOGIA	12
3.2 HIDROLOGIA	12
3.2.1 Cuenca del río Colca-Majes y Tributarios	12
3.2.2 Análisis pluviométrico	12
3.3 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	14
3.4 ESTRATIGRAFIA	16
3.4.1 Complejo Basal	16
3.4.2 Grupo Ongoro	18
3.4.3 Formación Socosani	18
3.4.4 Grupo Yura	18
3.4.5 Formación Murco	19
3.4.6 Formación Arcurquina	19
3.4.7 Formación Huanca	19
3.4.8 Formación Sotillo	20
3.4.9 Formación Caravelí	20
3.4.10 Formación Paracas	21
3.4.11 Grupo Tacaza	21

3.4.12 Formación Alfabamba	21
3.4.13 Formación Huaylillas	22
3.4.14 Formación Sencca	22
3.4.15 Grupo Barroso	22
3.4.16 Depósitos morrénicos	23
3.4.17 Depósitos glaciofluviales	23
3.4.18 Depósitos aluviales recientes	23
3.4.19 Grupo Andahua	24
3.5 ROCAS INTRUSIVAS	24

CAPITULO IV

4. GEODINAMICA EXTERNA	25
4.1 FACTORES	25
4.2 PELIGROS NATURALES O GEOLÓGICOS	25
4.2.1 Inundaciones (avenidas extraordinarias)	25
4.2.2 Deslizamientos y derrumbes	26
4.2.3 Flujos de barro (activación de quebradas)	27
4.3 PROCESO DE ORIGEN ANTROPICO	27

CAPITULO V

5. GEODINAMICA INTERNA	28
5.1 SISMICIDAD	28
5.1.1 Sismicidad Histórica	28
5.1.2 Tectonismo de la Región Andina	37
5.1.3 Análisis de la sismicidad	40
5.2 MICROZONIFICACION SISMICA	43
5.2.1 Refracción Sísmica	43
5.2.1.1 Poblado de Viraco	43
5.2.1.2 Poblado de Machahuay	46
5.2.1.3 Localidad de Turpaito Anexo de Viraco	46
5.2.1.4 Localidad de Tagre Anexo de Tipán	47
5.2.1.5 Poblado de Pampacolca	47
5.2.2 Resistividad Geolétrica	48
5.2.2.1 Zona de Viraco	48
5.2.2.2 Zona de Machahuay	49
5.2.2.3 Zona de Pampacolca	50
5.2.3 Estudio Geotécnico	52
5.2.3.1 Mecánica de Suelos	52
5.2.3.2 Tipos de Suelos	53
5.2.3.2.1 Localidad de Viraco(Suelos Tipo II)	53
5.2.3.2.2 Localidad de Machahuay (Suelos Tipo II)	53
5.2.3.2.3 Localidad de Arhuín (Suelos Tipo II)	54
5.2.3.2.4 Localidad de Tagre (Suelos Tipo II)	56
5.2.3.2.5 Localidad de Tipán (Suelos Tipo I)	56
5.2.3.2.6 Localidad de Turpaito (Suelos Tipo III)	56
5.2.3.2.7 Localidad de Pampacolca (Suelos Tipo II)	56

5.3 DAÑOS OCASIONADOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001	58
5.4 MAPA DE PELIGROS DEL SECTOR DE CASTILLA ALTA	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73
ANEXOS	75
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 (VIRACO)	
• Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas (MACHAHUAY)	
• Plano Geotécnico (VIRACO)	
• Plano Geotécnico (MACHAHUAY)	
• Plano de deslizamiento y derrumbes (Viraco, Machahuay, Pampacolca y Anexos)	
• Activación de quebradas (Viraco, Machahuay, Pampacolca y Anexos)	
• Mapa de Peligros	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Mapa de ubicación de la Zona de Estudio	4
2. Plano Topográfico de la zona de Estudio	13
3. Plano Geológico de Viraco, Machahuay y Pampacolca	17
4. Isosistas del Sismo del 15 de enero de 1958	33
5. Isosistas del Sismo del 13 de enero de 1960	35
6. Isosistas del Sismo del 16 de febrero de 1979	37
7. Isosistas del Terremoto del 23 de junio del 2001	38
8. Mapa epicentral, período 1964-1998	41
9. Mapa epicentral, Campañas Sísmicas: 1965, 1969, 1975-76 y 1985	42
10. Secciones Sísmicas	44

LISTA DE CUADROS

	Pag.
1. NUMERO DE PRODUCTORES Y SUPERFICIE DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS QUE CONDUCEN, SEGUN REGION NATURAL Y CONDICION DE LAS MISMAS	13
2. NUMERO DE PRODUCTORES Y SUPERFICIE DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS QUE CONDUCEN, SEGUN PROVINCIA Y TAMAÑO DE LA UNIDAD AGROPECUARIA	14
3. CONDICION JURIDICA DE LOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS, SEGUN PROVINCIA	15
4. LUGAR DE RESIDENCIA DE LOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA	15
5. CONDICION DE ALFABETISMO DE LOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA	16
6. NIVEL DE EDUCACION ALCANZADO POR LOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS INDIVIDUALES	16
7. PROFESION U OFICIO DE LOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA	17
8. VELOCIDADES Y ESPESORES DE VIRACO	52
9. VELOCIDADES Y ESPESORES DE MACHAHUAY	53
10. VELOCIDADES Y ESPESORES DE TURPAITO ANEXO DE HUAMI	54
11. VELOCIDADES Y ESPESORES DE TAGRE ANEXO DE HUAMI	54
12. VELOCIDADES Y ESPESORES DE PAMPACOLCA	55
13. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE VIRACO	55
14. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE MACHAHUAY	56
15. RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE PAMPACOLCA	57
16. DAÑOS, DISTRITO DE VIRACO	58
17. DAÑOS, DISTRITO DE MACHAHUAY	59
18. DAÑOS, DISTRITO DE PAMPACOLCA	61

RESUMEN

El Convenio suscrito entre el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa ha hecho posible la elaboración del “Estudio geodinámico y evaluación de peligros de las localidades de Viraco, Machahuay y Pampacolca”, como parte del Proyecto general de ciudades sostenibles para el desarrollo. La finalidad fundamental es la identificación de los peligros como consecuencia de la geodinámica externa e interna que podrían tener un impacto sobre los poblados antes mencionados como en las futuras zonas de expansión, etapa necesaria para la identificación de áreas vulnerables y evaluación de riesgos, así como para el crecimiento ordenado y seguro de la ciudad. Todo ello sirve para el diseño de un Plan de Usos del Suelo y de un Plan de Mitigación ante los desastres naturales.

Para tal efecto, se ha verificado trabajos geológicos existentes como base para los estudios sucesivos que permitan identificar los peligros existentes de los poblados, de igual modo se ha realizado Prospección Geofísica mediante los métodos de Refracción Sísmica y Sondeos Eléctricos Verticales

En el poblado de *Viraco* los suelos son relativamente estables con mejores características geotécnicas, los ubicados en la parte alta del pueblo, y medianamente densos en la parte central y baja de Viraco, existen algunos sectores con suelos menos densos.

En el Poblado de *Machahuay*, los suelos se encuentran distribuidas casi uniformemente, son medianamente densos con una relativa estabilidad. Los mayores efectos por el sismo se dieron en los poblados anexos al distrito, fundamentalmente por la precariedad de sus viviendas como es el caso de Arhuín.

En las localidades de *Turpaito Anexo de Huami* son suelos estables y por su ubicación es una zona de bajo peligro. El sector donde se han reubicado a las familias damnificadas es un relleno, de allí la necesidad de que se realice una planificación adecuada en el caso que sea utilizado como terrenos permanentes.

En las Localidades de *Tagre Anexo de Huami*, son suelos medianamente densos y de relativa estabilidad.

En el Poblado de *Pampacolca*, son suelos relativamente estables y más densos en la parte baja del poblado.

En relación al análisis Geotécnico, las localidades de *Viraco*, *Machahuay*, *Arhuin*, *Tagre* y *Turpaito*, se caracterizan en dos tipos de suelos, la localidad de *Pampacolca*, se halla sobre un lecho de cauce de formación aluvial, la localidad de *Tipán* es un material rocoso, y los daños generalmente son por la antigüedad de las construcciones y la precariedad de las construcciones.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En las provincias de Castilla, Condesuyos y la Unión se han percibido sismos de gran magnitud, como los terremotos de los años de 1958, 1960 y 1979 que alcanzaron intensidades en estos sectores entre 6 y 7 grados en la Escala Modificada de Mercalli. En el sismo del 23 de junio del 2001, se registraron 39 pérdidas de vidas humanas y considerables pérdidas materiales. Este evento sísmico comprometió todo el Sur del Perú, ocasionando daños importantes en algunas viviendas en el sector de Castilla Alta. Los severos efectos del sismo ha tenido como factor importante la precariedad de las edificaciones y la inestabilidad de los suelos, sobre todo en los anexos del distrito de Machahuay.

En los meses de verano de 1994, muchos pueblos del territorio nacional sufrieron fuertes daños por efecto del fenómeno de El Niño. Estadísticamente representó 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.

La cuenca del río Colca - Majes es importante tanto por las actividades mineras, agrícolas, ganaderas y turísticas que en ella se desarrollan, el proyecto de irrigación más importante del Sur del Perú, como es el Proyecto Majes, utiliza las aguas de dicha cuenca. Los pueblos como Viraco, Pamapacolca y Machahuay y anexos tienen como actividad principal la agricultura y ganadería.

En el Departamento de Arequipa han ocurrido una serie de desastres naturales, provocando una fuerte incidencia en el desarrollo socio-económico. Por ello, resulta una necesidad impostergable la identificación de los peligros así como la propuesta de la vulnerabilidad y de riesgo que permitan plantear políticas de desarrollo.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del mapa de peligros son:

- Identificación de la estratigrafía del valle de Majes a base de los estudios geológicos, geofísicos y de suelos.
- Definir las características físicas y químicas de los suelos.

- Mejorar las características físicas de las viviendas que en la mayoría de los casos son de adobe y quincha, formulando nuevos sistemas constructivos con este material, que brinde mayor seguridad y resistencia a los efectos de sismos.
- Crear conciencia y responsabilidad en la colectividad frente a los riesgos a los cuales nuestra región esta expuesta; Para que esta se organice y tome las medidas necesarias para cautelar su seguridad física e integridad de sus bienes.
- Facilitar las operaciones de evacuación y rescate.
- Definir estrategias que permitan acelerar las actividades de rehabilitación y reconstrucción
- 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
- Interpretación foto geológica
- 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
- Estudio hidrológico

1.3.3 Gabinete

- Ensayos de laboratorio
- Análisis y evaluación de los fenómenos
- Tratamiento de información sísmica
- Interpretación de los Sondajes
- 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 el sector de Castilla Alta, Departamento de Arequipa (Fig. 1). Los poblados considerados son: Viraco, Pampacolca y Machahuay. Asimismo se han realizado evaluaciones en las localidades de: Turpaito Anexo de Viraco, Tagre Anexo de Tipan, Tipan y Arhuin (Fotos: 1, 2, 3).

Estos poblados se encuentran ubicados entre los 2340 y 3150 msnm. aproximadamente, para su desarrollo agrícola utiliza las aguas provenientes de los deshielos del nevado Coropuna. Los suelos de Pampacolca corresponden principalmente a Aluvio-proluvional, mientras que los de Viraco y Machahuay son suelos proluviales – coluviales compuestos por fragmentos y bloques volcánicos tobáceos en matriz arenolimoso.

Las altitudes de la cuenca del Majes de la que el sector de Castilla forma parte, varían entre el nivel del mar y algunas que llegan a sobrepasar los 6,000m. en la divisoria de aguas con las cuencas vecinas.

1.5 CLIMA Y VEGETACION

El clima de la cuenca varía de acuerdo a los diferentes pisos altitudinales existentes, con relación a la zona de estudio estas se encuentran comprendidas en la Región Andina:

- **Región costera:** Región de clima desértico donde las precipitaciones pluviales son escasas e irregulares, con promedios anuales entre 2 y 12 mm, la humedad relativa media esta entre los 60% y 90% y una temperatura oscilante entre 15.7°C (julio y agosto) a 23°C (enero a marzo).
- **Región andina:** Esta comprende 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 de alrededor del 65% y temperaturas que varían entre 17° y 12°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 cuenca se caracteriza por presentar la siguiente vegetación natural:

- **Cuenca Baja:** Sauce, Mollee, Caña Brava, Pájaro Bobo, Huarango, Chilco, Chilhua, vegetación arbustiva, Cactáceas: Candelabro, Tara.

- **Cuenca Media:** Especies arbustivas semileñosas y leñosas, Tola, silvestres como: Lupino, Agave, Tuna y Siccera. Arbóreos: Aliso y Arrayán.

- **Cuenca Alta:** Sobresalen: la Tola, el Canlli, la Yareta, etc, por consiguiente, los pueblos considerados para la evaluación de peligros le corresponde el clima de la región andina.

CAPITULO II

ASPECTO SOCIO-ECONOMICO

2.1 Infraestructura de transporte

En el área de estudio existen carreteras afirmadas y trochas que comunican diferentes pueblos de la provincia de Castilla así como los otros pueblos del Departamento de Arequipa. La Panamericana y el acceso al valle son las vías principales, hacia el sector de Castilla Alta existe una carretera afirmada en proceso de rehabilitación y que une los diferentes pueblos de la parte alta del departamento de Arequipa.

2.2 Infraestructura agrícola

En el área de estudio la actividad principal es la agricultura y la ganadería, la fuente hídrica proviene de las aguas que discurren por las quebradas y ríos que se originan principalmente en el nevado Coropuna, sin embargo existen algunas limitaciones en su uso por la falta de infraestructura adecuada. Por consiguiente, para incrementar la productividad agrícola es necesario la ejecución de obras adicionales y programas alternativos en la siembra, mayor organización y uso de nuevas tecnologías.

2.2.1 Número de productores y superficie de las unidades agropecuarias

El departamento de Arequipa cuenta con 45,424 productores agropecuarios, los cuales conducen igual número de unidades agropecuarias (UA) con una extensión total de 2 043 578,50 Has. El 98.1 % de estos productores poseen unidades con tierras y el 1.9 % no la poseen, dedicándose exclusivamente a la actividad pecuaria o avícola.

CUADRO N° 1
NUMERO DE PRODUCTORES Y SUPERFICIE DE LAS UNIDADES
AGROPECUARIAS QUE CONDUCEN, SEGUN REGION NATURAL
Y CONDICION DE LAS MISMAS

REGION NATURAL Y CONDICION DE LAS UNIDADES AGROPECUARIAS	PRODUCTORES */		SUPERFICIE	
	N°	%	Has	%
TOTAL	45424	100.0	2043578.50	100.0
UNIDADES AGROPECUARIAS CON TIERRAS	44571	98.1	2043578.50	100.0
TRABAJADAS	44316	97.6	2041092.50	99.9
ABANDONADAS	255	0.6	2486.00	0.1
UNIDADES AGROPECUARIAS SIN TIERRAS */	853	1.9	-	-
COSTA	11342	100.0	86150.35	100.0
UNIDADES AGROPECUARIAS CON TIERRAS	11143	98.2	86150.53	100.0
TRABAJADAS	11076	97.7	85976.48	99.8
ABANDONADAS	67	0.6	173.87	0.2
UNIDADES AGROPECUARIAS SIN TIERRAS */	199	1.8	-	-
SIERRA	34082	100.0	1957428.15	100.0

UNIDADES AGROPECUARIAS CON TIERRAS	33428	98.1	1957428.15	100.0
TRABAJADAS	33240	97.5	1955166.02	99.9
ABANDONADAS	188	0.6	2312.13	0.1
UNIDADES AGROPECUARIAS SIN TIERRAS */	654	1.9	-	-

*/ Son unidades que no poseen tierras sólo conducen especies pecuarias.

FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGR PECUARIO, 1994.

De las unidades agropecuarias con tierras, 44 316 se mantienen en operación y 255 en situación de abandono. En términos de superficie, esto significa que 99.9% (2041 092,50 Has) de las tierras agropecuarias están siendo trabajadas y 0.1 % (2486,00 Has) están en estado de abandono.

* Según Región Natural

En la Costa de Arequipa 11 076 unidades agropecuarias (25.0 % de las unidades trabajadas en el departamento) están siendo trabajadas y 67 se encuentran en abandono. La extensión de tierras trabajadas es de 85 976,48 Has. (4.2% de la superficie agropecuaria a nivel departamental).

En la Sierra, son 33 240 las UA trabajadas (75.0% de las UA que se trabajan en el departamento) que ocupan una extensión de 1 955 166,02 Has. (95.8 % del área trabajada a nivel departamental).

CUADRO N° 2
NUMERO DE PRODUCTORES Y SUPERFICIE DE LAS UNIDADES
AGROPECUARIAS QUE CONDUCEN, SEGUN PROVINCIA
Y TAMAÑO DE LA UNIDAD AGROPECUARIA

PROVINCIA Y TAMAÑO DE LAS UA (Has.)	PRODUCTORES */		SUPERFICIE	
	N°	%	Has	%
TOTAL	44316	100.0	2041092.50	100.0
MENOS DE 3.0	27576	62.3	29829.42	1.5
DE 3.0 A 9.9	11098	25.0	58008.04	2.8
DE 10.0 A 49.9	2764	6.2	49545.46	2.4
DE 50.0 Y MÁS	2878	6.5	1903709.58	93.3

*/ Sólo considera a los productores con Unidades Agropecuarias que tienen tierras trabajadas.

Nota: Se han establecido cuatro estratos de tamaño de las UA, minifundio (Unidades con menos de 3,0 Has.), Pequeña agricultura (Unidades entre 3,0 a 3,9 Has.), Mediana agricultura (Unidades entre 10,0 a 49,9 Has.) Y gran agricultura (Unidades de 50 y m s Has.).

FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

En la Costa y la Sierra de Arequipa la distribución de los productores y la superficie agropecuaria mantiene las relaciones que se presentan a nivel de Departamento.

2.2.2 Condición jurídica del productor

La actividad agropecuaria en el departamento de Arequipa es realizada en su gran mayoría por personas naturales (96.1 %), siendo mínima (0.7 %), la participación de las personas jurídicas. Las personas naturales y las sociedades de hecho son en esencia personas naturales y, en conjunto, constituyen los productores individuales. Este grupo conduce el 99.3 % de las unidades agropecuarias, pero sólo controla el 48.6 % de la superficie del total de las UA del departamento. En cambio, las personas jurídicas a pesar de ser en número menor (0.7 % del total de productores), manejan el 51.4 % de las tierras restantes

La mayor parte de la tierra esta concentrada en 15 comunidades campesinas en Castilla con un 63.1%, seguida por personas jurídicas que poseen 30.1%, de la superficie agropecuaria provincial.

2.2.3 Lugar de residencia

En el departamento de Arequipa, el 62.4% de los productores individuales no viven en sus unidades agropecuarias, desconociéndose si sus viviendas están próximas o distantes de las UA; en cambio, 37.2 % declaran residir dentro de sus unidades productivas, mientras que. en la provincia de Castilla, el 57.6% de los productores individuales no viven en sus unidades agropecuarias, asimismo, sus viviendas están próximas o distantes de la Unidad Agropecuaria, en cambio, un 42.1% declaran que residen en la UA.

**CUADRO N° 3
CONDICION JURIDICA DE LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS, SEGUN PROVINCIA**

PROVINCIA Y CONDICION JURIDICA	PRODUCTORES */		SUPERFICIE	
	N°	%	Has	%
TOTAL	44316	100.00	2041092.50	100.0
PERSONA NATURAL	42590	96.1	869410.73	42.6
SOCIEDAD DE HECHO	1433	3.2	122295.46	6.0
SOCIEDAD RESP. LTDA	27	0.1	437.61	(a)
SOCIEDAD ANONIMA	36	0.1	7835.40	0.4
COMUNIDAD CAMPESENA	91	0.2	1002510.79	49.1
COOPERATIVA	4	(a)	14272.72	0.7
OTRA	135	0.3	24329.79	1.2
CASTILLA	5554	100.0	211683.08	100.0
PERSONA NATURAL	5443	98.0	63546.84	30.1
SOCIEDAD DE HECHO	70	1.3	302.63	0.1
SOCIEDAD RESP. LTDA	1	(a)	21.00	(a)
SOCIEDAD ANONIMA	2	(a)	33.25	(a)
COMUNIDAD CAMPESENA	15	0.3	133657.00	63.1
COOPERATIVA	2	(a)	13802.72	6.5
OTRA	21	0.4	319.64	0.2

*/ Sólo considera a los productores con Unidades Agropecuarias que tienen tierras trabajadas.

(a): Porcentaje no significativo

FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

CUADRO N° 4
LUGAR DE RESIDENCIA DE LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA

PROVINCIA Y LUGAR DE RESIDENCIA	PRODUCTORES */	
	N°	%
TOTAL	44023	100,0
VIVE EN LA UNIDAD AGROPECUARIA	16386	37,2
NO VIVE EN LA UNIDAD AGROPECUARIA	27468	62,4
NO ESPECIFICADO	169	0,4

*/ Sólo considera Personas Naturales y/o Sociedades de Hecho con Unidades Agropecuarias que tienen tierras trabajadas.

(a): Porcentaje no significativo

FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

2.2.4 Condición de alfabetismo

El 84.6% (5513) de los productores agropecuarios individuales que conducen el 79.6% (50804.85 Has.) de las tierras agropecuarias, saben leer y escribir. El 14.5 % restante que conduce el 19.7% de las tierras, por su condición de analfabetos, están en desventaja para conocer por medios escritos lo relacionado con la técnica y administración de sus respectivas unidades productivas.

CUADRO N° 5
CONDICION DE ALFABETISMO DE LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA

PROVINCIA Y CONDICION DE ALFABETISMO	PRODUCTORES */		SUPERFICIE	
	N°	%	Has.	%
TOTAL	5513	100,0	63849.48	100,0
CASTILLA				

SABE LEER Y ESCRIBIR	4666	84.6	50804.85	79.6
NO SABE LEER Y ESCRIBIR	796	14.5	12569.32	19.7
NO ESPECIFICADO	51	0.9	475.31	0.7

*/ Sólo considera Personas Naturales y/o Sociedades de Hecho con Unidades Agropecuarias que tienen tierras trabajadas.
FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

2.2.5 Nivel educativo

El 53.8 % de los productores agropecuarios tienen nivel de educación primaria y el 24.1 % estudiaron secundaria, siendo muy bajos los porcentajes correspondientes a los que cursaron educación superior no universitaria (1.8 %) y superior universitaria (5.9%). De otro lado, es apreciable el porcentaje (13.6 %) de los que no tienen nivel alguno de educación formal.

CUADRO N° 6
NIVEL DE EDUCACION ALCANZADO POR LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS INDIVIDUALES

PROVINCIA Y NIVEL DE EDUCACION ALCANZADO	PRODUCTORES */	
	N°	%
TOTAL	5513	100,0
CASTILLA		
NINGUN NIVEL	750	13.6
PRIMARIA	2965	53.8
SECUNDARIA	1328	24.1
SUPERIOR NO UNIVERSITARIA	100	1.8
SUPERIOR UNIVERSITARIA	323	5.9
NO ESPECIFICADO	47	0.8

*/ Sólo considera Personas Naturales y/o Sociedades de Hecho con Unidades Agropecuarias que tienen tierras trabajadas.
FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

2.2.6 Profesión u oficio

Los productores agropecuarios en Castilla tienen diferentes profesiones u oficios. El 81.7% tienen oficios manuales, principalmente, son agricultores y ganaderos. Del resto cabe mencionar, a los técnicos de mando medio (1.7%) y los que tienen formación profesional (3.9 %).

CUADRO N° 7
PROFESION U OFICIO DE LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA

PROVINCIA Y PROFESION U OFICIO	PRODUCTORES */	
	N°	%
TOTAL	5513	100,0
CASTILLA		
PROFESIONALES	216	3.9
TÉCNICOS	94	1.7
OFICIOS	4506	81.7
COMERCIANTES	42	0.8

SIN PROFESION U OFICIOS	193	3.5
NO ESPECIFICADO	462	8.4

*/ Sólo considera Personas Naturales y/o Sociedades de Hecho con Unidades Agropecuarias que tienen tierras rabajadas. FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

La actividad humana tiene mayor desarrollo en los valles hasta una altitud de 3,800 m.s.n.m., en donde los pobladores se dedican principalmente a la agricultura y la ganadería. Se dedican al cultivo de cereales (cebada, trigo, maíz, papas); pero entre los 2,300 y 3,800 m.s.n.m., sólo se cultivan cereales. La actividad ganadera está orientada a la crianza de ganado vacuno incentivando la producción de leche que es utilizada para la fabricación de leche evaporada y la fabricación de ganado ovino.

CAPITULO III

GEOLOGIA

3.1 GEOMORFOLOGIA

En la región el relieve muestra características propias de zonas altas cordilleranas tipo sierra. El modelado tiene control estructural y litológico, donde los factores climatológicos e hidrográficos han jugado un papel importante, cuyas características actuales son:

3.2 HIDROLOGIA

3.2.1 Cuenca del río Colca-Majes y Tributarios

El río Colca-Majes y Camaná tiene una longitud de 397 Km., con pendiente promedio de 1.2%, tiene 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. Por la zona de estudio discurre varias quebradas y ríos que finalmente desembocan en el río Majes como el Ayo, Mamacocha y Andamayo o Capiza (Fig.2).

El escurrimiento superficial de las quebradas y ríos se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta y el nivel de descongelamiento del nevado Coropuna.

3.2.2 Análisis pluviométrico

El área de estudio se ubica en el sector medio y alto de la sierra entre los 2500 y 3500 msnm.

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

El período 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.

La precipitación 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 1.5mm. 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.

3.3 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Las geoformas del área son suaves a moderadas en su mayor parte y agreste en los valles.

El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario y en los procesos tectónicos que han ocasionado el alzamiento y hundimiento de bloques. La denudación fluvial probablemente Pre-Barroso, así como la actividad volcánica del cuaternario han controlado la morfología actual, esto ha permitido diferenciar seis unidades geomorfológicas que son: Casquete de Nieves Perpetuas, conos volcánicos, Altiplanicie, Superficie Huaylillas, Laderas disectadas y Valles.

* **Casquetes de Nieves Perpetuas.**- En el área se nota claramente 3 zonas con nieves perpetuas que corresponden a los Volcanes-Nevados; Firura, Solimana y Coropuna, con altitudes de 5,498, 6,093 y 6,377 m.s.n.m. respectivamente, siendo este último, el que ocupa mayor extensión.

En los últimos años, se ha evidenciado retroceso glacial en distintas y apartadas áreas del planeta, la presencia de estos glaciares es relativa y está sujeta a condiciones climatológicas. En esta zona, los glaciares se encuentran por encima de los 5,000 m.s.n.m. El control principal de la existencia de los casquetes de nieves es la altitud.

* **Conos Volcánicos.**- En las partes más altas entre Chuquibamba y Cotahuasi se tiene tres conos volcánicos formando un triángulo; regionalmente presentan dirección andina que gira hacia el Este-Oeste por lo que Mendivil (1965), la denominó Arco Volcánico del Barroso. Estos conos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geomorfológico de la zona, litológicamente consta de rocas volcánicas.

Las formas cónicas fueron modificadas por glaciares que descendieron de los casquetes glaciares en forma radial, la morfología es agreste y empinada en la parte central y radialmente disminuye la pendiente.

* **Altiplanicie.**- Las elevaciones varían entre 4,000 y 4,900 m.s.n.m. la topografía es moderado, localmente se tienen escarpas controladas por fallas. También existen pequeños conos volcánicos, así como morrenas y abundantes bofedales; esta unidad geomorfológica se caracteriza por una planicie bien definida y algunos valles glaciares de extensión local.

* **Superficie Huaylillas.**- Esta unidad geomorfológica es de amplitud regional y es reconocida en los cuadrángulos de Chala (Olchanski, 1980), y de Ocoña (Mendivil y Castillo 1960), quienes la denominan Meseta Costanera y que es la continuación hacia el Norte de la unidad llamada Penillanura Costanera en los cuadrángulos de Camaná y la Yesera (Pecho V. Y Morales G., 1969). En Aplao, Guizado (1968) la describe como Planicie Costanera que ingresa al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba.

En Chala las altitudes varían entre 1,700 a 2,000 m.s.n.m.; en Ocoña, entre 1,200 y 2,400; en Chuquibamba, siguiendo la prolongación del cuadrángulo de La Yesera, la altura de la superficie Huaylillas va desde los 2,600 hasta los 3,800 m.s.n.m. y constituye una prolongación de las pampas de Cuno Cuno.

La superficie es subhorizontal con inclinación sur occidental y de aspecto cónico que tiende a desaparecer por la formación del valle de Ocoña. Esta disectada por quebradas con dirección E-O, a diferencia de la parte Oriental donde las quebradas tienen dirección N-S. Numerosas pampas forman esta unidad, entre ellas tenemos Pampa Azafrán, Pampa los Morillos, etc.

* **Laderas disectadas.**- Esta unidad está constituida por cadenas de cerros que se alinean con una dirección NO-SE y en ella se hallan comprendidas los valles amplios de Chuquibamba y Pampacolca, que se han desarrollado en fallas regionales. Estas laderas presentan drenajes subparalelos, que al disectar la peneplanicie costanera, dan lugar a valles amplios como los ya mencionados presentando una topografía de quebradas y elevaciones semiparalelas que fueron modeladas por las diferentes etapas de erosión sobre rocas intrusivas Cretácico-Terciarias y rocas Precambrianas. Al Oeste de la hoja de Chuquibamba, se caracteriza por presentar drenaje dendrítico, resultante de las quebradas menores que confluyen en el río Ocoña. Se denota una topografía moderada

que es disectada por quebradas de magnitud considerable como la quebrada Chalhuane y por el valle del río Churunga que sigue una dirección NE-SO.

* **Valles.-** Hemos considerado tres tipos de valles principales: a) Valles de los ríos Cotahuasi y Arma. b) Valle del río Churunga y quebradas aledañas y c) Valles de los ríos Chuquibamba, Pampacolca y Viraco.

El primer tipo forma parte de la naciente del río Ocoña, cortan las altiplanicies andinas y tienen dirección E-O a NE-SO.

El valle de Cotahuasi tiene su origen en valles colgantes antiguos en forma de “U” con rectos volcánicos pleistocénicos y que luego fueron cortados por la erosión posterior; esto se puede ver al este de Firura y en el río Sumana.

Estos valles muestran una serie de pequeñas terrazas que están distintamente distribuidas y están en función de las irregularidades del curso del río y las condiciones geológicas. El valle de Cotahuasi a lo largo de su extensión, presenta cambios siendo estrecho en su cauce desde la desembocadura al río Ocoña, yendo aguas arriba hasta las proximidades del pueblo de Cotahuasi, se nota un valle en “V” y a partir de esta zona hasta la localidad de Alca, se observa al valle con presencia de terrazas fluviales, donde pobladores del lugar desarrollan sus labores agrícolas. El valle del río Larjo, cuya dirección es de N a S, se presenta encañonado siendo sus pendientes empinadas sin depósitos fluviales de consideración.

El segundo tipo son los valles del río Churunga y quebradas aledañas que drenan hacia el Oeste y son afluentes del río Ocoña, se caracterizan por su escasa pendiente del talweg y su clima desértico. Se determina un control principal estructural ya que muestran cambios de dirección de NE a E-O, debido a que a partir al cambio de dirección siguen fallas y/o fracturas de dirección similar.

El tercer tipo son los valles de los ríos Chuquibamba y Pampacolca-Viraco forman parte de afluentes del río Majes, tienen dirección SE y están controlados por fallas de dirección NO. En su naciente, el valle de Chuquibamba está representando por el área de deslizamiento de pendientes suaves y en la parte inferior profundiza su cauce dando lugar a una topografía abrupta.

3.4 ESTRATIGRAFIA

En la región las unidades estratigráficas reconocidas abarcan edades desde el Precámbrico al cuaternario reciente (Fig. 3), sus características se describen a continuación:

3.4.1 Complejo Basal

Bellido (1960), denominó Complejo Basal a las rocas metamórficas que afloran en gran parte de la Cadena Costanera del Sur del Perú. Por tratarse de la misma serie metamórfica, esta denominación ha seguido tomándose en cuenta en el cuadrángulo de Aplao, Guizado (1968); en Huambo y Orcopampa (J. Caldas 1993), los afloramientos de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi son una continuación de las rocas descritas en el cuadrángulo de Huambo.

El Complejo Basal está constituido por una gruesa secuencia de rocas metamórficas en la que destacan, los gneises, anfibolitas y metasedimentos. En muchos lugares se han separado los gneises de los metasedimentos; pero no se observa un contacto bien marcado en otros es difícil una separación.

* **Gneises.**- En la parte Oriental de Chuquibamba hasta la localidad de Pampacolca, los gneises están cubiertos por las tobas de la Formación Huaylillas, siendo su coloración superficial de color gris oscuro. Existe un ligero predominio de bandas grises constituidas por anfíboles, sobre bandas blancas que son más delgadas y que están formadas por ortosas y plagioclasas.

La mayor parte de los gneises presentan estructuras lenticulares. Estas rocas y bandas irregulares han sido cortadas por numerosos diques y pequeñas intrusiones compuestas por tonalita, granodiorita, granito y pegmatitas. Antes de llegar a Huaranguitoyoc, el complejo está cortado de tonalita de color claro y de grano medio.

Las rocas metamórficas que corren en los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, se correlacionan con las otras rocas que constituyen el Complejo Basal de la Costa, el Macizo de Arequipa, el Complejo de Lomas, etc. y los remanentes que han quedado como techos colgantes dentro del batolito (Olchanski, 1980).

3.4.2 Grupo Ongoro

Con este nombre se describe a una secuencia compuesta por rocas de metamorfismo regional de bajo grado que afloran al SE. del cuadrángulo de Chuquibamba, en los cerros de Ongoro, descansando con discordancia angular sobre los metasedimentos del Complejo Basal, y que han sido afectados por un plegamiento de dirección andina y con flancos cuyas inclinaciones varían entre 30 y 60- grados. Las mayores exposiciones de esta unidad, se encuentran en el cuadrángulo de Huambo. Por meteorización adopta una tonalidad amarilla y se diferencia de los metasedimentos y gneises precámbricos porque estos son grises oscuros.

Litológicamente, el Grupo Ongoro está constituido por pizarras negras intercaladas con esquistos gris claros a verdes. El grosor de estas rocas sobrepasa los 1,000 metros, y no aflora en las cercanías de los poblados materia de estudio.

3.4.3 Formación Socosani

La litología en el Cerro Pampa chacra está constituida por: calizas, andesitas, areniscas y pizarras gris oscuras; además existen areniscas negras calcáreas con nódulos de caliza y estratos de calizas grises que algunas veces son olíticas con algo de chert. En el cerro Lorituyoc la litología está constituida por calizas gris claras poco compactas que se parten en lajas o capas de 2 a 10 cm. de espesor; también se encuentran calizas gris oscuras en estratos gruesos con abundantes pedernales. El grosor de esta secuencia podría sobrepasar los 600 m.

En ambos afloramientos la base de la formación es desconocida, así en los cerros Lurituyoc el afloramiento está en contacto fallado con los metasedimentos y gneises del Complejo Basal en los cerros Pampa Chacra, Tullo Huasa, chicote; el techo está

cubierto concordantemente con la secuencia del Grupo Yura y también subyace discordantemente a la serie inferior del Grupo Barroso e interrumpido por un cuerpo subvolcánico de brechas.

3.4.4 Grupo Yura

En el fundo El Castillo, en el cerro Tinajas y en el cerro Pachaise, las capas rojas de la Formación Sotillo descansan con discordancia angular sobre los paquetes del Grupo Yura. La base no es observable debido a dos impedimentos, ya sea porque se encuentra cubierta por el Cuaternario o porque ha sido intruída por rocas plutónicas.

En el fundo el Castillo, el Grupo Yura está constituido por calizas grises y amarillas intercaladas con areniscas grises y lutitas que se encuentran atravesadas por pequeños cuerpos de andesita gris de grano fino y por granito que ha metamorfizado la caliza dando lugar a la formación de granate.

El cerro Tinajas, se observan afloramientos de un color verde rojizo bastante alterado, además de los sedimentos; en este lugar se presentan brechas volcánicas de color verde y andesitas de grano fino bastante piritizadas.

3.4.5 Formación Murco

Descansa concordante sobre las areniscas blancas de la Formación Hualhuani, con igual relación infrayace a las calizas de la Formación Arcurquina.

Aflora al SO de Cotahuasi, al SE de Pampacolca y en las quebradas Ancash y Sayaccaca. Su espesor llega hasta 250 metros. Se caracteriza por su superficie de color rojizo y verde su forma topográfica corresponde a un relieve más moderado que aquel del Yura.

La formación Murco está compuesta principalmente por areniscas blancas, grises y rojizas de grano fino y limolitas verdes con capas de yeso. En las areniscas blancas se puede observar nítidamente los granos de cuarzo aunque la unidad muestra bastante oxidación.

3.4.6 Formación Arcurquina

Jenks (1948), estableció este nombre y lo utilizó para describir un conjunto de calizas que afloran en los valles adyacentes al cerro Arcurquina, situado a 11 Km. al SE del pueblo Huanca, departamento de Arequipa.

Los afloramientos se circunscriben al valle de Cotahuasi y al cerro Mamas localizado al SE de Pampacolca.

Descansa concordante sobre la formación Huanca, aunque en algunos lugares se observa angularidad. Por erosión muchas veces desaparece al Formación Huanca y entonces encontramos una superficie casi horizontal en las calizas Arcurquina, sobre la cual descansan discordantemente los volcanes del grupo Tacaza.

Las calizas de la Fm. Arcurquina son grises, se presentan en estratos gruesos que llegan hasta 2 m. de espesor; en Taurisma se han encontrado abundantes restos de fósiles, la mayoría con dimensiones menores de 1 cm. por lo que ha sido difícil de extraer debido

a la dureza de la roca. Al N de Cotahuasi, la caliza se encuentra bastante fracturada y brechosa.

3.4.7 Formación Huanca

Nombre dado por Jenks (1948) a una unidad de color rojo compuesta por rocas sedimentarias de naturaleza areniscosa y conglomerádica que descansa en discordancia angular sobre las calizas de Arcurquina. Vargas (1970), señala que la Formación Huanca yace en contacto con la Formación Arcurquina por medio de una falla normal.

Aflora a lo largo del valle de Cotahuasi, descansando en algunos lugares concordantemente sobre la Formación Arcurquina y también con cierta angularidad sobre las areniscas Yura. Está cortada por una superficie de erosión horizontal sobre la cual descansan los volcánicos Tacaza. Su espesor aproximado es de 1,000 m.

En superficie es de color rojo, en la parte NE forma estratos gruesos con inclinaciones de 25° a 30°

Litológicamente está compuesta por arenisca microconglomerádica de color rojo en su base, seguida por grauwaca con elementos redondeados de volcánicos de color gris, conglomerados violáceos y rojos con elementos redondeados y subredondeados de andesita violácea gris y verde con diámetros de 1 a 20 cm. También encontramos andesita microbrechosa de color marrón.

Al sur de Cotahuasi la Formación Huanca está descansando discordantemente sobre el Grupo Yura; siguiendo el afloramiento de capas rojas, tenemos brecha volcánica con bloques angulosos de andesita verdes que llegan hasta 50 cm. de diámetro y que se hallan dentro de una matriz andesítica de color violeta.

Esta Formación se depositó después de un gran levantamiento, el que ocurrió posiblemente durante el Cretáceo superior y que correspondería a la fase Peruana (Steinmann, 1930) que plegó moderadamente a los sedimentos inferiores. Sucede que estas capas rojas en muchos lugares se muestran concordantes y en otros discordantes sobre las rocas cretácicas infrayacentes, no habiéndose plegado en muchos sitios.

3.4.8 Formación Sotillo

Jenks (1948), denominó con este nombre, a una secuencia de areniscas arcósicas, conglomerados y arcillas no bien consolidadas de color rojo que afloran en el valle de Vitor y cerca de Sotillo.

Esta unidad se encuentra descansando sobre una superficie de erosión en forma discordante encima del Grupo Yura y de las rocas del Batolito e infrayace en discordancia debajo de la formación Millo.

Los afloramientos de esta unidad, se ubican en la parte Sur-Oeste del cuadrángulo de Chuquibamba. Tiene un espesor de 200 metros y sus inclinaciones varían entre 5° y 20°, esta formación se encuentra afectado por fallas.

La litología de la Formación Sotillo consiste principalmente de areniscas y finas y conglomerádicas de coloraciones grises, blancas, amarillas y rojizas, con predominio de estas últimas. Los sedimentos se encuentran semiconsolidados y tienen un alto

contenido de material feldespático; existen algunas intercalaciones de capas de yeso que alcanzan hasta 15 cm. de espesor.

Las areniscas de ésta unidad, son de origen continental, muestran poca deformación.

3.4.9 Formación Caravelí

Esta formación ha sido descrita por V. Pecho (1983) y consiste de conglomerados, areniscas tobáceas y lentes de tobas retrabajadas que afloran en la ciudad de Caravelí en el cerro de Cuno Cuno ubicado en la hoja de Caravelí, prolongándose hasta las proximidades de la hoja de la Yesera.

La mayor parte de los afloramientos de la Fm. Caravelí, se localizan al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba; es la prolongación de los miembros conglomerádicos Cruz Blanca – Cuno Cuno (Pecho 1983), que descansan discordantemente sobre la Formación Sotillo y sobre la superficie labrada en las formaciones cretáceas o en el Batolito; infrayace discordantemente a la Fm. Sencca y al Grupo Barroso en las quebradas de Escalera y Piñog. El grosor medido en una sección del cerro Cuno Cuno, situado 10-Km. al OSO del cuadrángulo, es de 440 m. y la litología es la siguiente:

3.4.10 Formación Paracas

Ha sido denominada por Petersen G. (1954) en el estudio geológico de la faja costanera del Departamento de Ica; también ha sido reconocida en el cuadrángulo de Caravelí, Pecho V. (1983).

En el área de trabajo se encuentra al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba, se caracteriza por contener sedimentos marinos con algunos horizontes tobáceos. En general yendo de la base hacia el techo se encuentra conglomerados, areniscas calcáreas, calcarenitas, tobas y areniscas calcáreas; la coloración de toda la secuencia varía de blanco amarillento a gris blanquecino; fácilmente se puede reconocer en el campo, así como las fotografías aéreas debido a su monotonía litológica y coloración característica. El espesor se estima en 200 m. La Formación Paracas suprayace discordantemente a la Formación Caravelí y otros lugares a los intrusivos tonalíticos-granodioríticos de la superunidad Incahuasi e infrayace estratigráficamente a los depósitos de la Formación Huaylillas.

3.4.11 Grupo Tacaza

Newell (1949), denominó Grupo Tacaza a un conjunto de rocas compuestas por basaltos y arcosas en la parte baja y aglomerados de andesita con tobas dacíticas en la parte alta que afloran en la mina Tacaza, Distrito de Santa Lucía, departamento de Puno.

Este grupo descansa sobre una superficie casi horizontal que se formó sobre los sedimentos Cretáceos y del Terciario inferior que se hallan bien plegados.

El Grupo Tacaza está bien expuesto al Norte del cuadrángulo de Cotahuasi. Su litología es muy variada y corresponde mayormente a rocas volcánicas, en especial piroclásticas con algo de sedimentitas. Su espesor llega aproximadamente hasta los 1,500 m.

En un recorrido desde Alca-Puica río Sumana siguiendo el camino de herradura, se observan las siguientes características geológicas:

En Alca se encuentran ignimbritas y dacitas de grano medio de color gris, que están intruídas por tonalita de grano fino y también se observan óxidos de cobre.

Antes de llegar a Puica, se encuentran rocas riolíticas con abundante cantidad de ortosa, están afectados por una falla normal de dirección N-S, con posición vertical que ha volteado las capas cerca al plano de falla.

Entre Puica y el río Sumana se tiene andesita gris y violácea de grano medio. También existe una roca blanca de pasta fina constituida por sílice. El color de la superficie meteorizada en la parte alta varía ente blanco, amarillo y rojo según la composición y alteración de las rocas.

La topografía que se presenta es ondulada y no se observan farallones; la inclinación de los volcánicos se debe mayormente a los desplazamientos ocasionados por fallas.

3.4.12 Formación Alpbamba

Esta formación se encuentra distribuida ampliamente entre la parte meridional y el Norte del cuadrángulo de Cotahuasi. Está compuesta por tobas dacíticas, lapillis, tobas brechoides; toda la secuencia tiene una coloración que varía de marrón a blanquecino o marrón grisáceo y coloración violácea estas coloraciones características, permiten que sea fácilmente identificable en el campo, casi en forma regional, asimismo en las fotografías aéreas donde se le puede seguir por varias decenas de Km. En el cuadrángulo de Cotahuasi, paraje de Llaclle, el cerro Sarencca así como en las partes altas del poblado de Puica, la Formación Alpbamba se encuentra interestratificada con lavas riolíticas a dacíticas y entre el pueblo de Ayahuasi y el cerro Condorsayhua se encuentran tobas soldadas con fragmentos de rocas de tamaño variable.

3.4.13 Formación Huaylillas

Fue descrita inicialmente por Wilson y García (1962), en el estudio geológico del cuadrángulo de Huaylillas. Litológicamente conformado por tobas dacíticas y riolíticas de color grisáceo a blanco amarillento mayormente.

Esta unidad se le encuentra principalmente en el cuadrángulo de Chuquibamba hacia el flanco pacífico, formando extensas pampas cuya superficie es sub-horizontal con una inclinación hacia el sur. Se presenta cubriendo una superficie de erosión que ha sido labrada en las rocas batolíticas, así como también en las del Complejo Basal, Complejo Bella Unión, la Fm. Caravelí, Grpo. Tacaza.

Las rocas que constituyen esta unidad, son esencialmente piroclásticas, compuestas por tobas dacíticas y riolíticas de color grisáceo a blanco amarillento.

3.4.14 Formación Sencca

Esta formación fue establecida por S. Mendivil (1905). En ella describe a un conjunto de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica que afloran en la quebrada de Sencca, ubicada al SE de la hoja de Maure.

La Formación Sencca de los cuadrángulos de Cotahuasi y Chuquibamba, ocurre en forma limitada al NE de Yanaquihua en las quebradas Piñog, la Tranca, Lucmayoc,

Tacopacha; se hallan formando las pampas como la de Sique, Auqui, Chalucmarca de poca extensión; generalmente cubren o rellenan una superficie baja.

Las rocas que constituyen esta unidad, son esencialmente piroclásticas, compuestas por tobas dacíticas y riódacíticas cuyo color predominante es el gris, que puede variar a blanco amarillento y rosado. El mayor espesor se observa a ambos lados del río Arma, aguas arriba del pueblo de Salamanca; es de 150 m.

3.4.15 Grupo Barroso

El nombre proviene de la Cordillera Barroso, en la Sierra del Departamento de Tacna. Ha sido estudiado por Wilson y García (1962), Mendivil (1965), Guevara (1969), Vargas (1970) y Caldas 1993). En el cuadrángulo de Palca, Wilson y García (1962), denominó Formación Barroso a un complejo volcánico que consiste de antiguos conos erosionados que forman la Cordillera del Barroso. El nombre de Grupo Barroso, fue dado por Mendivil (1965) al estudiar los cuadrángulos de Maure y Antajave.

Esta Cordillera tiene dirección NO-SE y se extiende en los Departamentos de Tacna, Moquegua, Arequipa y parte de Ayacucho, constituyendo la Cordillera Volcánica del SO del Perú, pasando por las hojas de Chuquibamba-Cotahuasi terminando su recorrido en el volcán Sara-Sara.

El Grupo Barroso se encuentra presente en el cuadrángulo de Cotahuasi y al Norte del cuadrángulo de Chuquibamba. Se le encuentra formando grandes conos volcánicos tales como el Coropuna, Solimana, Firura, que en estos momentos se encuentran parcialmente cubiertos por nieves perpetuas, sobre todo el Coropuna que ocupa una gran extensión. Otros volcanes más pequeños, tales como el cerro Anapuna y Antapuna Chico, también han dado lugar a coladas de lava; estas lavas se circunscriben a los alrededores de los volcanes.

3.4.16 Depósitos morrénicos

Este tipo de depósitos están rodeando a los tres grandes volcanes existentes en el área y que son Coropuna, Solimana y Firura.

Durante el Pleistoceno, esta región estuvo cubierta la mayor parte por hielo, el cual fue desapareciendo por diferentes causas (evaporación, fusión, recarga) y a su vez, fue retrocediendo hasta situarse en el lugar que ocupa actualmente. Entre estos, el más alto es el Coropuna, que se encuentran a una altitud de 6,300 m.s.n.m.

Se considera que desde el Pleistoceno, las morrenas han jugado un papel importante en el modelado del relieve actual, formando así valles en forma de U como aquel que se puede ver en la naciente del río Cotahuasi; también han dado lugar a muchas lagunas alrededor del Nevado Firura. La acción erosiva la observamos en los afloramientos del Grupo Barroso que bordean los nevados y se presentan completamente fracturados y afectados por la acción abrasiva de los glaciares.

3.4.17 Depósitos glaciofluviales

En el área de estudio los depósitos glaciofluviales pleistocénicos, ocupan las partes más bajas de los Nevados Coropuna, Solimana y Firura, como consecuencia de la destrucción de morrenas por la acción fluvial; éstos depósitos glaciofluviales ocupan las planicies y quebradas pequeñas, sobre las planicies están constituidos principalmente

por los mismos elementos que las morrenas (fragmentos volcánicos en matriz arcillosa); también se encuentran en las quebradas tributarias próximas a los valles del río Huarcaya y Cotahuasi, discontinuamente ocurren a manera de terrazas antiguas aisladas; en este caso, su composición es variada (pudiendo existir fragmentos de rocas volcánicas, calizas, areniscas rocas intrusivas y algunas veces pizarras y filitas).

3.4.18 Depósitos aluviales recientes

Al Sureste del cuadrángulo de Chuquibamba, en el límite con el cuadrángulo de La Yesera, se presentan unos conglomerados que han sido redepositados sobre las Formaciones Caravelí y Sotillo. Están constituidos por rodados de cuarcitas, gneises y rocas intrusivas que han sufrido mucho transporte; su superficie es de color gris rojizo y su topografía es de relieve moderado.

Otros depósitos recientes se encuentran en algunas pampas en el cuadrángulo de Cotahuasi, sobre los 3,400 m.s.n.m. Están constituidas por un material suelto, fino, que en muchos lugares por la presencia de agua, están formando bofedales, como el de Puchuncho. También se observan numerosos deslizamientos al Sur de Pampamarca.

Los valles de Chuquibamba, Cotahuasi y Arma, constituyen ejemplos de depósitos aluviales formados por arcillas, conglomerados y gravas; son importantes las terrazas fluviales, que se han formando en las laderas de los ríos y los depósitos fluviales que ocupan el lecho de los mismos.

3.4.19 Grupo Andahua

Su nombre proviene del área del valle Andahua en el cuadrángulo de Orcopampa, donde J. Caldas (1993), ha descrito el Grupo Andahua constituido por rocas volcánicas lávicas y piroclásticas de composición andesítica a dacítica formadas después que se desarrolló el encañonamiento de los ríos actuales. Esta unidad se extiende hacia los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi y ocurren a modo de emisiones de la última fase volcánica conocida y compuestos por pequeños conos volcánicos y flujos de lava de recorrido corto. En general, la composición de las lavas, son andesíticas de color gris oscuro y negruzco con fenocristales de hornblenda y plagioclasa dentro de una matriz vítrea de estructura fluidal.

Los flujos lávicos se encuentran próximos al río Sumana. En el cerro Kiura, se presentan como derrames lávicos en los flancos de los Nevados de Coropuna y Firura. La litología está constituida por lavas andesíticas de color gris marrón, afáníticas y/o porfiríticas con fenocristales de plagioclasas que alcanzan hasta 3 mm. Estos cuerpos volcánicos, parecen estar rellenando a estructuras regionales ó a conos volcánicos pre-existentes.

Alrededor del Nevado Coropuna, en los cerros Sepulturayoc, Queñua Ranra y Buena vista, se presentan tres afloramientos de lava que tienen la forma de lengua que descansan sobre el Grupo Barroso y algunas morrenas.

3.5 ROCAS INTRUSIVAS

En los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, la actividad magmática está comprendida por eventos plutónicos y subvolcánicos. Las rocas resultantes de los primeros se distribuyen con mayor amplitud al Sur y Oeste del cuadrángulo de

Chuquibamba y en la esquina Suroeste del cuadrángulo de Cotahuasi; también se encuentran en forma de cuerpos pequeños a lo largo del valle del río Huarcaya (Cotahuasi), los segundos están constituidos como cuerpos pequeños y aislados en ambos cuadrángulos.

Los intrusivos plutónicos son mayormente granodioritas-tonalitas del Batolito de la costa emplazadas durante el Cretácico-Terciario. También se encuentran tonalitas-dioritas así como alguno subvolcánicos andesíticos; además existen algunos afloramientos del Complejo Bella Unión que son anteriores a los intrusivos del Batolito.

CAPITULO IV

GEODINAMICA EXTERNA

4.1 FACTORES

El nivel de los efectos debido a la ocurrencia de los fenómenos de geodinámica externa que ocurren en el área se correlacionan con los siguientes factores:

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

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

-Sísmico.- La actividad sísmica es una de las causas fundamentales de los procesos de geodinámica externa, como deslizamientos (Ambraja), derrumbes, desprendimiento de rocas, etc. Los sismos actúan como disparadores.

-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 PELIGROS 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.

4.2.1 Inundaciones (avenidas extraordinarias)

El nevado Coropuna y algunos cerros adyacentes son fuentes principales de las aguas superficiales y subterráneas en el sector de Castilla Alta, en vista que estos representan la zona de captación y recarga.

El sector de Castilla Alta por su alto índice de precipitación siempre representa un peligro latente para los poblados que allí se ubican, la mayor peligrosidad radica en las partes bajas de los valles y quebradas. Sin embargo, por el tipo de construcción con techo de calaminas, la existencia de canales de drenaje y la pendiente que favorece a la circulación de las aguas, los poblados que se asientan en el sector no representa un nivel de peligrosidad alta.

4.4.2 Deslizamientos y derrumbes

Los deslizamientos se considera 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, en cuyo caso la masa suprayacente (consolidada o suelta) se desliza sobre este plano

Las causas principales son:

- Incompetencia del material
- Influencia de las filtraciones.
- Influencia de las precipitaciones.
- Acción erosiva de los ríos y quebradas
- Sismos
- Acción antrópica (construcción de carreteras y canales).

En el tramo de la carretera Aplao-Tipan, cerca de la desembocadura de los Ríos Taparza y Capiza, se localizan deslizamientos en los que a través de capas de areniscas, cuarcitas y lutitas carbonosas, con buzamientos a favor de la pendiente (flanco NE de un anticlinal); fallas y fracturas. Es previsible que los deslizamientos sean de mayor proporción en relación con el sistema de precipitaciones e incidencia sísmica.

Los derrumbes se produce en macizos rocosos y materiales inconsolidados, producidos por heterogeneidad litológica, fracturamiento, taludes pronunciados, precipitación e incidencia sísmica. En el área de estudio se ha logrado identificar varios sectores potencialmente peligroso como es el caso de:

* Por efecto del sismo del 23 de junio en el paraje denominado Ambraja se produjo un deslizamiento de grandes proporciones (Foto 17) que obstruyó la carretera durante aproximadamente 20 días.

* Por el tipo de rocas y el talud existente en algunos sectores se han registrado deslizamientos como en la carretera de ingreso al poblado de Arhuin y por un factor de erosión de la quebrada Quiñual también se ha registrado derrumbes en Acopallpa afectando a los terrenos de cultivo.

* Por efecto del sismo del 23 de junio, se produjeron deslizamientos en la carretera de Llato-Pampacolca en varios tramos a consecuencia del movimiento sísmico y por la inestabilidad de las rocas volcánicas.

* En la parte alta del poblado de Machahuay se producen desprendimientos de rocas por la inestabilidad de los mismos. Similarmente en la parte alta del poblado de Acopallpa se producen derrumbes de rocas.

* Por el sismo del 23 de junio se reactivó los derrumbes en el talud inferior de la margen derecha de río Taparza, que eventualmente podría en el futuro comprometer a los terrenos de cultivo. Eventualmente por una precipitación mayor el pueblo de Arhuín por su ubicación podría ser afectado por huaycos.

* En la localidad de Cuyanca anexo de Machahuay, ubicado al pie del cerro Pesjofiane de 4600 metros de altitud consistente en rocas volcánicas del Barroso, se producen derrumbes en la parte norte de dicho pueblo, encontrándose además antiguos planos de deslizamientos en la parte alta del pueblo.

* Debido a la pendiente y al tipo de roca volcánica existente hacia el lado este del pueblo de Pampacolca, este es susceptible a deslizamientos que podría comprometer al canal, tierras de cultivo y la carretera que une con Chuquibamba.

* El poblado de Tagre es bastante estable, se encuentra ubicado en un promontorio de origen proluvial, sin embargo es susceptible de deslizamientos en la margen izquierda del río Llacllajo en el caso de una mayor erosión.

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 la cuenca se ha localizado varias zonas donde se producen ingresos de agua y flujos de barro, por activación de quebradas (Anexo E, Plano 2) éstas son:

- Ambas márgenes del río Capiza: Huaycos periódicos y ocasionales y flujos de barro plásticos; principalmente en el sector de la carretera Aplao-Tipan cerca de la confluencia con el río Capiza.
- Quebrada Puente Viejo
- Quebrada de Andamayo
- Quebrada Jollpa

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 al pie de taludes y suelos inestables.

- **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 (Fotos 17 y 18).

- **Terrenos de cultivo:** La expansión de los terrenos de cultivo como el área cercana al lecho del río Taparza; el sobrepastoreo, la deforestación (utilización de arbustos y otras plantas para combustible) y en muchos casos la quema de pastizales.

CAPITULO V

GEODINAMICA INTERNA

5.1 SISMICIDAD

La distribución de sismos en tiempo y espacio es un aspecto 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 conmoción 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.

Otros daños ocasionó en los valles de Sigwas y Majes, alcanzando en Aplao y Sigwas 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, Hawaii, Yokohama, Filipinas, Sidney y Nueva Zelandia. 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 $3,500 \text{ Km}^2$, 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 fu, 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 a base de 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 a base de 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 en Charcani un derrumbe 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.

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 estima 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 Mejía 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, en Mollendo y Ubinas alcanzó una intensidad de V.

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 velocidad 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 subducida 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

período 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. 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 diferentes localidades del Valle de Majes se ha utilizado los métodos geofísicos de Refracción Sísmica, Sondaje Eléctrico Vertical y Calicatas. Mediante estos métodos se ha logrado identificar sectores estables e inestables. La ubicación de los puntos de Refracción Sísmica, Sondaje Eléctrico Vertical, los Perfiles y Calicatas se pueden observar en el Anexo E. Los perfiles sísmicos se encuentran en el Anexo A, y los resultados de los mismos se pueden observar en los Anexos B y C.

5.2.1 Refracción Sísmica

5.2.1.1 Poblado de Viraco

En Viraco se efectuaron 8 perfiles de refracción sísmica los que se distribuyeron de forma regular en toda la ciudad, a pesar de estar pavimentada. La extensión de los perfiles ha permitido tener una adecuada investigación de las velocidades sísmicas y los espesores del substrato.

Los perfiles sísmicos 1 y 2 se encuentran ubicados en la Calle Tacna y Arica (altura del mirador) y la Marina determinándose tres y dos estructuras respectivamente, la primera estructura presenta velocidades de 465.12m/seg a 500m/seg. con un espesor de 8.51m. y 5.00m. que correspondería a materiales coluviales y proluviales, la segunda estructura tiene velocidades de 821.43m/seg. a 833.33m/seg. que correspondería al mismo material pero más compacto, en el segundo perfil tiene un espesor de 7.70m., Subyaciendo a esta estructura tenemos una velocidad de 1250.00m/seg. que correspondería a materiales

coluviales y proluviales medianamente densos con bloques de rocas volcánicas, no pudiendo determinarse el espesor de la segunda estructura del primer perfil sísmico (Anexo B, Fig. 1a).

El perfil sísmico 3, se encuentra ubicado en la Calle Los Arrayanes frente al Colegio Sagrado Corazón de Jesús, encontrándose dos horizontes refractores, el primero con una velocidad de 337.84m/seg. y un espesor de 2.62m que se relacionaría con suelos agrícolas, de material con contenido de arena y limo, el segundo horizonte refractor presenta una velocidad de 432.10m/seg. que se relacionaría con el mismo material que el horizonte anterior, pero ligeramente más compacto.

Los perfiles sísmicos 4 (Calle José Olaya) y 5 (Calle Siglo XX) se encuentran ubicados en la parte baja del poblado, determinándose dos estructuras, la primera con velocidades de 375.00m/seg. y 342.11m/seg., con espesores de 8.69m. y 7.79m. que se relacionaría con materiales coluviales y proluviales, subyaciendo a esta estructura tenemos velocidades de 750.00m/seg. a 775.86m/seg. que correspondería al mismo material pero algo más compacto (Anexo B, Fig. 1b).

Los perfiles sísmicos 6 (Calle 28 de Julio) y 7 (Calle Lima), se encuentran ubicados en dirección Norte de la Plaza de Armas obteniéndose dos horizontes refractores, el primero con velocidades de 405.41m/seg. y 312.50m/seg., con espesores de 3.64m. a 5.42m. que se relacionaría con materiales coluviales y proluviales, subyaciendo a esta estructura tenemos velocidades de 659.09m/seg. a 694.44m/seg. que correspondería al mismo material pero algo más compacto (Anexo B, Fig. 1b, 1c).

El perfil sísmico 8 se encuentra ubicado en la calle Paz Soldan, carretera que une con Machaguay, determinándose dos estructuras la primera con una velocidad de 436.89m/seg. y un espesor de 8.40m. que correspondería a materiales areno-limoso y

proluviales y subyaciendo a esta estructura tenemos una velocidad de 1250.00m/seg que guardaría relación con bloques volcánicos tobáceos (Anexo B, Fig. 1c).

**CUADRO 8
VELOCIDADES Y ESPESORES DE VIRACO**

PRS	CAPA1		CAPA 2		CAPA3		TOTAL $\Sigma Z(m)$
	$V_1(m/seg)$	$Z_1(m)$	$V_2(m/seg)$	$Z_2(m)$	$V_3(m/seg)$	$Z_3(m)$	
1	465.12	8.81	821.43				8.81
2	500.00	5.00	833.33	7.70	1250.00		12.70
3	337.84	2.62	432.10				2.62
4	375.00	8.69	750.00				8.69
5	342.11	7.79	775.86				7.79
6	405.41	3.64	659.09				3.64
7	312.50	5.42	694.44				5.42
8	436.89	8.40	1250.00				8.40

PRS. Perfil de Refracción Sísmica

V_1, V_2, \dots Velocidad de los diferentes horizontes

Z_1, Z_2, \dots Espesores de los diferentes horizontes

ΣZ Sumatoria de los espesores

- Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos precisar que los suelos del poblado de Viraco se pueden dividir en función a la densidad en tres niveles, los suelos con mejores características de estabilidad son los ubicados en la parte alta del pueblo es decir, aproximadamente de la Plazuela Graú hacia arriba; los suelos medianamente densos se sitúan en la parte central y baja de Viraco es decir, hacia la plaza de Armas; el sector correspondiente al campo ferial, campo deportivo y los terrenos adyacentes a la plaza de toros son suelos menos densos. A consecuencia del terremoto del 23 de junio, se han registrado daños leves a moderados en algunas viviendas precarias construido con adobe. En el Anexo E (P-6) se presenta un Plano de zonificación sísmica en base a las velocidades sísmicas determinadas por el método de Refracción Sísmica.

5.2.1.2 Poblado de Machahuay

En el distrito de Machahuay se efectuaron 03 perfiles de refracción sísmica (Calle Centenario, Ramón Castilla y Tupác Amaru frente al Ministerio de Salud), determinándose dos estructuras, la primera tiene velocidades de 357.14m/seg. a 441.18m/seg. con espesores entre 6.84m. a 8.91m. que correspondería a materiales proluviales y coluviales, subyaciendo a esta estructura tenemos velocidades de 653.85m/seg. a 687.50m/seg. que guardaría relación con el material de la estructura anterior, pero más compacta (Anexo B, Fig. 2).

**CUADRO 9
VELOCIDADES Y ESPESORES DE MACHAHUAY**

PRS	CAPA1		CAPA 2		CAPA3		TOTAL $\Sigma Z(m)$
	$V_1(m/seg)$	$Z_1(m)$	$V_2(m/seg)$	$Z_2(m)$	$V_3(m/seg)$	$Z_3(m)$	
9	441.18	7.01	687.50				7.01
10	384.62	6.84	681.82				6.84
11	357.14	8.91	653.85				8.91

PRS. Perfil de Refracción Sísmica

V_1, V_2, \dots Velocidad de los diferentes horizontes

Z_1, Z_2, \dots Espesores de los diferentes horizontes

ΣZ Sumatoria de los espesores

- Conclusiones

Del análisis de los resultados de la refracción sísmica se deduce que los suelos de origen coluvial-proluvial, consistente en bloques y fragmentos en una matriz areno-limoso, se encuentran distribuidas casi uniformemente, de allí que los valores de las velocidades y espesores son coincidentes. Estos son medianamente densos con una relativa estabilidad (Anexo E, P-7). Los daños registrados por el sismo del 23 de junio de 2001 ocasionó el colapso de la iglesia como de algunas viviendas asimismo, grietas en otras estructuras.

Los mayores efectos por el sismo se dieron en los poblados anexos al distrito, fundamentalmente por la precariedad de sus viviendas como es el caso de Arhuín.

5.2.1.3 Localidad de Turpaito Anexo de Viraco

En la zona de ingreso a la localidad de Turpaito (sector donde se reubicó el poblado de Rituy), se realizó un perfil sísmico donde se determinó dos horizontes refractores el primero con una velocidad de 772.73m/seg. y un espesor de 3.71m. que correspondería a material coluvial y proluviales, subyaciendo a este horizonte se tiene probablemente el mismo material pero algo más compacto con una velocidad de 1000.00m/seg. (Anexo B, Fig. 3)

CUADRO 10
VELOCIDADES Y ESPESORES DE TURPAITO ANEXO DE HUAMI

PRS	CAPA1		CAPA 2		CAPA3		TOTAL
	V ₁ (m/seg.)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/seg.)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/seg.)	Z ₃ (m)	ΣZ(m)
12	772.73	3.71	1000.00				3.71

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

Por las características sísmicas de los suelos de esta localidad podemos precisar que son suelos estables y por su ubicación es una zona de bajo peligro. El sector donde se han reubicado a las familias damnificadas en algunas partes son rellenos, de allí la necesidad de que se establezca una planificación en el caso que sea utilizado como terrenos permanentes.

5.2.1.4 Localidad de Tagre Anexo de Tipan

En la localidad de Tagre, se realizó un perfil sísmico, donde se obtuvo tres estructuras la primera con una velocidad de 444.44m/seg. y un espesor de 3.25m. que correspondería a material proluvial, la segunda estructura presenta un espesor de 11.25m. con una velocidad de 650.00m/seg. que correspondería al mismo material pero algo más compacto, subyaciendo a esta estructura tenemos una velocidad de 1125.00m/seg que se relaciona con un substrato algo compacto (Anexo B, Fig. 3).

CUADRO 11
VELOCIDADES Y ESPESORES DE TAGRE ANEXO DE HUAMI

	CAPA1	CAPA 2	CAPA3	TOTAL
--	-------	--------	-------	-------

PRS.	V ₁ (m/seg.)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/seg.)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/seg.)	Z ₃ (m)	ΣZ(m)
13	444.44	3.25	650.00	11.25	1125.00		14.50

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

Las velocidades encontradas en este sector son compatibles con suelos medianamente densos y de relativa estabilidad.

5.2.1.5 Poblado de Pampacolca

En el distrito de Pampacolca se realizaron 3 perfiles de refracción sísmica (14, 15 y 16), determinándose entre 3 y 4 estructuras (Anexo B, Fig. 4).

El perfil sísmico 14 se realizó en la esquina de la calle 02 de Mayo con Independencia, encontrándose 04 estructuras, la primera presenta una velocidad de 333.33m/seg. y un espesor de 1.57m que correspondería a materiales proluviales, la segunda estructura tiene una velocidad de 769.23m/seg. con un espesor de 2.86m. que se relacionaría con el mismo material pero más compacto, la tercera estructura tiene una velocidad de 1090.91m/seg. y un espesor de 5.22m que se guardaría relación con gravas y cantos angulosos y subyaciendo a esta estructura tenemos el mismo material, pero algo más compacto, con una velocidad de 1571.43m/seg.

En los perfiles sísmicos 15 (5ta. Cuadra, calle 28 de Julio) y 16 (Calle Desamparados) se determinaron tres horizontes, el primero con una velocidad de 347.83m/seg. a 384.62m/seg. y un espesor entre 4.25m. a 5.52m. que correspondería a materiales proluviales, el segundo horizonte presenta velocidades de 1111.11m/seg. y 1045.45m/seg. con espesores de 9.52m. a 11.61m que se relacionaría probablemente con gravas y cantos angulosos y subyaciendo a esta estructura tenemos velocidades de 1714.29m/seg. a 1736.84m/seg. que probablemente guardaría relación con el mismo material que el horizonte anterior, pero más compacto.

CUADRO 12
VELOCIDADES Y ESPESORES DE PAMPACOLCA

PRS	CAPA1		CAPA 2		CAPA3		CAPA4		TOT. ΣZ(m)
	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.)	Z ₄ (m)	
14	333.33	1.57	769.23	2.86	1090.91	5.22	1571.43		9.65
15	347.83	4.25	1111.11	9.52	1714.29				13.77
16	384.62	5.52	1045.45	11.61	1736.84				17.13

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 las velocidades y espesores obtenidos, se deduce que son suelos relativamente estables consistente de gravas y cantos angulosos en una matriz areno-limosa. Encontrándose suelos ligeramente más densos en la parte baja del poblado (Anexo E, P-8).

5.2.2 Resistividad Geoeléctrica

5.2.2.1 Zona de Viraco

En la localidad de Viraco se han realizado estudios de Resistividad Geoeléctrica empleando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Se ejecutaron 02 SEVs, distribuidos en esta zona de estudio de acuerdo a las necesidades requeridas (Anexo E, P-6).

**CUADRO 13
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE VIRACO**

SEV N°	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄	
	R ₁	E ₁	R ₂	E ₂	R ₃	E ₃	R ₄	E ₄
1	14	0.5	69	1.0	13	3.5	1940	?
2	----	----	21	0.6	10	2.2	1670	?

H₁ - Horizonte geoeléctrico

R₁ - Resistividad

E₁ - Espesor de la Estructura Geoeléctrica

* Descripción de los Horizontes Geoeléctricos

Horizonte H1.- Este horizonte se presenta sólo en el SEV 1 parte alta de la zona de estudio y tiene una resistividad de 14 Ohmios-metro y un espesor de 0.5 metros, esta primera estructura Geoeléctrica está constituida por material granular de origen proluvial, contiene humedad.

Horizonte H2.- Tiene resistividades de 69 y 21 Ohmios-metro y espesores de 1.0 y 0.6 metros respectivamente; posiblemente constituida también por los mismos materiales anteriormente nombrados con mayor compactación y menor contenido de humedad.

Horizonte H3.- Esta tercera estructura Geoeléctrica presenta resistividades de 13 y 10 Ohmios-metro y espesores de 3.5 y 2.2 metros, constituida por material de origen aluvio-proluvial correspondiente probablemente a materiales del grupo barroso, se encuentra saturado de humedad.

Horizonte H4.- En este horizonte geoeléctrico se observa valores altos de resistividad de 1940 y 1670 Ohmios-metro y de espesor indeterminado, estaría constituida por material de origen volcánico, se comporta como el basamento rocoso de la zona de estudio sobre la cual se asienta la población de Viraco.

Se ha elaborado un perfil geoeléctrico, constituido por los SEVs 1 y 2 ubicados, el primero en la parte alta de la población y el otro en la parte intermedia 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 geoeléctricos determinados para la localidad de Viraco, el cual muestra en su parte superior, una pequeña cobertura superficial constituida por materiales de origen proluvial, las mismas que descansan sobre el basamento rocoso, (Anexo C, Fig. 1)

- Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos por el método de resistividades, se llega a la conclusión que la localidad de Virado se encuentra emplazada sobre suelos estables, los mismos que corresponden al grupo barroso inferior (Volcánico), presenta en superficie

una pequeña cobertura de 3 metros de espesor y presentan diferentes grados de humedad.

5.2.2.2 Zona de Machahuay

También en Machahuay se han realizado estudios de Resistividad geoelectrica empleando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Para tal efecto, se han realizado 02 SEVs, cuya ubicación en la zona de estudio se realizó de acuerdo a las necesidades requeridas (Anexo G, Fig. 2).

**CUADRO 14
RESISTIVIDADES Y ESPEORES DE MACHAHUAY**

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
1	107	1.8	31	3.8	744	6.4	199	73	1500	?
2	----	----	25	1.3	171	3.0	75	16.2	1180	?

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

* Descripción de los Horizontes Geoelectricos.

Horizonte H1.- Este horizonte se presenta sólo en el SEV1 y tiene una resistividad de 107 Ohmios-metro y espesor de 1.8 metros, esta primera estructura geoelectrica está constituida por material de origen proluvial con presencia de limos y material orgánico; presenta cierto contenido de humedad.

Horizonte H2.- Tiene resistividades de 31 y 25 Ohmios-metro y espesores de 3.8 y 1.3 metros; posiblemente constituida también por materiales de origen proluvial, con mayor contenido de humedad, probablemente producto del sistema de regadío de la los terrenos de cultivo.

Horizonte H3.- Esta tercera estructura geoelectrica presenta resistividades de 744 y 171 Ohmios-metro y espesores de 6.4 y 3.0 metros, constituida probablemente por material de origen aluvio-proluvial con mayor grado de compactación por debajo del SEV1 el cual presenta valor alto de resistividad, lo que indica la muy poca presencia de humedad. Por debajo del SEV2 tiene casi las mismas características.

Horizonte H4.- Este horizonte geoelectrico tiene valores de resistividad de 199 y 75 Ohmios-metro y espesores de 73 y 16.2 metros, estaría constituida por material de origen aluvio-proluvial con presencia de humedad. El espesor de esta estructura decrece del SEV1 hacia el SEV2 el cual se encuentra en la parte alta de la población, en el perfil elaborado muestra la forma de depositación y emplazamiento de estos materiales.

Horizonte H5.- Esta estructura tiene resistividades entre 1500 y 1180 Ohmios-metro y de espesor indefinido, constituye el basamento rocoso de la zona de estudio constituido posiblemente por materiales del grupo Yura.

Se ha elaborado un perfil geoelectrico, constituido por los SEVs 1 y 2 ubicados, el primero en la parte baja de la población y el otro en la parte alta del mismo, se correlacionan los horizontes determinados del cuadro 2, en este perfil se observa como

está constituido el suelo y la disposición de los estratos geoelectrónicos determinados para la localidad de Machahuay (Anexo C. Fig. 2).

- Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que en Machahuay los materiales superficiales se han depositado de acuerdo a la geomorfología existente, presentando mayor relleno en la parte baja del poblado, estos suelos son relativamente estables ya que no presenta ninguna estructura importante con características acuíferas que descansen sobre el basamento rocoso.

5.2.2.3 Zona de Pampacolca

En la localidad de Pampacolca se han ejecutado 02 SEVs, uno se ubica en la parte alta del pueblo y otro en la parte baja, esto es, con el fin de trazar un perfil longitudinal que nos permita observar la estructura geológica.

CUADRO 15
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE PAMPACOLCA

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	47	0.6	92	0.7	41	8.4	122	20.3	45	54	234	?
2	----	----	267	1.4	29	2.8	136	12.9	70	82.6	250	?

H₁ - Horizonte geoelectrónico

R₁ - Resistividad

E₁ - Espesor de la Estructura Geoelectrónica

* Descripción de los Horizontes Geoelectrónicos

Horizonte H1.- Este horizonte se presenta sólo en el SEV1 y tiene una resistividad de 47 Ohmios-metro y espesor de 0.6 metros, está constituida por material de origen proluvial con contenido de limos y presencia de humedad.

Horizonte H2.- Presenta resistividades de 92 y 267 Ohmios-metro espesores de 0.7 y 1.4 metros; debido a su valor de resistividad, en el SEV2 esta estructura se presenta mucho más compacta y carente de humedad, en el SEV1 presenta moderado contenido de humedad.

Horizonte H3.- Esta estructura geoelectrónica presenta valores de resistividad de 41 y 29 Ohmios-metro y espesores de 8.8 y 2.8 metros, se constituye como una estructura acuífera superficial producto del sistema de riego de la población.

Horizonte H4.- Esta estructura geoelectrónica presenta resistividades de 122 y 136 Ohmios-metro y espesores de 20.3 y 12.9 metros respectivamente, por sus valores de resistividad esta estructura se encuentra más compacta y con poco contenido de humedad.

Horizonte H5.- Horizonte geoelectrónico que presenta resistividades de 45 y 70 Ohmios-metro y espesores de 54 y 82.6 metros respectivamente, por los valores de resistividad y su espesor se trata de una estructura acuífera; posiblemente esté constituida por materiales de origen aluvial saturados de humedad.

Horizonte H6.- Sexto Horizonte geoelectrico con resistividades de 234 y 250 Ohmiosmetro y de espesor indefinido, de acuerdo a sus valores de resistividad se constituye como el basamento rocoso de la zona de estudio. Posiblemente este constituido por rocas de origen volcánico.

Se ha elaborado un perfil geoelectrico longitudinal 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 correlacionaron los horizontes determinados del cuadro 3. En este perfil se observa como está constituido el suelo y la disposición de los estratos geoelectricos determinados para la localidad de Pampacolca, observándose cierta uniformidad entre cada uno de ellos, (Anexo C, Fig. 3).

- Conclusiones

En Pampacolca de acuerdo a los materiales y a sus características geoelectricas que presentan, podemos decir que se tratan de suelos moderadamente buenos, constituidos por materiales de origen aluvio-proluvional, superficialmente se presenta una pequeña estructura con características de acuífero a los 1.5 metros, la estructura acuífera principal se presenta a una profundidad de 25 metros en promedio. El basamento rocoso estaría constituido por materiales de origen volcánico.

5.2.3 Estudio Geotécnico

5.2.3.1 Mecánica de Suelos

Para la realización del estudio de Mecánica de suelos de la zona, en las localidades de Viraco, Machahuay, Arhuin, Tagre, Pampacolca y Turpaito, se han efectuado pozos de exploración superficiales, comprendidos entre 1.00 m a 2.00 m de profundidad, asimismo se han empleado los perfiles existentes, con el objetivo de realizar el muestreo y descripción de las características físicas y mecánicas, se ha zonificado la zona 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 sectores y de acuerdo con las características estratigráficas, obteniéndose muestras de cada una de las perforaciones realizadas y de los cortes existentes para luego ser transportadas al laboratorio con la finalidad de realizar 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 líquido, definido por el contenido de agua por encima del cual el suelo se comporta como un líquido viscoso.

Límite 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.

Límite 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, está 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 se tomará 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 sollicitación de una superestructura, entre la más aplicada de las ecuaciones para la determinación de dicho valor se halla la ecuación de Hansen:

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c + \gamma DN_q S_q d_q + 1/2 \gamma BN \gamma S \gamma d \gamma$$

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, y en función a las propiedades físico-mecánicas de los suelos se ha determinado lo siguiente:

5.2.3.2.1 Localidad de Viraco (Suelos Tipo II)

Caracterizado por suelos proluviales, constituyendo básicamente dos tipos de materiales, compuesto por gravas arenosas con matriz limosa de color marrón; provenientes de la formación geológica barroso inferior, medianamente compacta, con gravas angulosas de origen volcánico con diámetros comprendidos entre 4" a 6", principalmente hacia la zona suroeste de la localidad y hacia el sector sureste, se halla constituido por materiales más finos, areno-limosos, no presentando plasticidad, con espesores variables entre unos pocos centímetros a poco más de 2.50 mts, como es apreciable hacia la zona de sur de la localidad de Viraco; bajo estos criterios y con los valores obtenidos en los análisis de laboratorio, se puede establecer valores de capacidad portante comprendidas hasta de 2.00 kg/cm²

5.2.3.2.2 Localidad de Machahuay (Suelos Tipo II)

Caracterizado por suelos proluviales, con presencia de gravas areno-limosas, con gravas angulosas, medianamente compactas, de color marrón claro, presentando una ligera pendiente direccionada de norte a sur, presentando hacia el sector sur, un talud rocoso en donde se puede vislumbrar la presencia subyacente de rocas de origen volcánico; de acuerdo con lo avizorado y en función de los resultados obtenidos en laboratorio; se puede establecer valores de capacidad portante de hasta 2.00 kg/cm²

5.2.3.2.3 Localidad de Arhuín (Suelos Tipo II)

Caracterizado por suelos deluviales, compuesto por gravas arenosas envueltas en una matriz areno-limosa de color rojiza medianamente a bien compactas, las gravas son de formas angulosas a subredondeadas, presenta estables, sin embargo por efectos erosivos de la quebrada que borde se tornan ligeramente inestables por causas erosivas y de socavación; predominando superficialmente la presencia de materiales aluviales, por lo que se puede establecer los valores de capacidad portante iguales a 2.00 kg./cm² (Foto 4).

5.2.3.2.4 Localidad de Tagre (Suelos Tipo II)

Comprendiendo toda la parte baja de la quebrada proveniente del Grupo Barroso inferior, por lo que el suelo predominantemente se halla gravas arenosas de color marrón a rojizo, con una matriz areno-limosa bien compacta, presentando espesores variables entre menos de un metro a poco más de dos cincuenta metros, por lo que sus valores de capacidad portante se puede considerar como del orden de 2.00 kg./cm²

5.2.3.2.5 Localidad de Tipan (Suelos Tipo I)

Las rocas expuestas son provenientes de la Formación Yura, sobre la cual se halla gravas angulosas medianamente compactas, por lo que se ha establecido los valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg./cm².

5.2.3.2.6 Localidad de Turpaito (Suelos Tipo III)

Se encuentra emplazada sobre una terraza con características casi homogéneas, con material areno limoso superficialmente entre menos de un metro a dos metros aproximadamente de espesor, bajo la cual se halla un material gravo arenoso producto del proceso deluvial, presentando por su topografía una zona de relleno bastante compacto, por lo que se ha establecido los valores de capacidad portante iguales a 2.00 kg/cm².

5.2.3.2.7 Localidad de Pampacolca (Suelos Tipo II)

El suelo de la localidad de Pampacolca, esta constituido principalmente por suelos aluvio-proluvional, predominado por gravas arenosas de color gris, gravas redondeadas a subangulosas con poca presencia de limos y materiales finos, medianamente compactos constituyendo la base fundamental de suelo, por lo que sus valores de capacidad portante se puede considerar como mayores a 2.00 kg./cm² (Foto 5).

*** Conclusiones**

El área comprende las localidades de Viraco, Machahuay, Arhuin, Tagre, Tipan, Pampacolca y Turpaito, se ha determinado básicamente dos tipos de suelos, de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas.

El primero constituido por un material de origen volcánico, el grupo denominado barroso inferior, caracterizado por bloques y gravas arenosas de color rosáceo con una matriz fina medianamente compacta, conformando un cono, con materiales poco compactos superficialmente, compuestos por gravas angulosas, provenientes de la desintegración y fracturamiento de la roca volcánica; a este grupo se caracteriza las zonas de Viraco, Machahuay, Turpaito, Aruin y Tagre, determinándose valores de capacidad portante menores a 2.00 kg./cm².

La localidad de Pampacolca, se halla sobre un lecho de cauce de formación aluvio-proluvional, se ha reconocido la presencia de materiales areno gravosos, gravas subredondeadas y cantos rodados provenientes del proceso erosivo de las avenidas provenientes de las partes altas de la localidad, conformando una superficie mucho más uniforme y compacta, determinándose valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg./cm².

En la localidad de Tipán, constituye un material rocoso proveniente del Grupo Yura, con gravas provenientes de la erosión e intemperización de la roca madre de la misma formación, determinándose valores de capacidades portantes mayores a 2.00 kg./cm².

Habiéndose establecido que los casos de daños registrados por el sismo del 23 de junio, es por la antigüedad de las construcciones por un lado y por otro lado la precariedad de las construcciones, es recomendable un adecuado sistema de construcción, con un control y dirección técnica profesional correspondiente, así con 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.

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

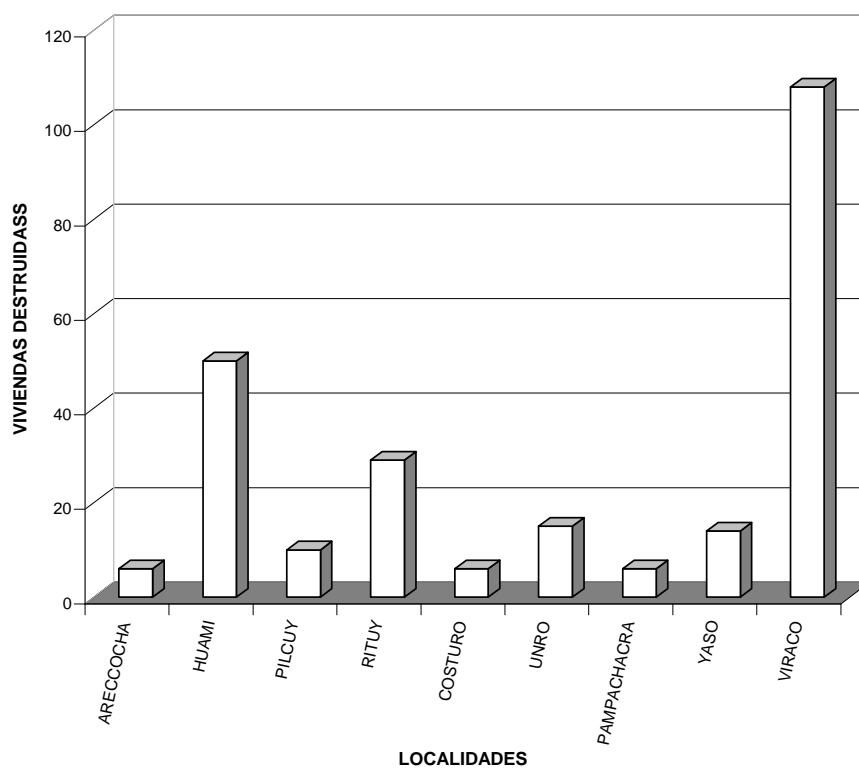
A continuación, se describen las diferentes localidades de la Provincia de Castilla, afectadas por el sismo del 23 de junio, se consideran; viviendas agrietadas, con rajaduras, destruidas e inhabitables:

**CUADRO 16
DISTRITO DE VIRACO (PROV. DE CASTILLA)**

LOCALIDAD	VIVIENDAS AGRIETADAS	VIVIENDAS DESTRUIDAS
ARECCOCHA	26	6
HUAMI	21	50
PILCUY	24	10

RITUY	10	29
COSTURO	12	6
UNRO	11	15
PAMPACHACRA	23	6
YASO	39	14
VIRACO	241	108

**HISTOGRAMA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001
PROVINCIA DE CASTILLA - DISTRITO DE VIRACO**

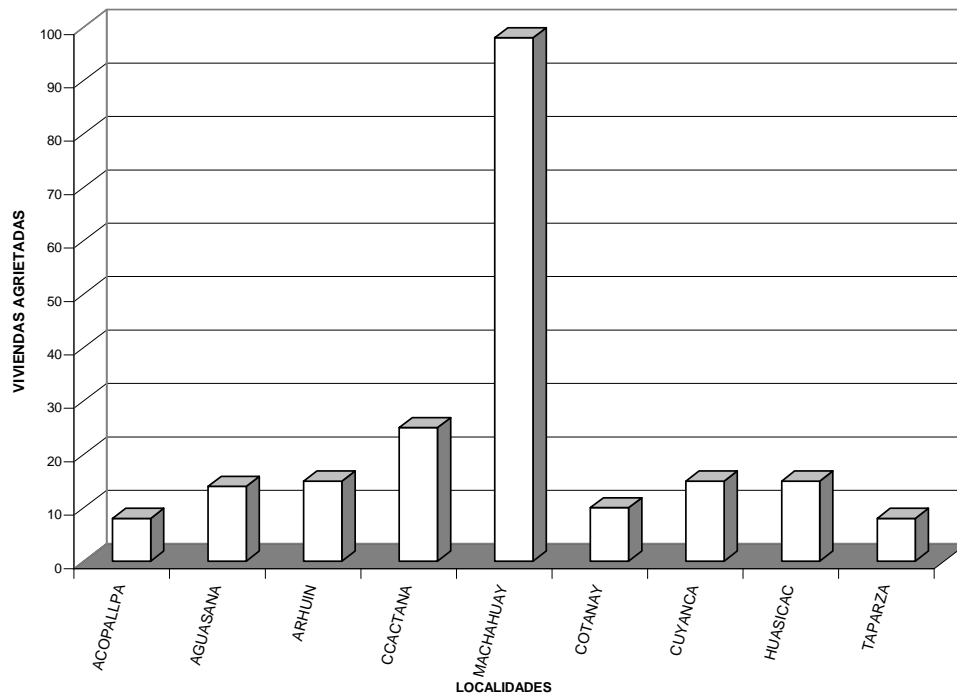


**CUADRO 17
DISTRITO DE MACHAHUAY (PROV. DE CASTILLA)**

LOCALIDAD	VIVIENDAS AGRIETADAS	VIVIENDAS DESTRUIDAS
ACOPALLPA	8	7
AGUASANA	14	13
ARHUIN	15	18
CCACTANA	25	13

MACHAHUAY	98	20
COTANAY	10	12
CUYANCA	15	12
HUASICAC	15	18
TAPARZA	8	7

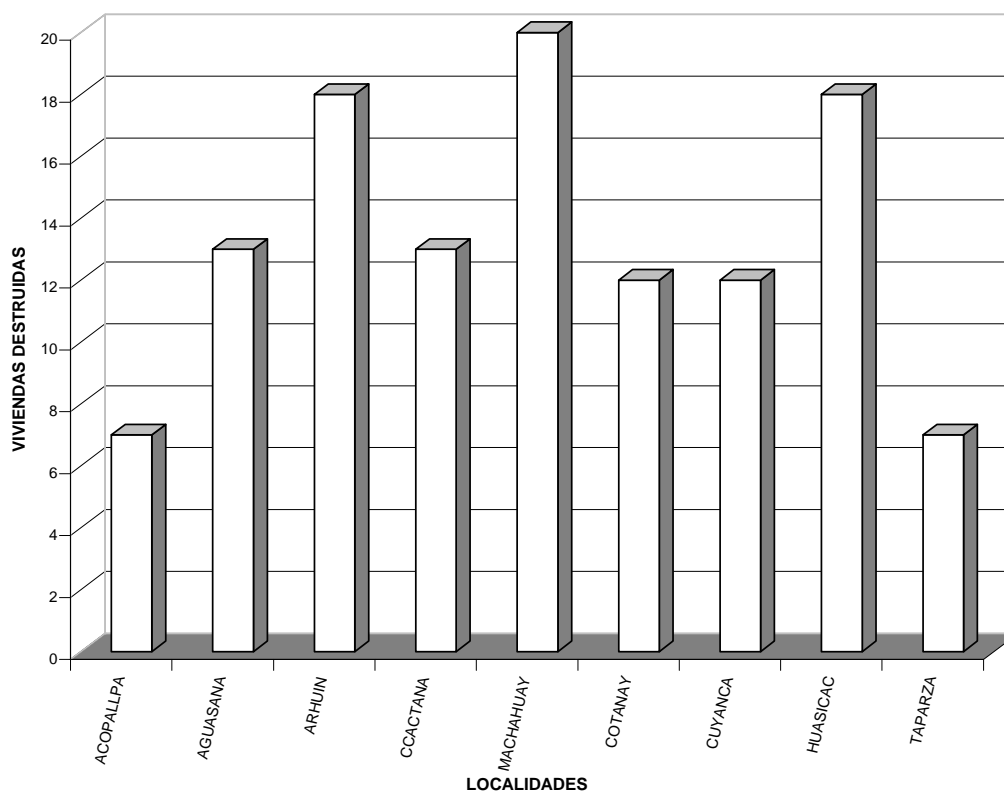
HISTOGRAMA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001
PROVINCIA DE CASTILLA DISTRITO DE MACHAGUAY



CUADRO 18
DISTRITO DE PAMPACOLCA (PROV. DE CASTILLA)

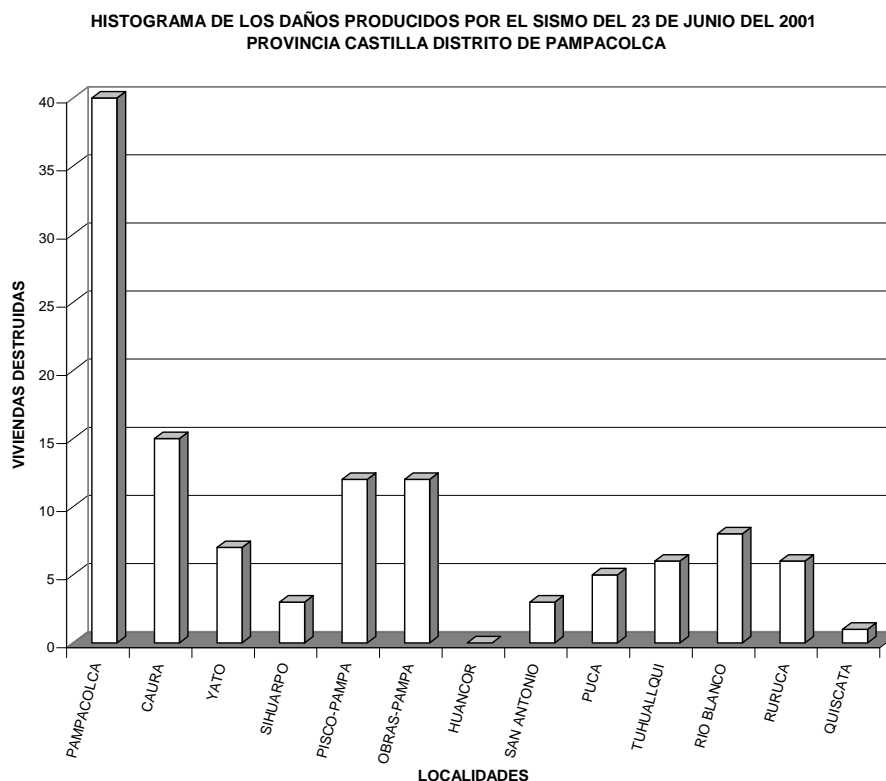
LOCALIDAD	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS INHABITABLES	VIVIENDAS CON RAJADURAS
PAMPACOLCA	40	65	178
CAURA	15	10	12
YATO	7	23	11
SIHUARPO	3	6	3
PISCO-PAMPA	12	23	13
OBRAS-PAMPA	12	3	6
HUANCOR	0	3	17
SAN ANTONIO	3	8	55

HISTOGRAMA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS POR EL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL 2001
PROVINCIA DE CASTILLA DISTRITO DE MACHAHUAY



PUCA	5	5	12
TUHUALQUI	6	8	11
RIO BLANCO	8	7	19
RURUCA	6	2	15

QUISCATA	1	2	15
----------	---	---	----



5.4 MAPA DE PELIGROS DEL SECTOR DE CASTILLA ALTA

En el mapa de peligros (Anexo E, P-9), se consigna la evaluación de algunas localidades de Castilla Alta; por inundaciones, deslizamiento y derrumbes, pendientes y activación de quebradas. Por efectos del sismo del 23 de junio, se ha logrado precisar diversos sectores con distintos grados de peligrosidad.

- Por efecto del sismo del 23 de junio

A consecuencia del sismo del 23 de junio, han sido afectadas principalmente las viviendas e iglesias de las localidades comprendidas en el presente estudio, relacionado directamente por la precariedad y antigüedad de las edificaciones (Fotos; 6 al 15).

En el paraje denominado Ambraja se produjo un deslizamiento de grandes proporciones (Fotos; 16 y 17) que obstruyó la carretera durante aproximadamente 20 días.

Deslizamientos en la carretera de Llato-Pampacolca en varios tramos y en la parte alta del poblado de Machahuay

Derrumbes menores en el talud inferior de la margen derecha e izquierda del río Taparza, que eventualmente podría en el futuro comprometer a los terrenos de cultivo.

Desprendimientos de fragmentos de rocas por la inestabilidad de los mismos; parte alta del poblado de Acopallpa

Deslizamientos en algunos sectores de la carretera hacia Arhuin.

- Inundaciones (avenidas extraordinarias)

El sector de Castilla Alta por su alto índice de precipitación siempre representa un peligro latente para los poblados que allí se ubican, la mayor peligrosidad radica en las partes bajas de los valles y quebradas que podrían ocasionar cortes de las carreteras y desestabilizar terrenos de cultivo (Anexo E, P- 2)

- Deslizamientos y derrumbes

En el tramo de la carretera Aplao-Tipan, cerca de la desembocadura de los Ríos Taparza y Capiza, se localizan deslizamientos, es previsible que los deslizamientos sean más frecuentes en relación con el sistema de precipitaciones e incidencia sísmica.

El poblado de Tagre es bastante estable, es susceptible de deslizamientos en la margen izquierda del río Llacllajo en el caso de una mayor erosión.

Deslizamiento en la carretera de ingreso al poblado de Arhuin (Foto 18) y por un factor de erosión de la quebrada Quiñual, derrumbes en Acopallpa que afectarían los terrenos de cultivo.

- Por pendientes

Debido a la pendiente y al tipo de roca volcánica existente hacia el lado este del pueblo de Pampacolca, este es susceptible a deslizamientos que podría comprometer al canal de regadío, tierras de cultivo y la carretera que une con la toma principal de agua.

- Por efectos de precipitación

Eventualmente por una precipitación mayor el pueblo de Arhuín por su ubicación podría ser afectado por huaycos, en los otros poblados por su topografía, tipo de techos y drenaje existentes no representa peligrosidad.

- Activación de quebradas

En la cuenca se ha localizado varias zonas donde se producen ingresos de agua y flujos de barro, por activación de quebradas (Anexo E, P-2) éstas son:

- Ambas márgenes del río Capiza: Huaycos periódicos y ocasionales y flujos de barro plásticos; principalmente en el sector de la carretera Aplao-Tipan cerca de la confluencia con el río Capiza.
- Quebrada Puente Viejo
- Quebrada de Andamayo
- Quebrada Jollpa

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- Las conclusiones están referidos de acuerdo a los resultados obtenidos mediante los métodos geofísicos (Sondaje Eléctrico Vertical, Refracción Sísmica), Geotecnia y Geológicos.

1. VIRACO

- Los suelos con mejores características de estabilidad son los ubicados en la parte alta del pueblo, es decir al Oeste.
- Los suelos medianamente densos se sitúan en la parte central y baja de Viraco, (al Sur y Oeste de la Plaza de Armas).
- Los suelos menos densos (que correspondería a suelos agrícolas) se encuentran ubicados en la parte baja del pueblo, en las cercanías de la plaza de toros

- A consecuencia del terremoto del 23 de junio, se han registrado daños leves a moderados en algunas viviendas precarias construido con adobe.
- Por el método de *resistividades*, también se han determinado que en superficie presenta una pequeña cobertura de 3 metros de espesor con diferentes grados de humedad.
- De acuerdo al análisis *Geotécnico*, a los suelos de Viraco se los ha caracterizado como suelos de Tipo II, con valores de capacidad portante comprendidas hasta 2.00 Kg./cm²

2. MACHAHUAY

- En este lugar los suelos se encuentran distribuidos casi uniformemente, de allí que los valores de velocidades sísmicas y espesores encontrados son coincidentes.
- Los suelos son medianamente densos con una relativa estabilidad.
- El sismo del 23 de junio de 2001 ocasionó el colapso de parte de la Iglesia como de algunas viviendas y también se han registrado grietas en algunas estructuras.
- Los mayores efectos por el sismo se dieron en los poblados anexos al distrito, fundamentalmente por la precariedad de sus viviendas como es el caso de Arhuín.
- De acuerdo al método de resistividad, se ha determinado que los materiales superficiales se han depositado de acuerdo a la geomorfología existente, presentando mayor relleno en la parte baja del poblado, estos suelos son relativamente estables ya que no presenta estructuras con características acuíferas que descansen sobre el basamento rocoso.
- De acuerdo al análisis *Geotécnico*, la localidad de Machahuay se lo ha caracterizado como Suelos de Tipo II, con una capacidad portante de hasta 2.00 kg./cm²

3. TURPAITO ANEXO DE VIRACO

- Son suelos estables y por su ubicación representa una zona de bajo peligro.
- Las familias damnificadas han sido reubicadas en un sector donde parte de los suelos es un relleno (suelos inestables), cuya utilización con fines de vivienda requiere una planificación y estudio.
- Mediante el análisis *Geotécnico*, los suelos de ésta localidad se han determinado como suelos de tipo III, con valores de capacidad portante iguales a 2.00 kg./cm².

4. LOCALIDAD DE TAGRE ANEXO DE TIPAN

- Las velocidades sísmicas encontradas en este sector son compatibles con suelos medianamente densos y de relativa estabilidad.
- De acuerdo al análisis *Geotécnico* los suelos se los ha clasificado como Suelos Tipo II, con valores de capacidad portante del orden de 2.00 kg./cm².
- Esta localidad no presenta peligros mayores.

5. LOCALIDAD DE TIPAN

- Mediante el análisis *Geotécnico*, se han determinado los suelos como Tipo I, con valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg./cm²

6. PAMPACOLCA

- Son suelos relativamente estables.
- De acuerdo al método de resistividades se ha encontrado que los suelos constituidos por materiales de origen aluvio-proluvional. Superficialmente presenta una estructura con características acuíferas de 1.5 metros, también se ha determinado otra estructura acuífera principal a una profundidad de 25 metros en promedio. El basamento rocoso estaría constituido por materiales de origen volcánico.
- De acuerdo al análisis Geotécnico se ha determinado como suelos de Tipo II, con valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg./cm²

7. LOCALIDAD DE ARHUIN

- De acuerdo al análisis *Geotécnico*, los suelos se los ha clasificado como suelos de Tipo II, con una capacidad portante igual a 2.00 kg./cm²

8. RECOMENDACIONES

- Se ha determinado que los daños han sido principalmente por la antigüedad de las construcciones y la precariedad de las construcciones, para lo cual se recomienda un adecuado sistema de construcción, con un control y dirección técnica profesional, así las edificaciones deberán guardar una simetría arquitectónica y estructural con la finalidad de atenuar los efectos que pudieran causar las solicitaciones dinámicas causadas por un sismo de severas condiciones.
- Profundizar los estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos de los anexos del Distrito de Machahuay con la finalidad de precisar los diferentes peligros de esas localidades

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.
- Bellido B. Geología del Cuadrángulo de Moquegua Hoja 35-u (Boletín N° 15- Carta Geológica Nacional- INGENMET), 1979.
- 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 faultly 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.
 - 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 Geoeléctrico 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 Geoeléctrico y Sísmico de la zona Cutanayo Pochi*. Arequipa. Octubre 1991 Instituto Geofísico de la UNSA.
 - Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros *Estudio Geoeléctrico y Sísmico de la zona de Chalhuanca*. Arequipa. Noviembre 1991.
 - Kosaka M. Soto V. Minaya L. y otros *Estudio Geoeléctrico 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 Geoeléctrico del Sector San Sebastián, Reservorio R- 10 Qosqo*. Arequipa. Noviembre 1994.
 - Kosaka M. Soto V. Minaya L. *Estudio de Refracción Sísmica y Geoeléctrico del Sector Kenkoro Pata, Reservorio R- 12 en el Distrito de San Jerónimo Qosqo*. Arequipa. Noviembre 1994.
 - Kosaka M. Soto V. Palza A-B. Minaya L. *Estudio Geofísico en las Lagunas de Comercocha 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.
 - Narvaez S. *Geología del Cuadrángulo de Ilo y Locumba Hoja 36-t y 36-u (Boletín N° 7-Carta Geológica Nacional- INGENMET)*, 1964.
 - 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.

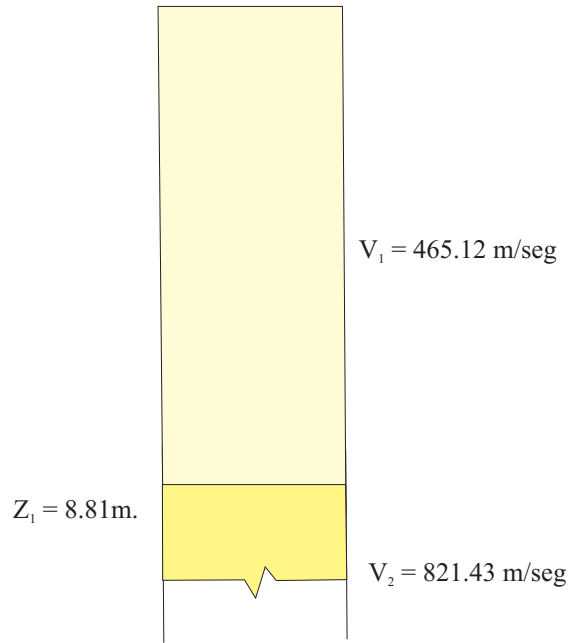
- Resumen Ejecutivo. Planes de Mitigación de los Efectos producidos por los Desastres Naturales, Programa de Ciudades Sostenibles-I Etapa. Lima, octubre, 2000.
- Smoll L., Zavala C. Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Camaná-Majes (Colca) Boletín N°14 INGENMET, Lima diciembre 1994
- Ticona, J., 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

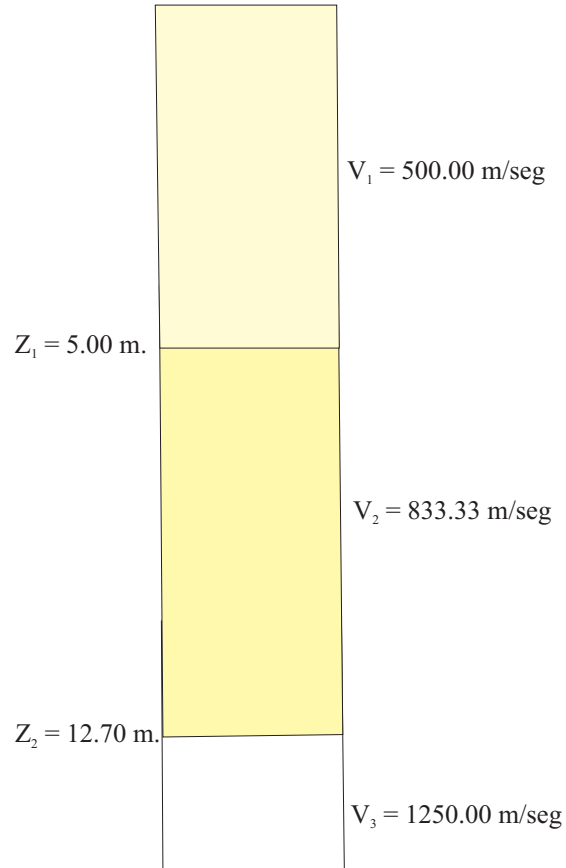
A. LISTA DE PERFILES SISMICOS

1. Perfil sísmico, Calle Tacna y Arica
2. Perfil sísmico, Calle La Marina
3. Perfil sísmico, Colegio
4. Perfil sísmico, Calle José Olaya
5. Perfil sísmico, Calle Siglo XX, 5ta cuadra
6. Perfil sísmico, Calle 28 de julio
7. Perfil sísmico, Calle Comercio, 5ta cuadra
8. Perfil sísmico, Calle Paz Soldán

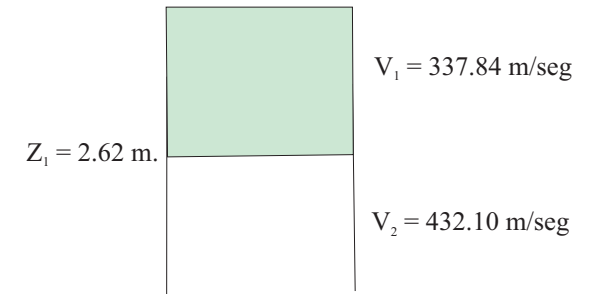
**VIRACO - 1
(Calle Tacna y Arica)**






**VIRACO - 2
(Calle La Marina)**



**VIRACO - 3
(Colegio)**





Leyenda

-  Materiales coluviales y proluviales
-  Material coluvial y proluvial más compacto
-  Material coluviales y proluviales medianamente densos con bloques de rocas volcánicas

$Z_1 \dots =$ Profundidad

$V_1 \dots =$ Velocidad

Leyenda

-  Suelos agrícolas con contenido de arena y limo
-  Suelos agrícolas con contenido de arena y limo algo más compacto

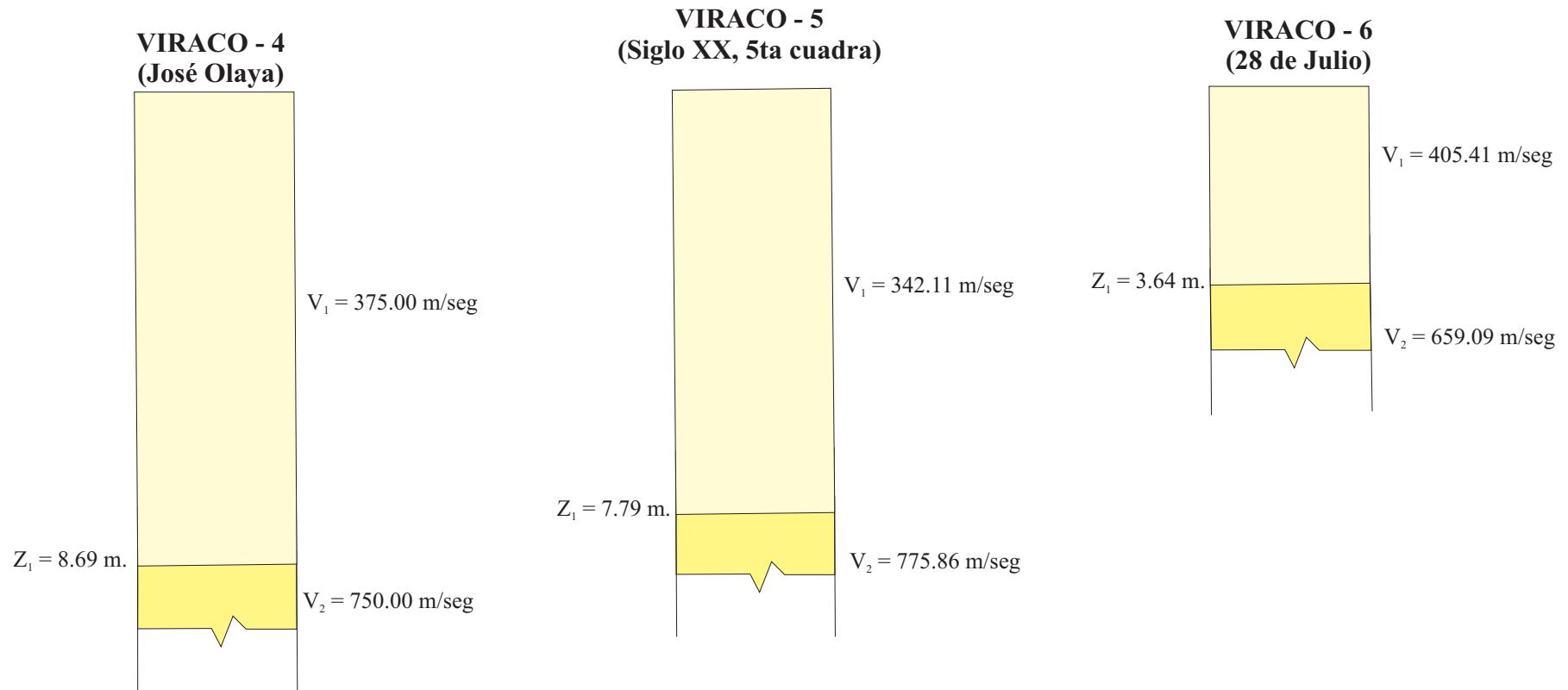


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI**

**COLUMNA SÍSMICA
DE VIRACO**

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1a



Leyenda

- Materiales coluviales y proluviales
- Materiales coluviales y proluviales algo más compacto

$Z_1 \dots =$ Profundidad

$V_1 \dots =$ Velocidad



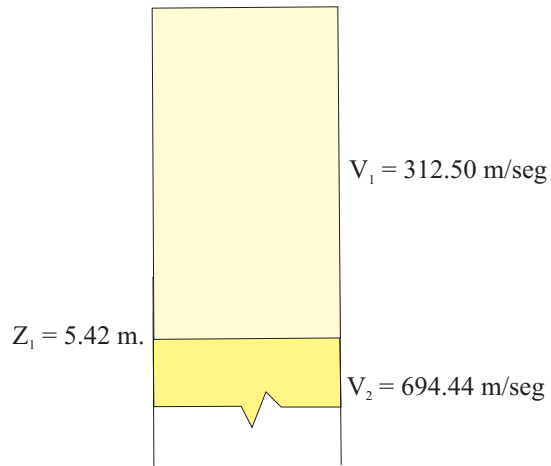
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SISMICA
DE VIRACO

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1b

**VIRACO - 7
(Calle Comercio 5ta cuadra)**

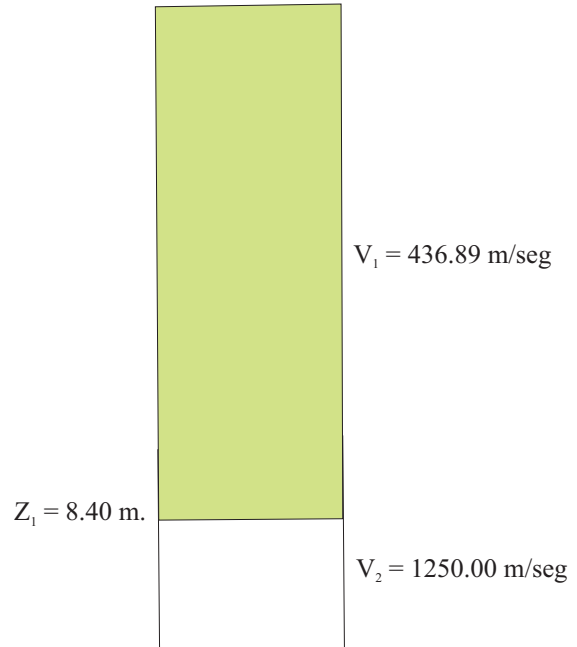


Leyenda

- Materiales coluviales y proluviales
- Materiales coluviales y proluviales algo más compacto

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

**VIRACO - 8
(Paz Soldán)**



Leyenda

- Materiales areno-limosos y proluviales
- Bloques volcánicos tobáceos

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



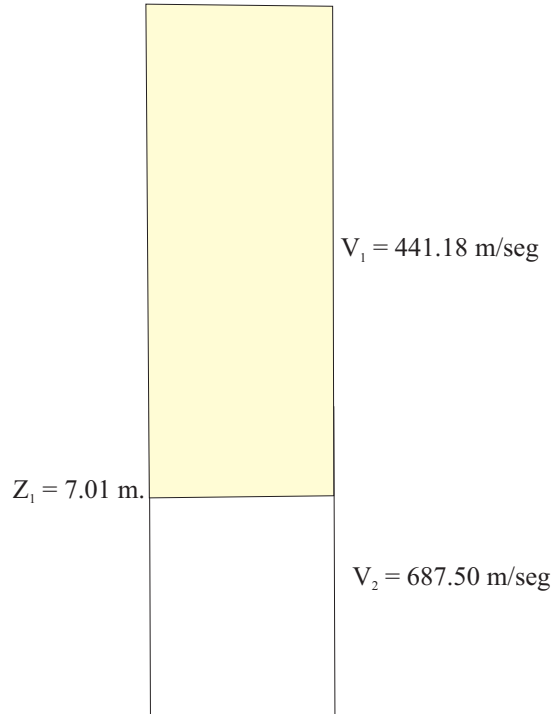
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
 INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
 CONVENIO UNSA INDECI**

**COLUMNA SÍSMICA
 DE VIRACO**

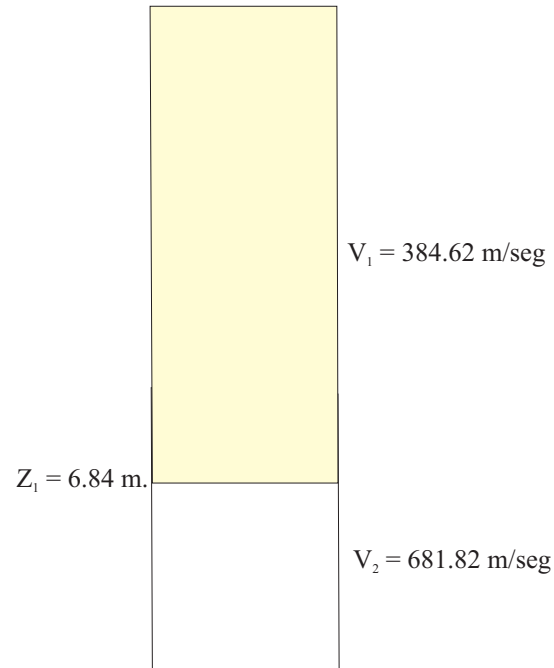
Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1c

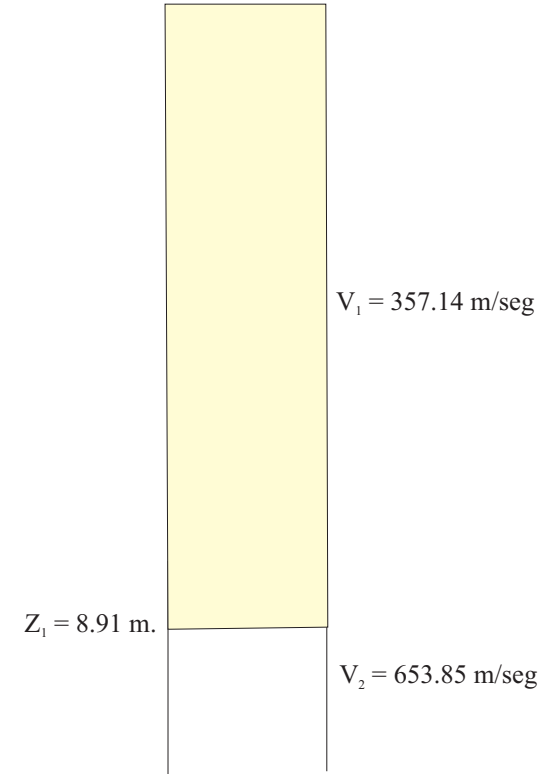
**MACHAHUAY - 1
(Calle Centenario)**





**MACHAHUAY - 2
(Calle Ramón Castilla)**



**MACHAHUAY - 3
(Calle Tupac Amaru)**



Leyenda

-  Materiales proluviales y coluviales
-  Materiales proluviales y coluviales algo más compacto

$Z_1 \dots =$ Profundidad

$V_1 \dots =$ Velocidad



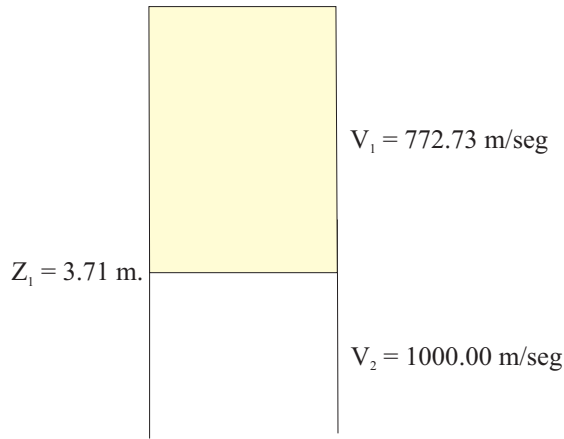
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SÍSMICA
DE MACHAHUAY

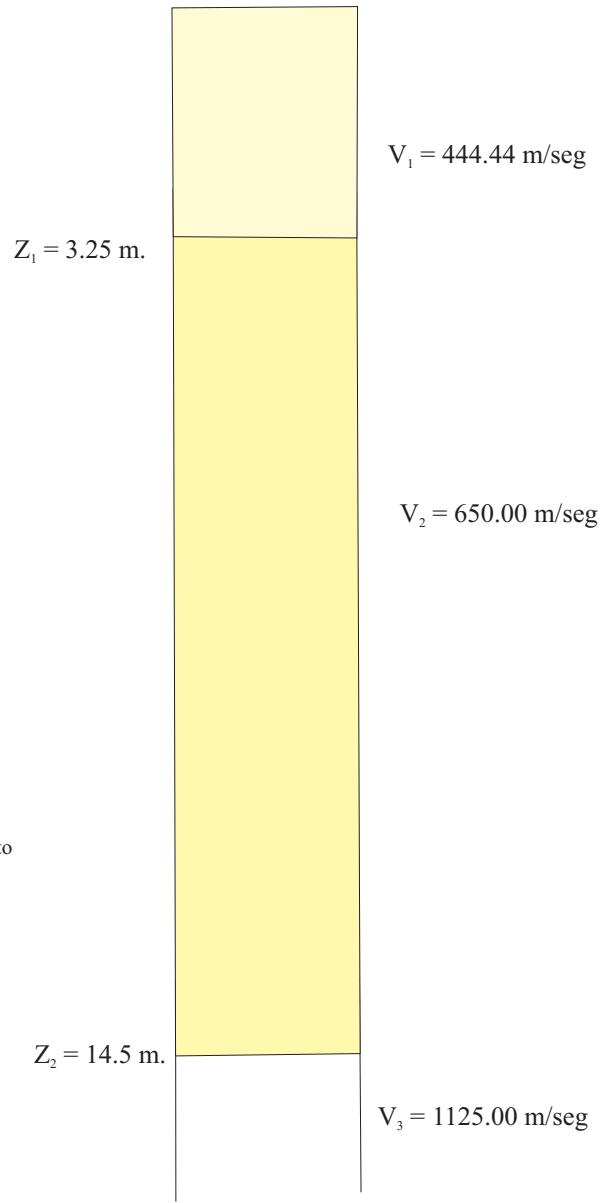
Fecha: enero, 2002

Fig. N° 2



**TURPAITO
(Anexo de Viraco)**



**TAGRE
(Anexo de Típan)**






Leyenda

-  Material coluvial y proluviales
-  Material coluvial y proluviales pero algo más compacto

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

Leyenda

-  Material proluvial
-  Material proluvial pero algo más compacto
-  Substrato algo compacto

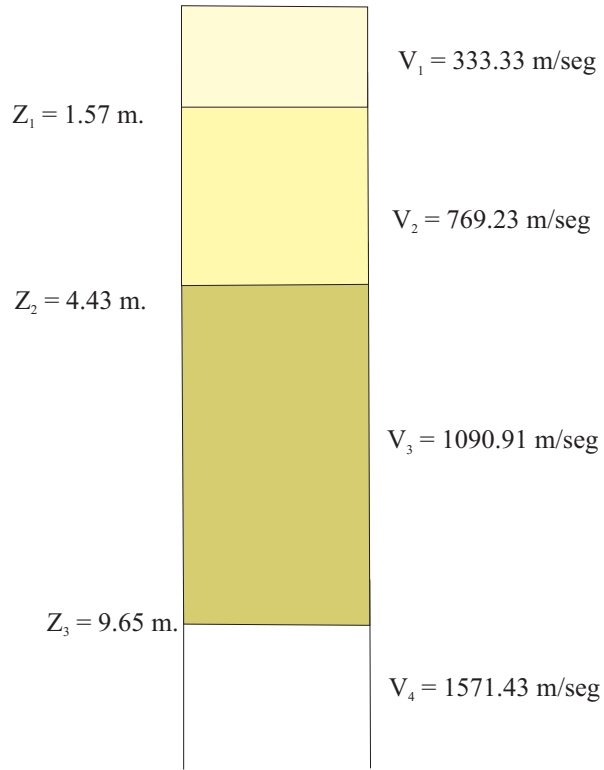
$Z_1 \dots$ = Profundidad
 $V_1 \dots$ = Velocidad



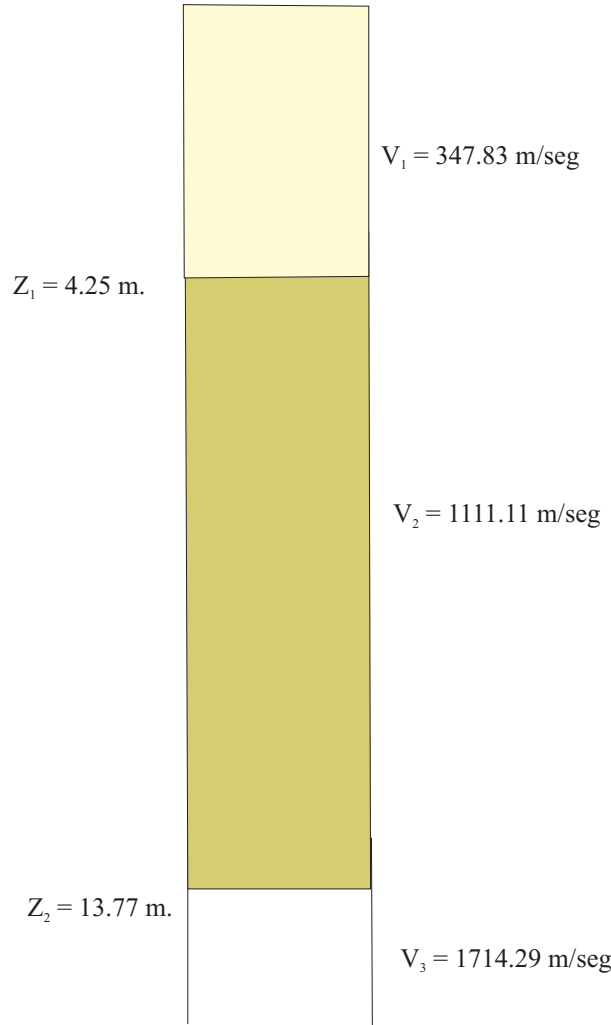
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
 INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
 CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SÍSMICA DE
 TURPAITO Y TAGRE

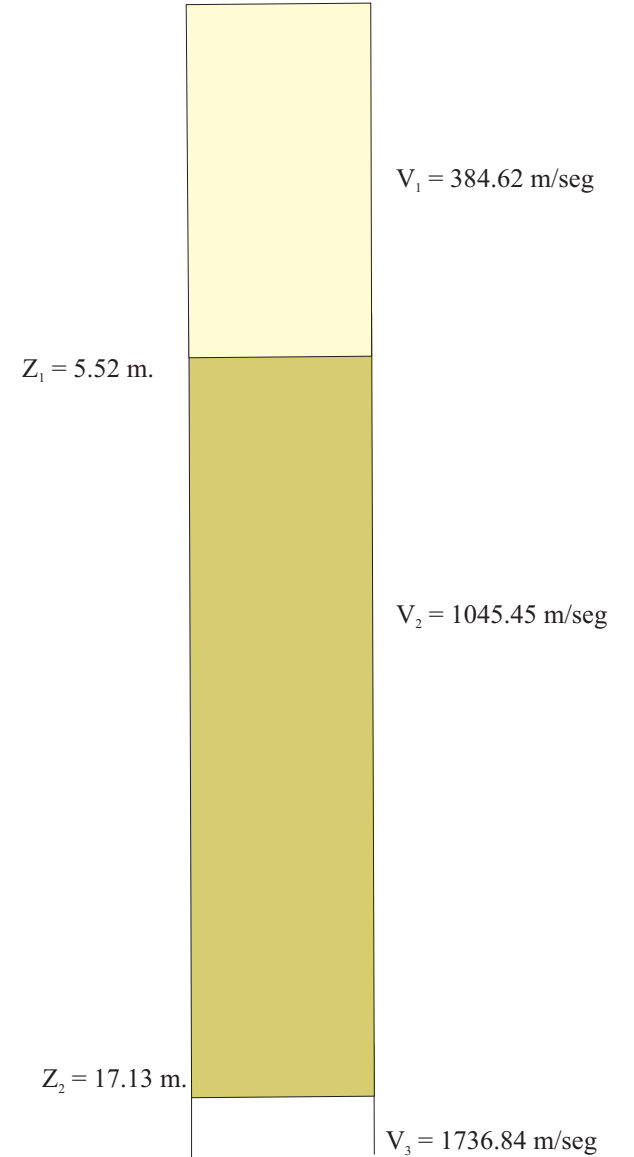
PAMPACOLCA - 1
(Calle 2 de Mayo - Independencia)



PAMPACOLCA - 2
(28 de Julio 5ta cuadra)



PAMPACOLCA - 3
(Calle Desamparados)



Leyenda

- Materiales proluviales
- Materiales proluviales pero algo más compacto
- Gravas con cantos angulosos
- Gravas con cantos angulosos pero algo más compactos

$Z_1 \dots =$ Profundidad

$V_1 \dots =$ Velocidad



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

COLUMNA SISMICA
DE PAMPACOLCA

B. LISTA DE COLUMNAS SISMICAS

1a. COLUMNA SISMICA DE VIRACO

- Calle Tacna y Arica
- Calle La Marina
- Colegio

1b. COLUMNA SISMICA DE VIRACO

- Calle José Olaya
- Calle Siglo XX, 5ta cuadra
- Calle 28 de julio

1c. COLUMNA SISMICA DE VIRACO

- Calle Comercio 5ta cuadra
- Calle Paz Soldán

2. COLUMNA SISMICA DE MACHAHUAY

- Ingreso al poblado
- Calle Ramón Castilla
- Calle Tupac Amaru

3. COLUMNA SISMICA DE TURPAITO Y TAGRE

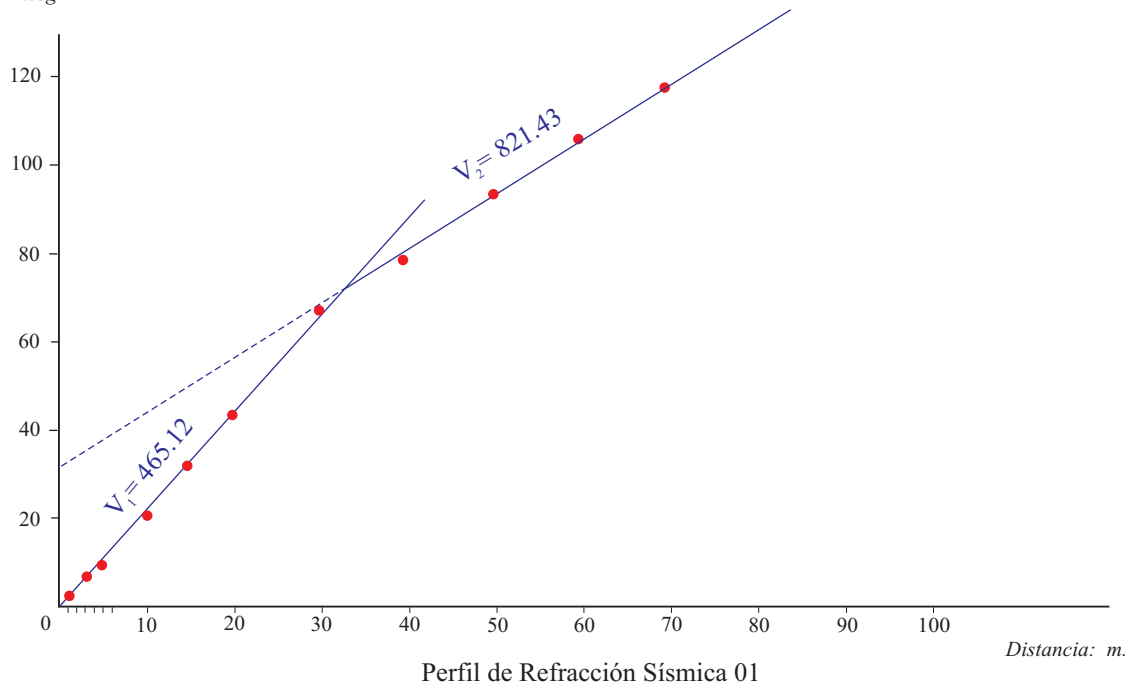
- Turpaito (Anexo de Viraco)
- Tagre (Anexo de Tipan)

4. COLUMNA SISMICA DE PAMPACOLCA

- Calle 2 de mayo
- Calle 28 de julio, 5ta cuadra
- Calle Desamparados

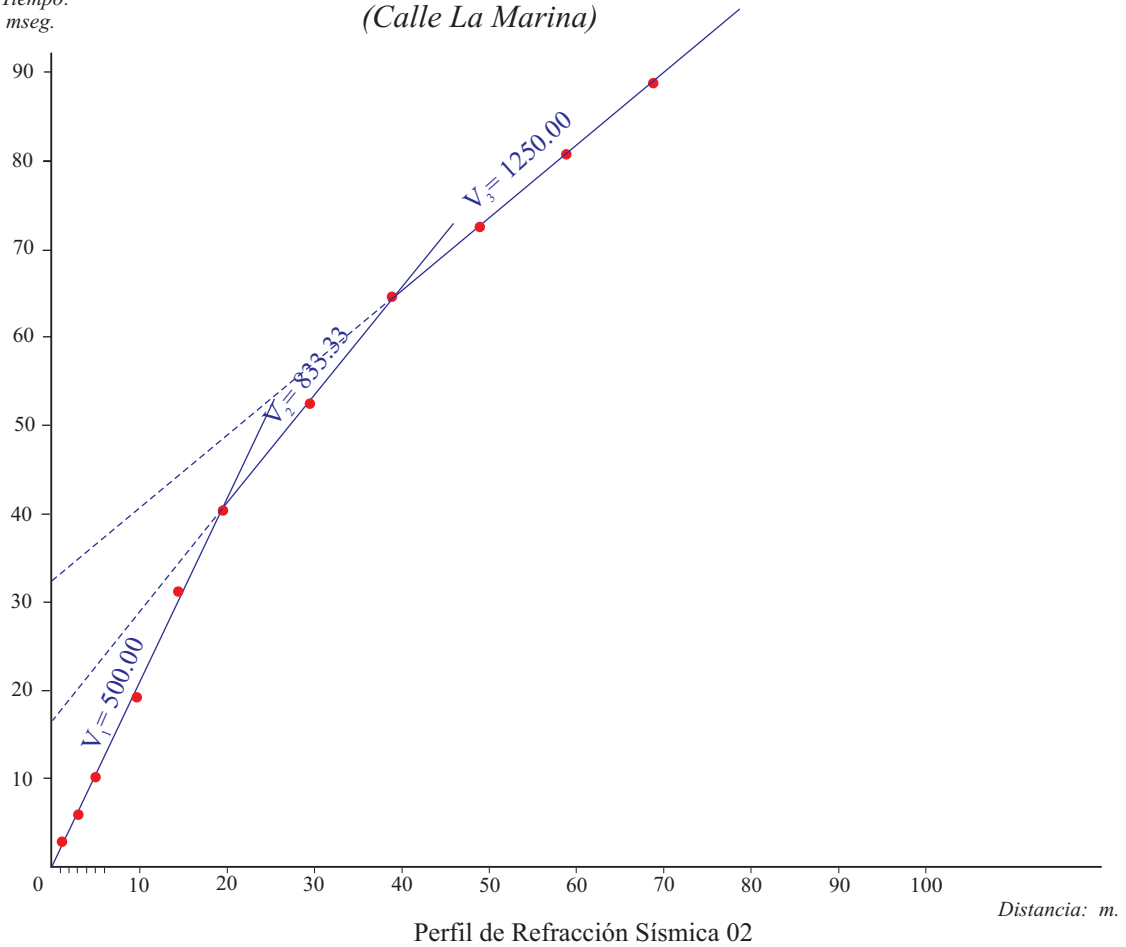
VIRACO - 1
(Calle Tacna y Arica)

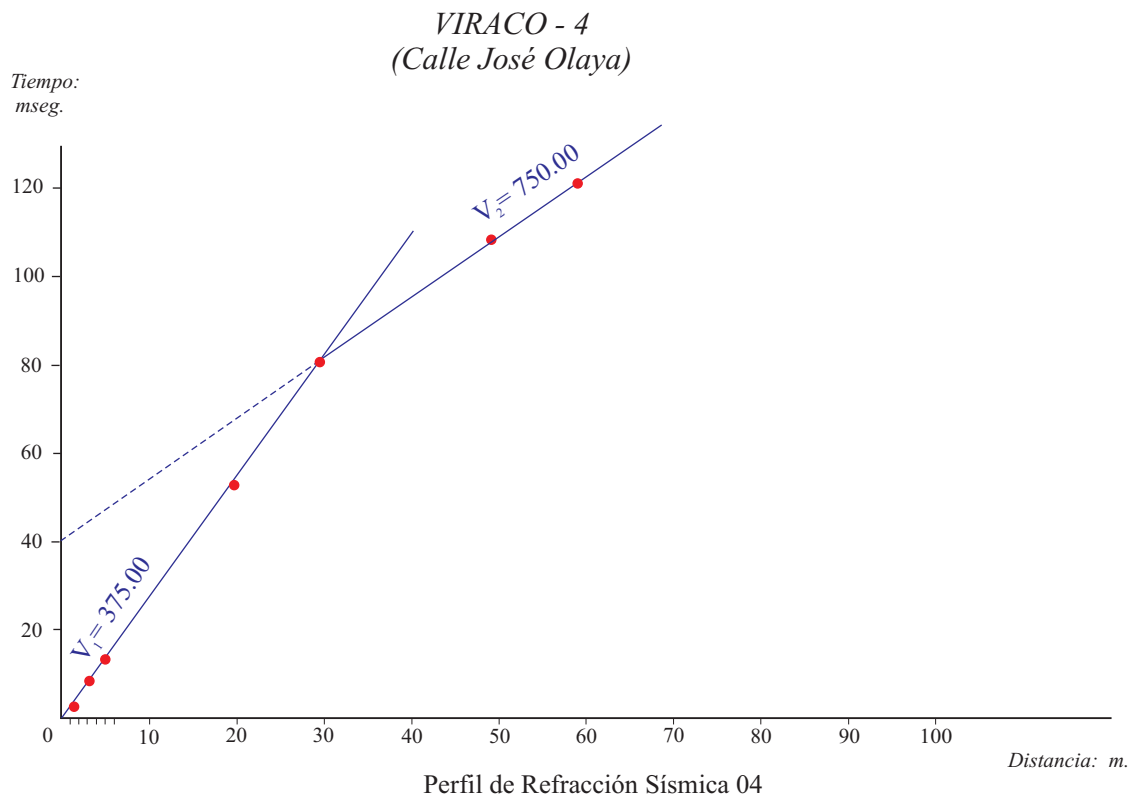
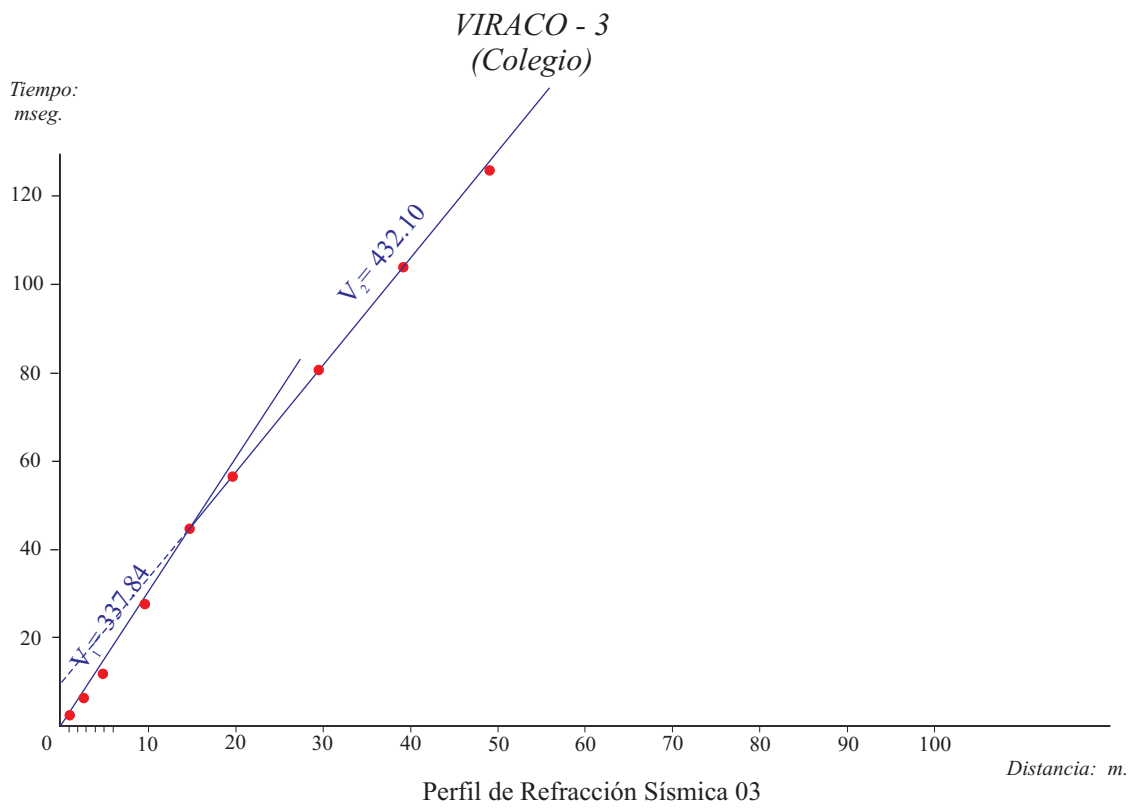
Tiempo:
mseg.

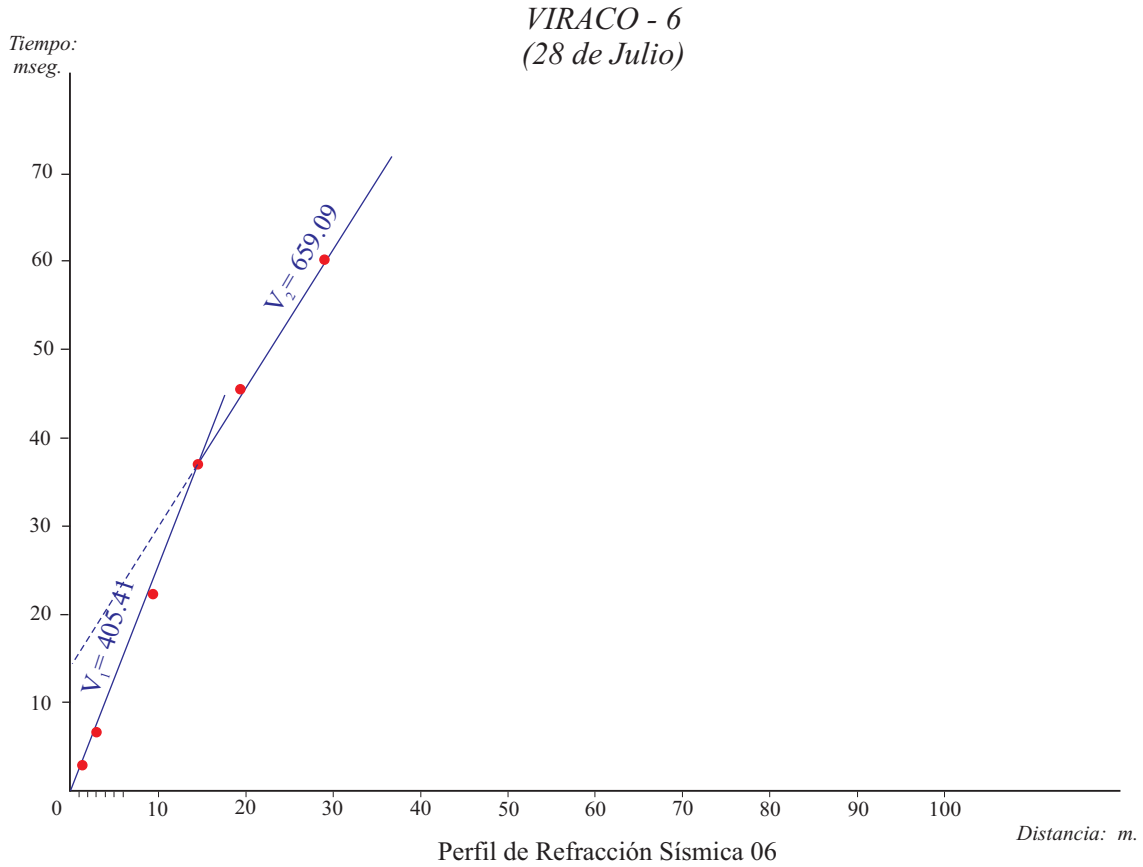
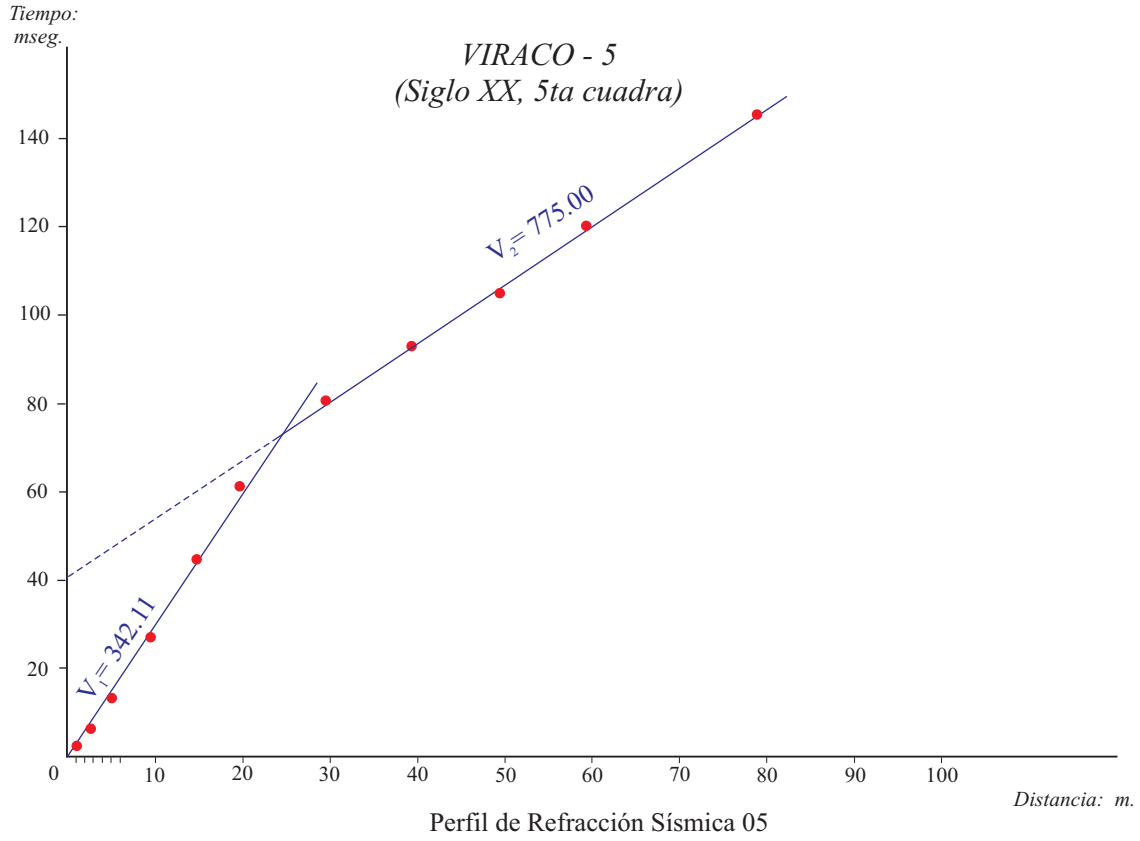


VIRACO - 2
(Calle La Marina)

Tiempo:
mseg.

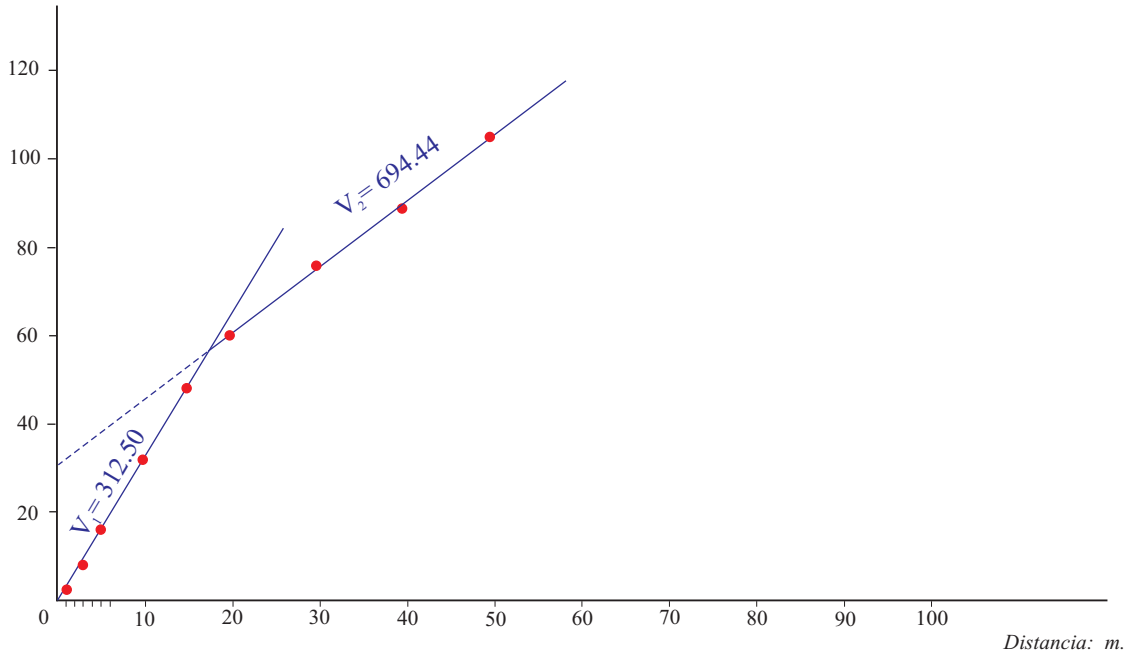






VIRACO - 7
(Calle Comercio 5ta cuadra)

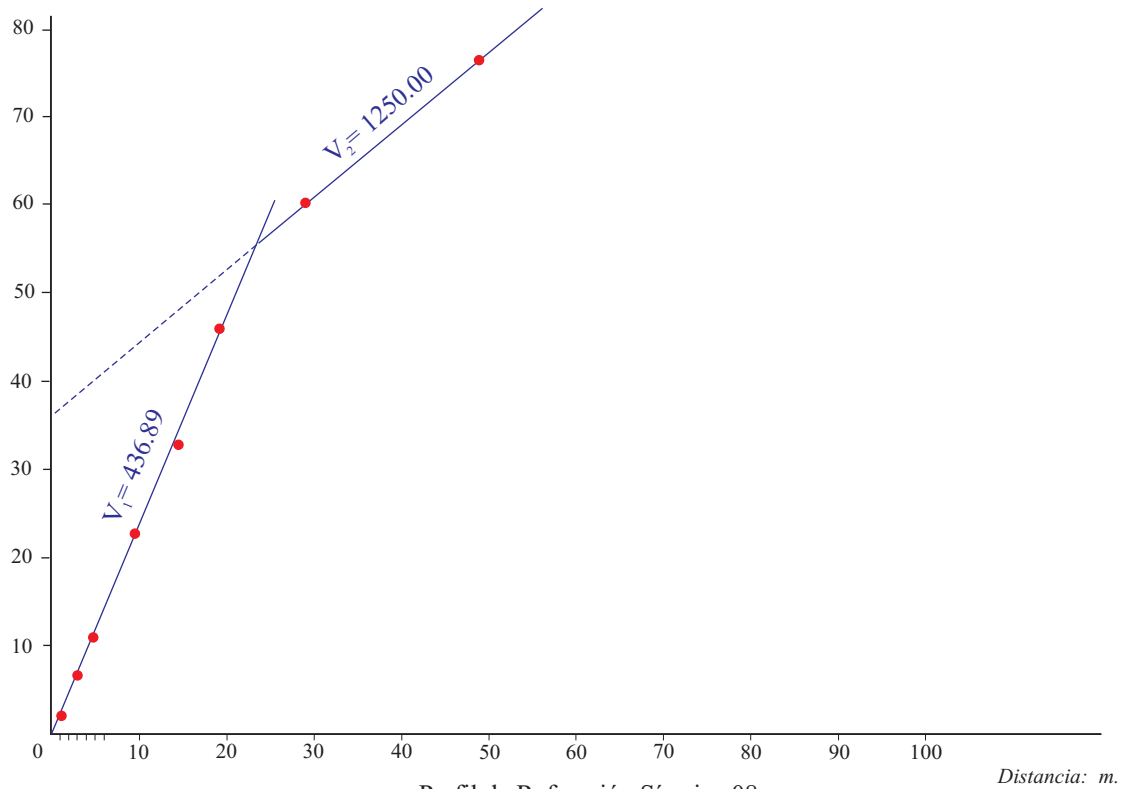
Tiempo:
mseg.



Perfil de Refracción Sísmica 07

VIRACO - 8
(Paz Soldán)

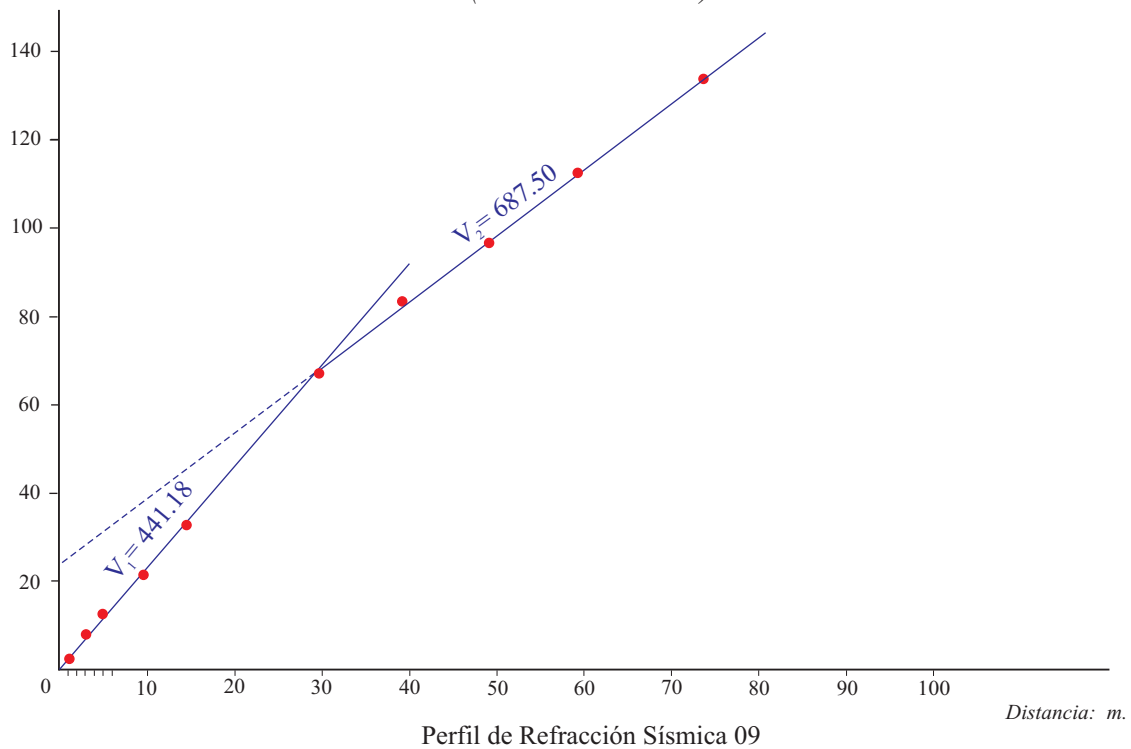
Tiempo:
mseg.



Perfil de Refracción Sísmica 08

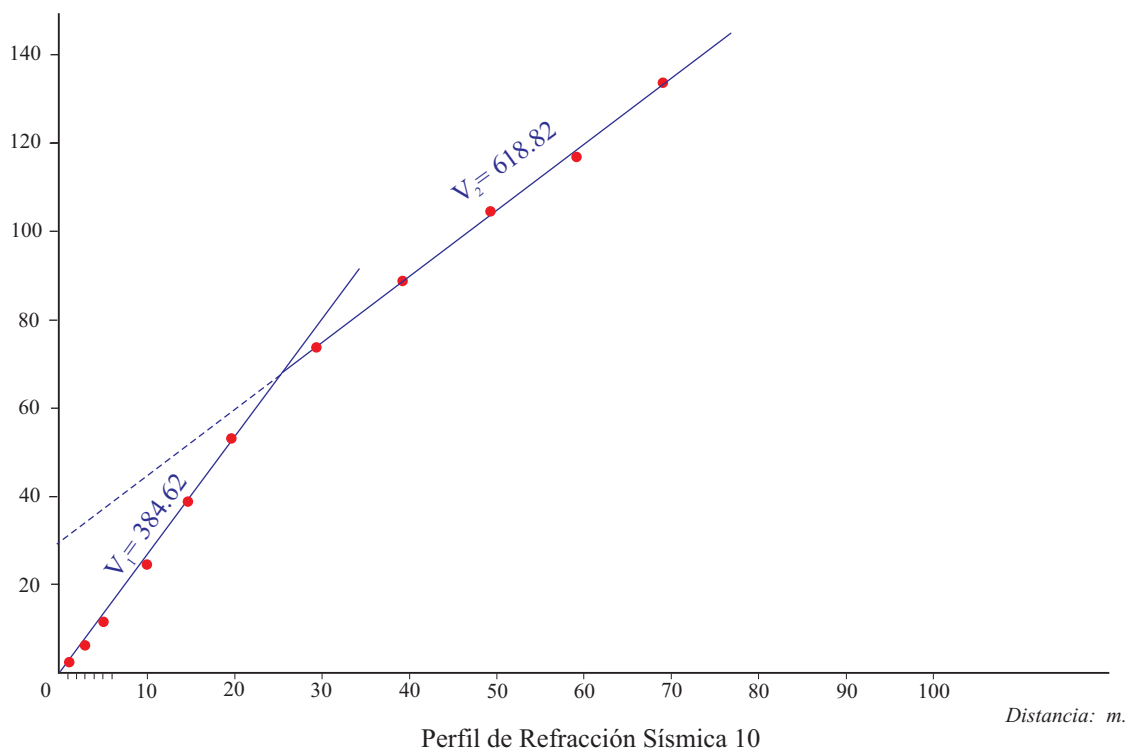
Tiempo:
mseg.

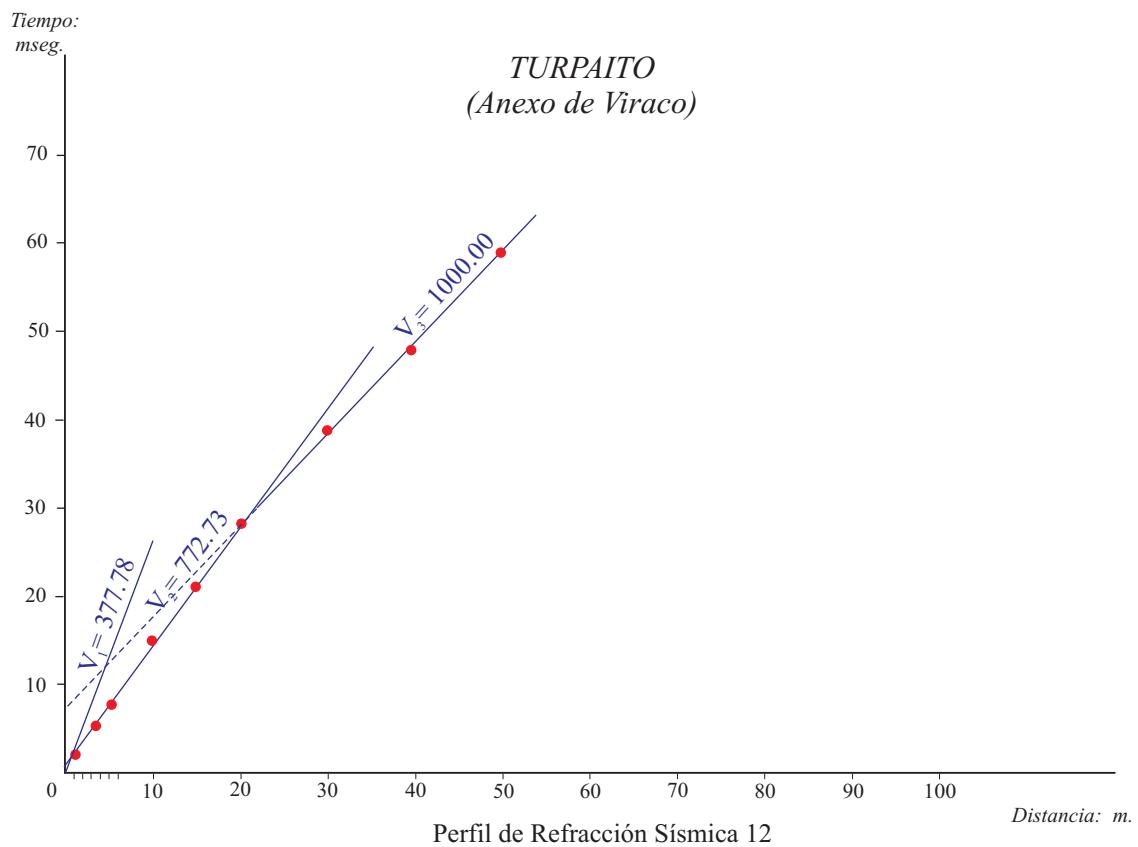
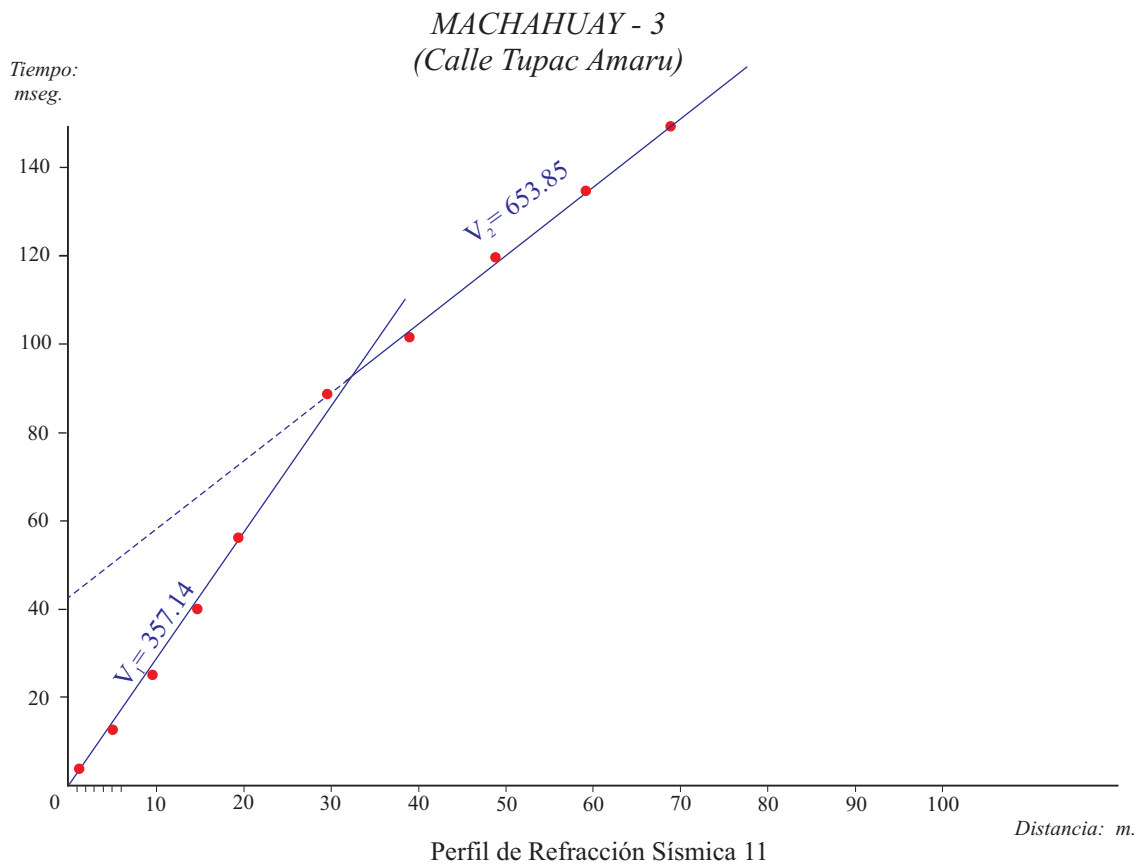
MACHAHUAY - 1 (Calle Centenario)



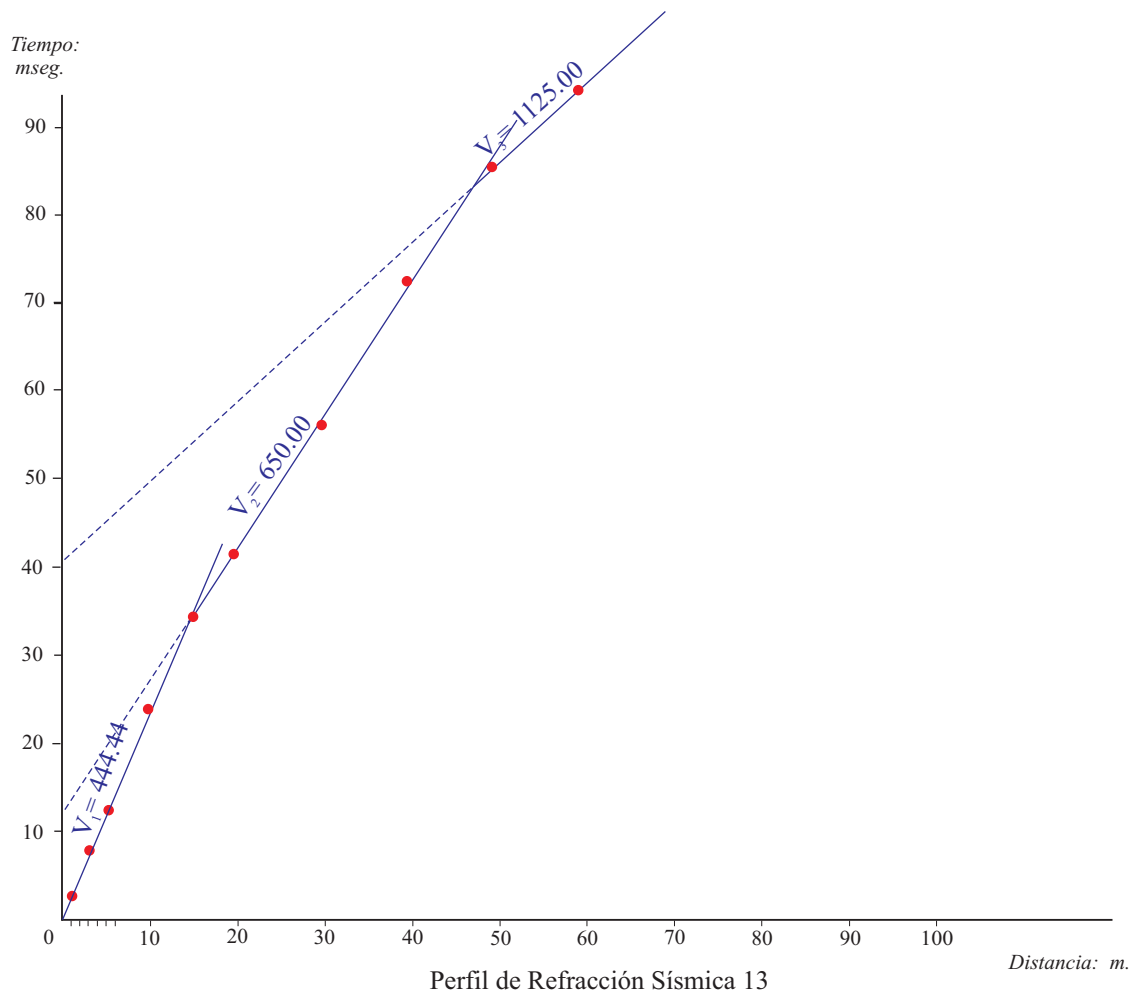
Tiempo:
mseg.

MACHAHUAY - 2 (Ramón Castilla)

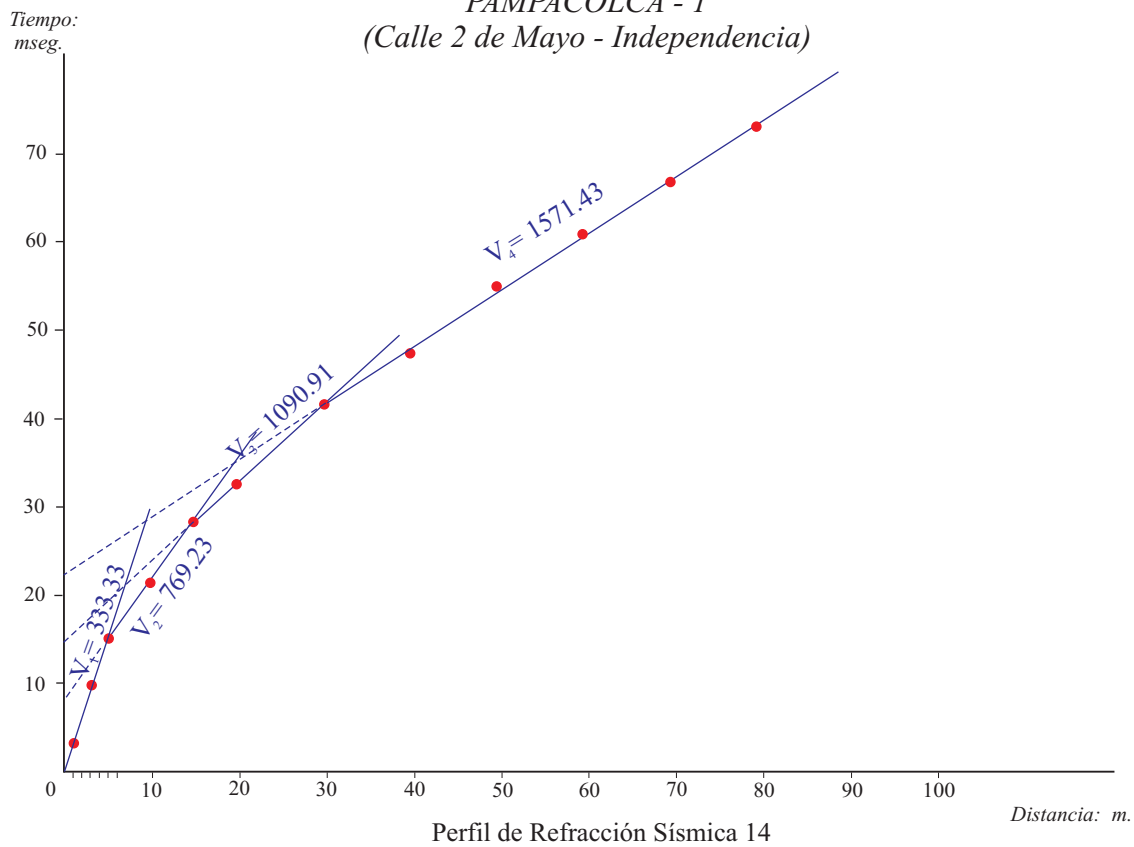




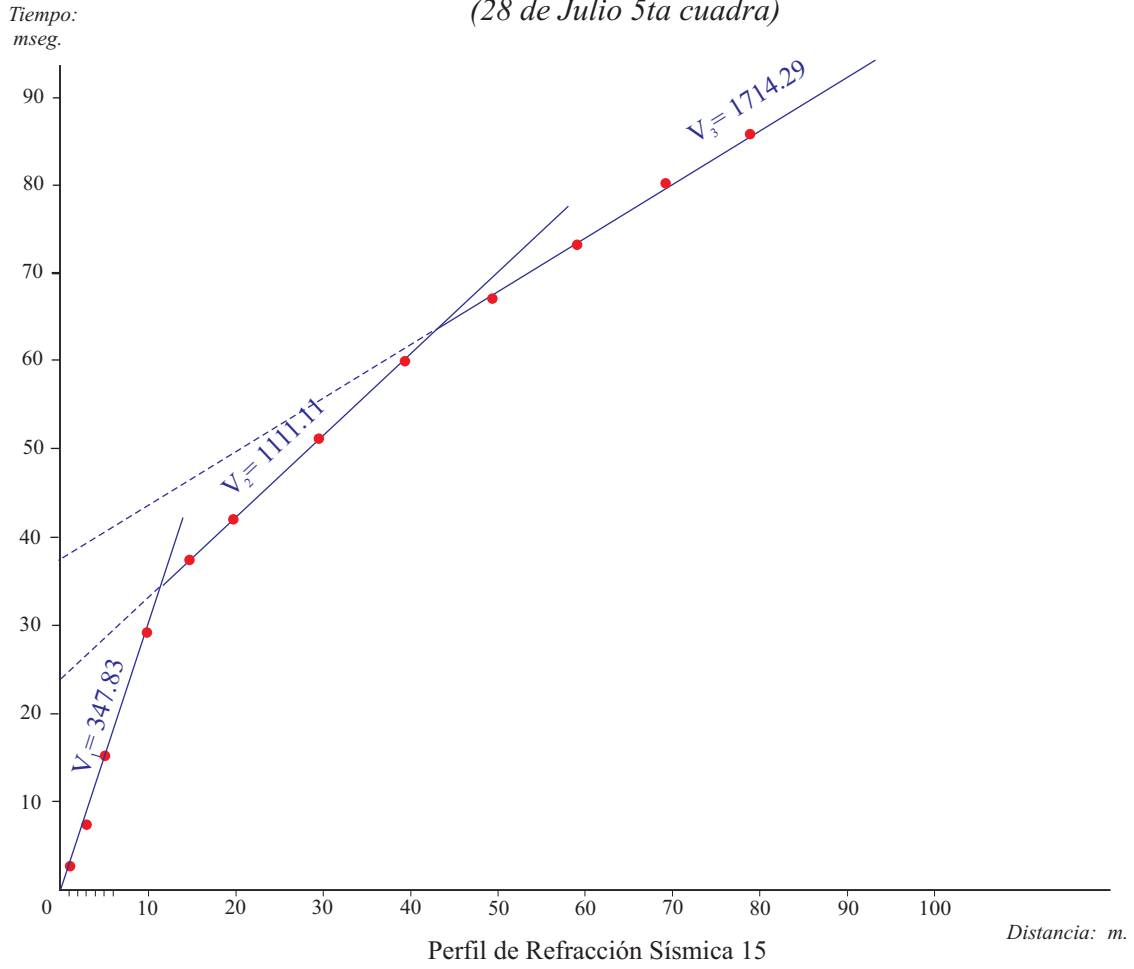
TAGRE
(Anexo de Típan)



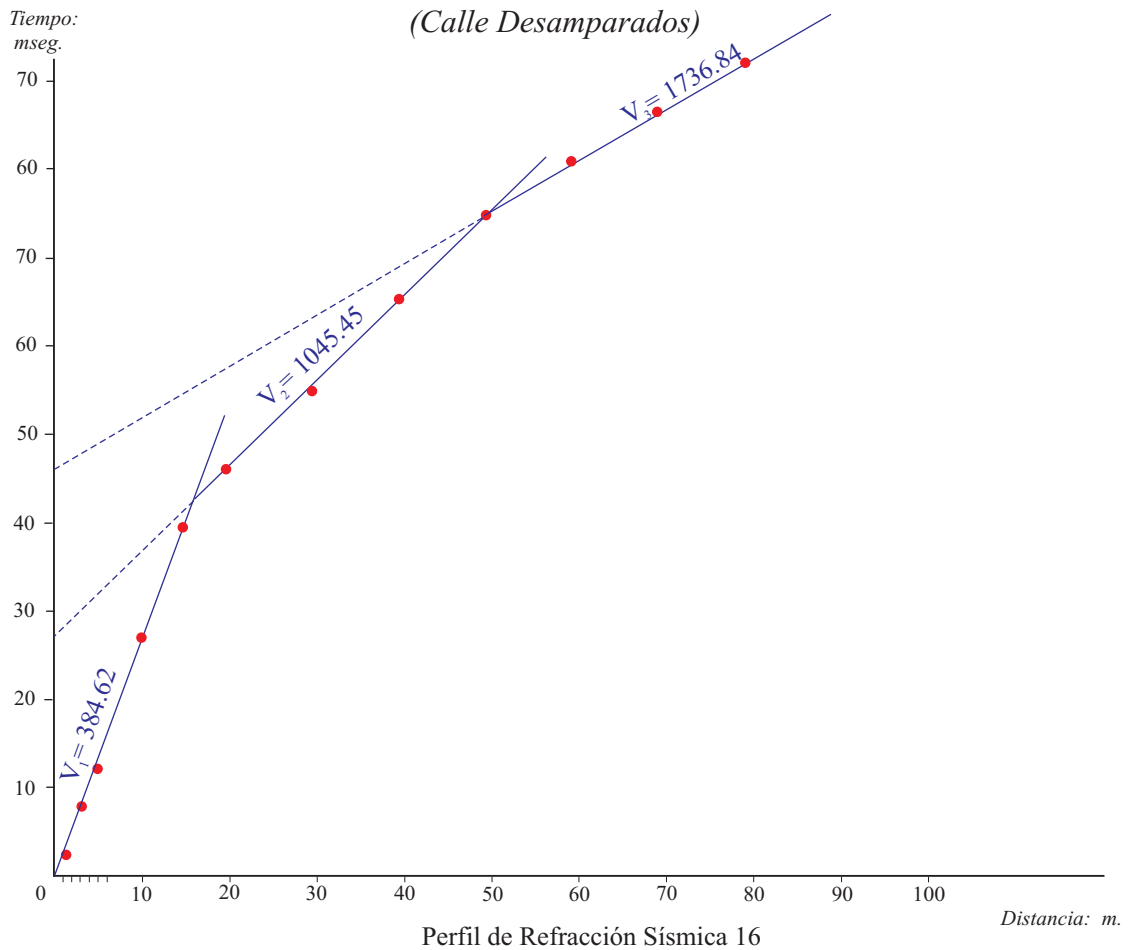
PAMPACOLCA - 1
(Calle 2 de Mayo - Independencia)



PAMPACOLCA - 2
(28 de Julio 5ta cuadra)



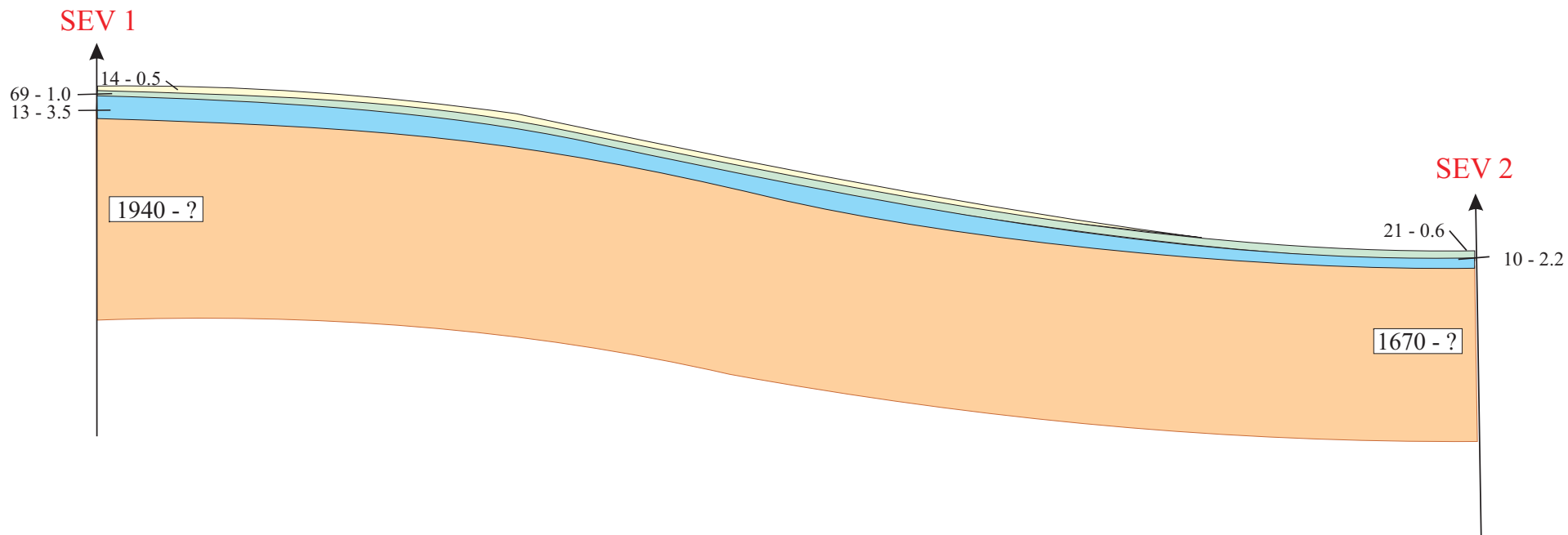
PAMPACOLCA - 3
(Calle Desamparados)



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

1. PERFIL GEOELECTRICO LONGITUDINAL DE VIRACO
2. PERFIL GEOELECTRICO LONGITUDINAL DE MACHAHUAY
3. PERFIL GEOELECTRICO DE PAMPACOLCA

PERFIL GEOELECTRICO DE VIRACO



LEYENDA

- Material de origen proluvial (húmedo)
- Material de origen proluvial (poco húmedo)
- Material de origen aluvio - proluvial (húmedo)
- Basamento rocoso de origen volcánico

38 - 76

Resistividad Espesor



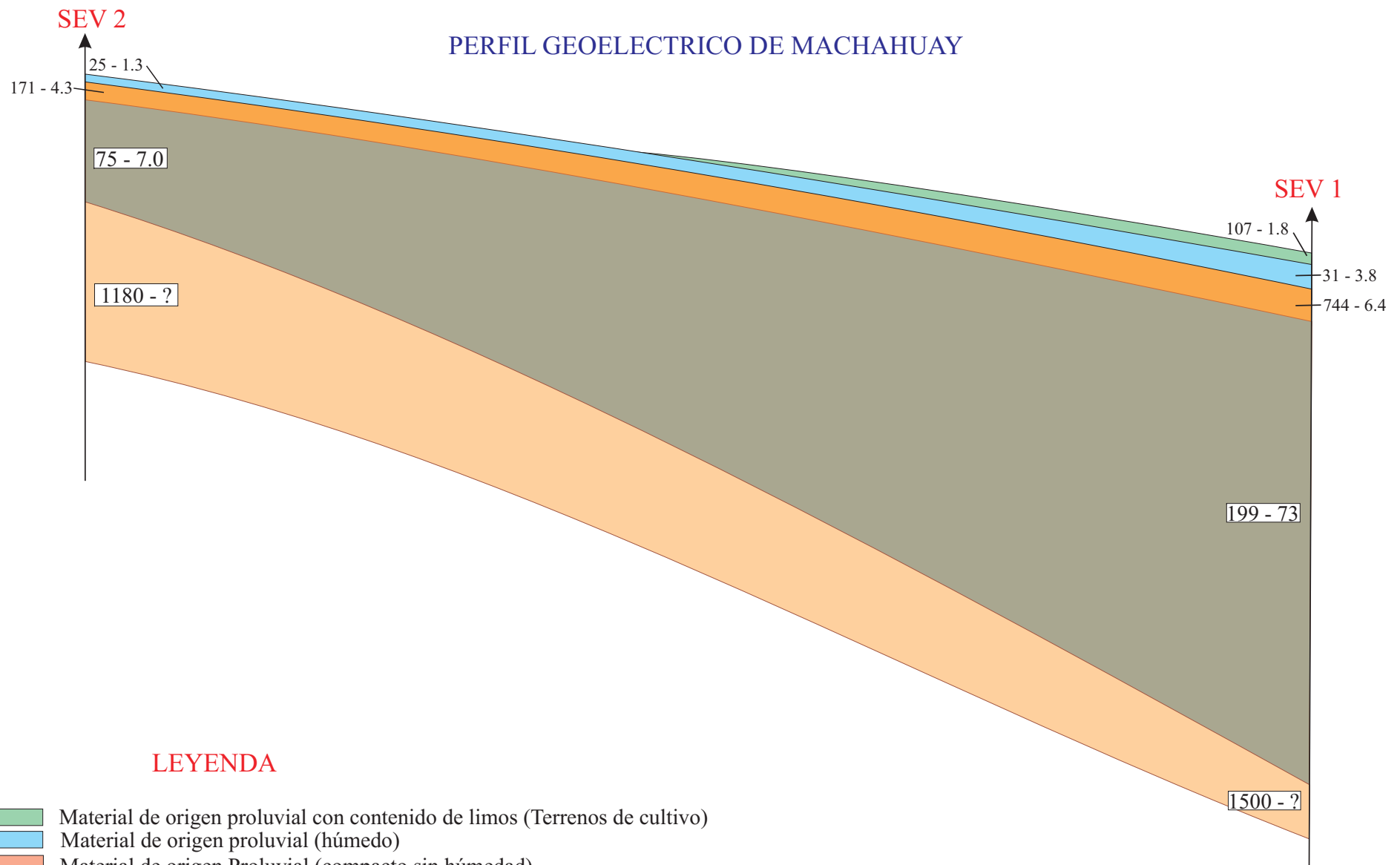
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

PERFIL GEOELECTRICO
 LONGITUDINAL DE VIRACO

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 1

PERFIL GEOELECTRICO DE MACHAHUAY



LEYENDA

- Material de origen proluvial con contenido de limos (Terrenos de cultivo)
- Material de origen proluvial (húmedo)
- Material de origen Proluvial (compacto sin humedad)
- Material de origen aluvio-proluvional (humedo)
- Basamento rocoso de origen volcánico

75 - 7.0

Resistividad Espesor



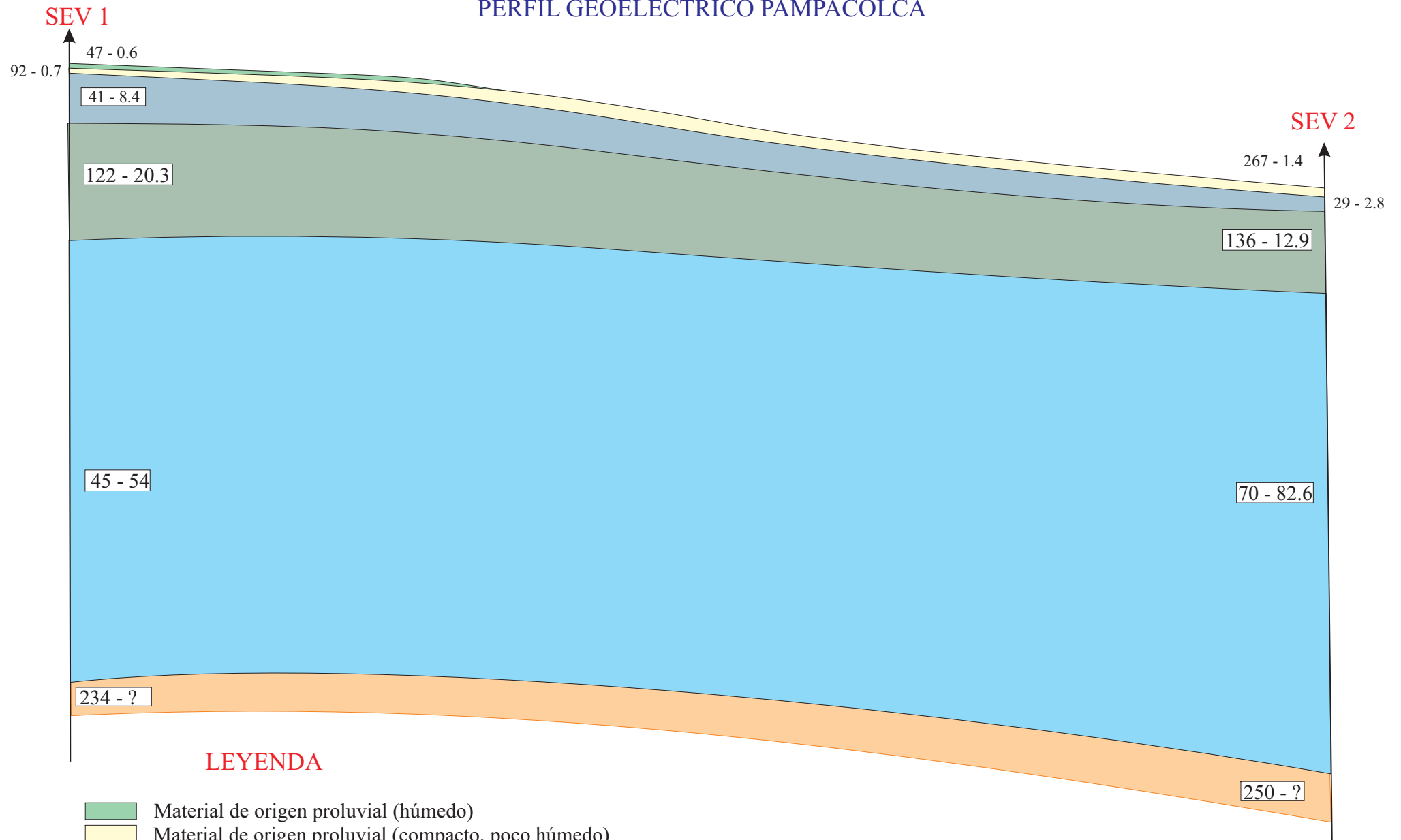
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

PERFIL GEOELECTRICO
 LONGITUDINAL DE MACHAHUAY

Fecha: enero, 2002

Fig. N° 2

PERFIL GEOELECTRICO PAMPACOLCA



LEYENDA

- Material de origen proluvial (húmedo)
- Material de origen proluvial (compacto, poco húmedo)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)
- Material de origen Aluvial (compacto sin humedad)
- Material de origen aluvial (saturado de humedad)
- Material de origen volcánico

38 - 76

Resistividad Espesor



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

PERFIL GEOELECTRICO
 DE PAMPACOLCA

D. RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

- Ensayo Contenido de Humedad
- 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 CONTENIDO DE HUMEDAD**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID 1.60 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Independ

FECHA : 05/11/2001

CONTENIDO DE HUMEDAD			
TARRO N°		1	2
Peso del tarro	(g)	11,3	
Peso de la muestra húmeda + el tarro	(g)	2843,0	
Peso de la muestra seca + tarro	(g)	2784,0	
Peso del agua en la muestra	(g)	59,0	
Peso de la muestra seca	(g)	2772,7	
Contenido de humedad	(%)	2,13	

Contenido de Humedad Promedio (%) **2,13**

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 CONTENIDO DE HUMEDAD**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus Kin

FECHA : 05/11/2001

CONTENIDO DE HUMEDAD			
TARRO N°		1	2
Peso del tarro	(g)	12,2	
Peso de la muestra húmeda + el tarro	(g)	1697,0	
Peso de la muestra seca + tarro	(g)	1488,0	
Peso del agua en la muestra	(g)	209,0	
Peso de la muestra seca	(g)	1475,8	
Contenido de humedad	(%)	14,16	

Contenido de Humedad Promedio (%)	14,16
--	--------------

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 CONTENIDO DE HUMEDAD**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

FECHA : 05/11/2001

CONTENIDO DE HUMEDAD			
TARRO Nº		1	2
Peso del tarro	(g)	11,5	
Peso de la muestra húmeda + el tarro	(g)	1043,0	
Peso de la muestra seca + tarro	(g)	894,0	
Peso del agua en la muestra	(g)	149,0	
Peso de la muestra seca	(g)	882,5	
Contenido de humedad	(%)	16,88	

Contenido de Humedad Promedio (%)	16,88
--	--------------

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 CONTENIDO DE HUMEDAD**

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 1

UBICACIÓN : Viraco Mirador de Viraco

PROFUNDID,

FECHA : 05/11/2001

CONTENIDO DE HUMEDAD			
TARRO Nº		1	2
Peso del tarro	(g)	11,2	
Peso de la muestra húmeda + el tarro	(g)	3046,0	
Peso de la muestra seca + tarro	(g)	3011,0	
Peso del agua en la muestra	(g)	35,0	
Peso de la muestra seca	(g)	2999,8	
Contenido de humedad	(%)	1,17	

Contenido de Humedad Promedio (%)	1,17
--	-------------

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 CORTE DIRECTO

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 2

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

PROFUNDID,

FECHA : 05/11/2001

TANGENCIAL δh (mm.)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)
	τ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)	τ (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	33,0 °
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

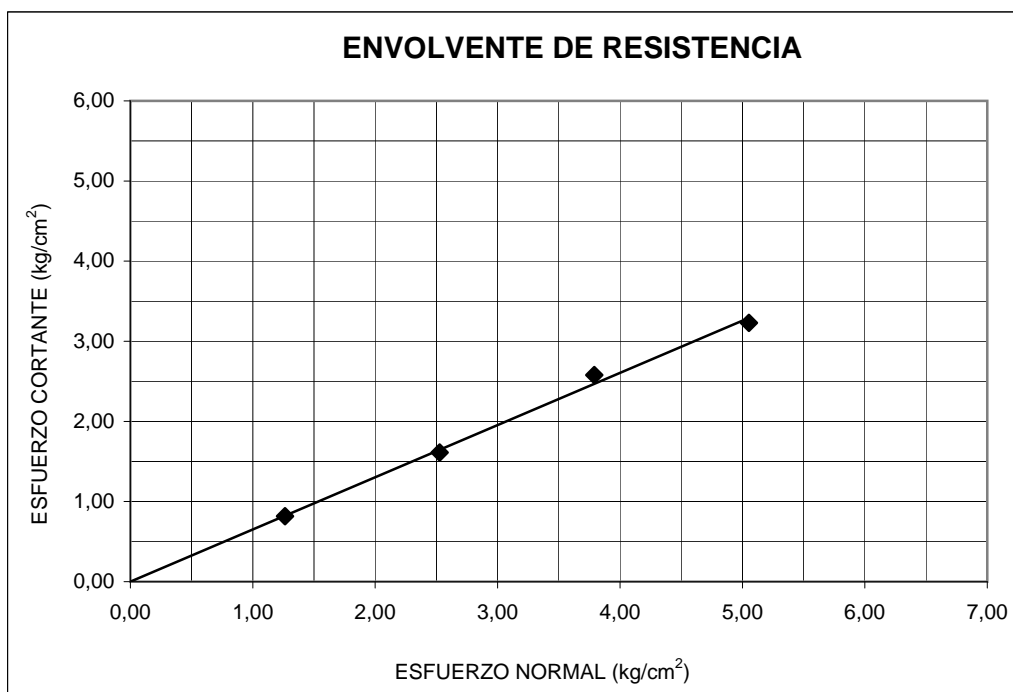
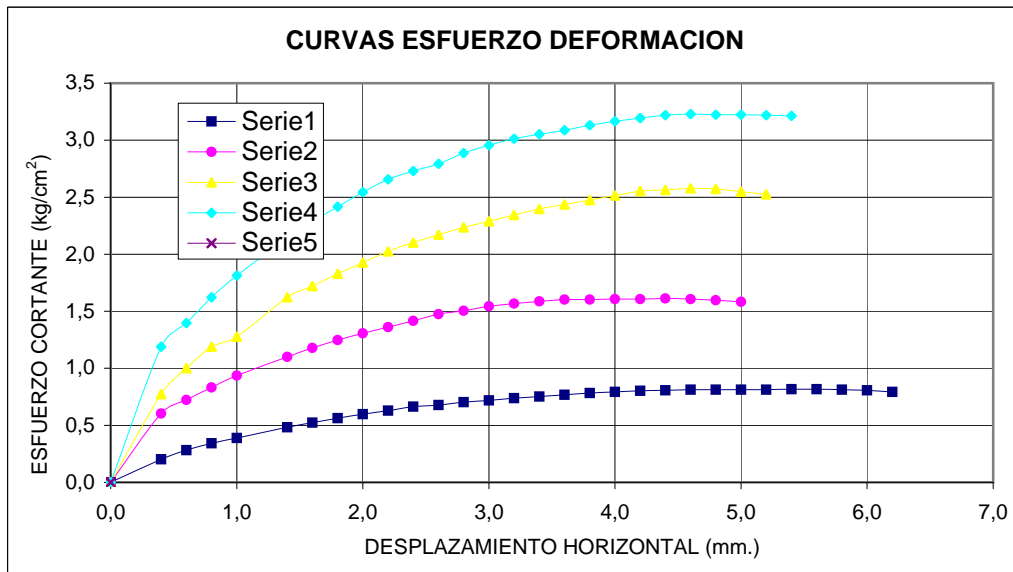
PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID/

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

FECHA : 05/11/2001



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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus King

FECHA : 05/11/2001

TANGENCIAL δh (mm.)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)
	τ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)	τ (kg/cm ²)	τ (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	33,0 °
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

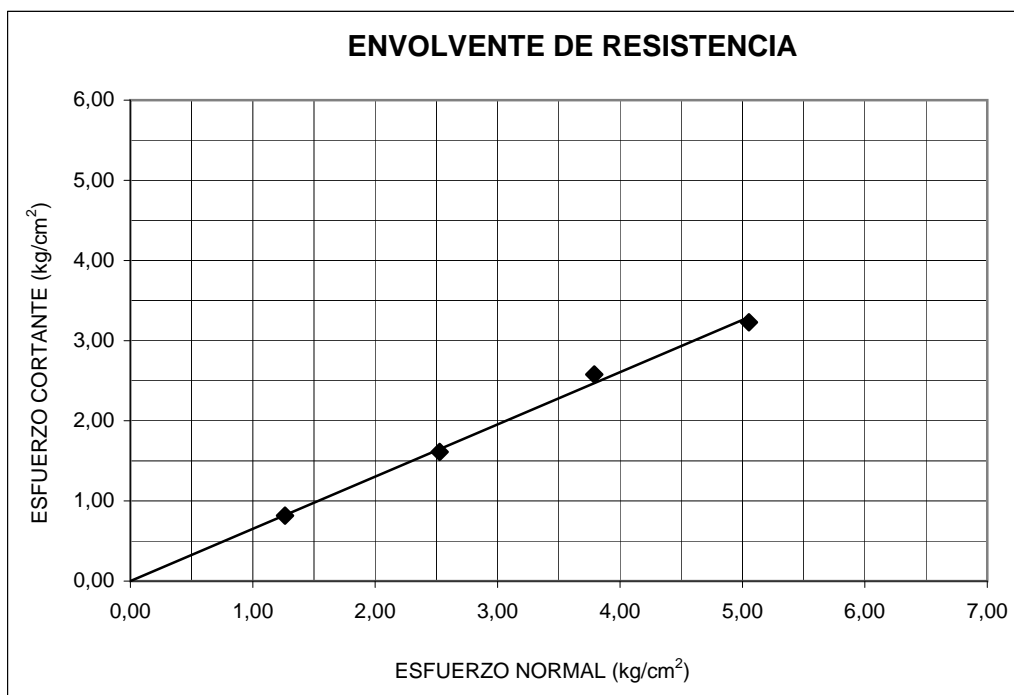
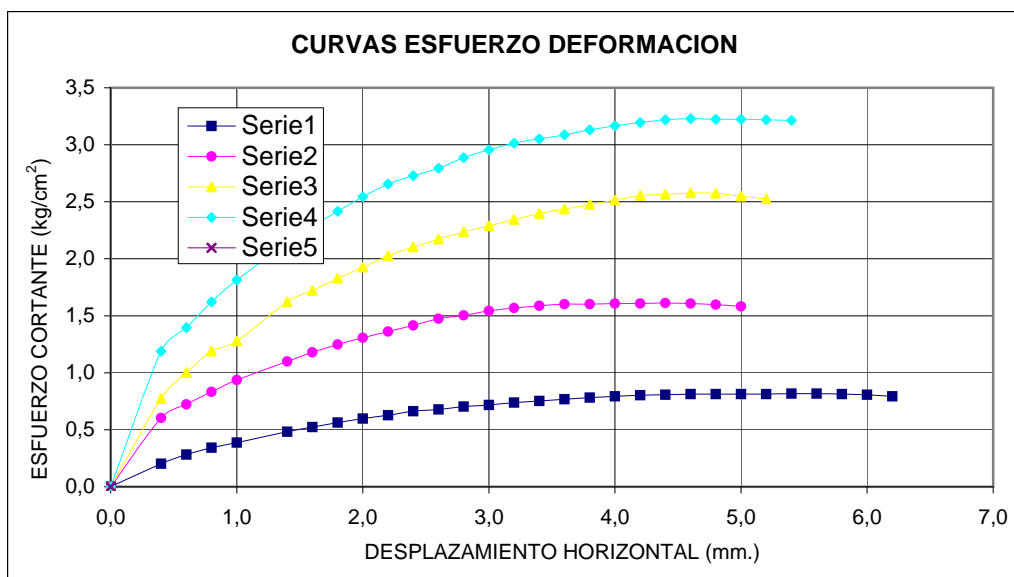
PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD: 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus King

FECHA : 05/11/2001



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**MUESTRA :** M - 2**PROFUNDIDAD,** 1.60 m.**UBICACIÓN :** Pampacolca Calle Independ**FECHA :** 05/11/2001

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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus Kin

FECHA : 05/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5306,00	5319,00	5313,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1083,00	1096,00	1090,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,156	1,170	1,163

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO 1,163 g/cm³

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5662,00	5677,00	5679,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1439,00	1454,00	1456,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,536	1,552	1,554

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO 1,547 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

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

FECHA : 05/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5106,00	5106,00	5106,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	883,00	883,00	883,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	804,05	799,02	793,98
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,098	1,105	1,112

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO 1,105 g/cm³

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5104,00	5104,00	5101,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	881,00	881,00	878,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	626,91	624,90	620,88
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,405	1,410	1,414

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO 1,410 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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Viraco Mirador de Viraco

FECHA : 05/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5229,00	5291,00	5297,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1006,00	1068,00	1074,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,074	1,140	1,146

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO **1,120 g/cm³**

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5597,00	5600,00	5605,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1374,00	1377,00	1382,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,467	1,470	1,475

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO **1,470 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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Machahuay - Plaza de armas

FECHA : 05/11/2001

PESO ESPECIFICO MINIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5229,00	5291,00	5297,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1006,00	1068,00	1074,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,074	1,140	1,146

PESO ESPECIFICO MINIMO PROMEDIO **1,120 g/cm³**

PESO ESPECIFICO MAXIMO			
ENSAYO N°	1	2	3
PESO MOLDE (g)	4223,00	4223,00	4223,00
PESO MOLDE + SUELO (g)	5597,00	5600,00	5605,00
PESO SECO DE LA MUESTRA (g)	1374,00	1377,00	1382,00
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm ³)	936,90	936,90	936,90
PESO ESPECIFICO (g/cm ³)	1,467	1,470	1,475

PESO ESPECIFICO MAXIMO PROMEDIO **1,470 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

MUESTRA : M - 2

PROFUNDIDAD, 1.60 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Independencia

FECHA : 05/11/2001

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	
Coefficiente de corrección de temperatura	α	1,0000	
Gravedad especifica de los sólidos		2,66	

Gravedad especifica de los sólidos pro **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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDIDAD, 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus King

FECHA : 05/11/2001

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	
Coficiente 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

MUESTRA : M - 2

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

FECHA : 05/11/2001

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 GRAVEDAD ESPECIFICA

CALLE PAUCARPATA S/N TELEF. 283143

SOLICITA : Convenio INDECI - UNSA

PROYECTO : Mapas de Peligros

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Viraco Mirador de Viraco

FECHA : 05/11/2001

ENSAYO		1	
Temperatura	(° C)	20,00	
Peso de la fiola + agua + muestra	(g)	1347,80	
Peso de la fiola + agua	(g)	1257,90	
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		2,50	

Gravedad especifica de los sólidos por **2,50**

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

MUESTRA : M - 1

PROFUNDID,

UBICACIÓN : Machahuay - Plaza de armas

FECHA : 05/11/2001

ENSAYO		1	
Temperatura	(° C)	20,00	
Peso de la fiola + agua + muestra	(g)	1347,80	
Peso de la fiola + agua	(g)	1257,90	
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		2,50	

Gravedad específica de los sólidos por **2,50**

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

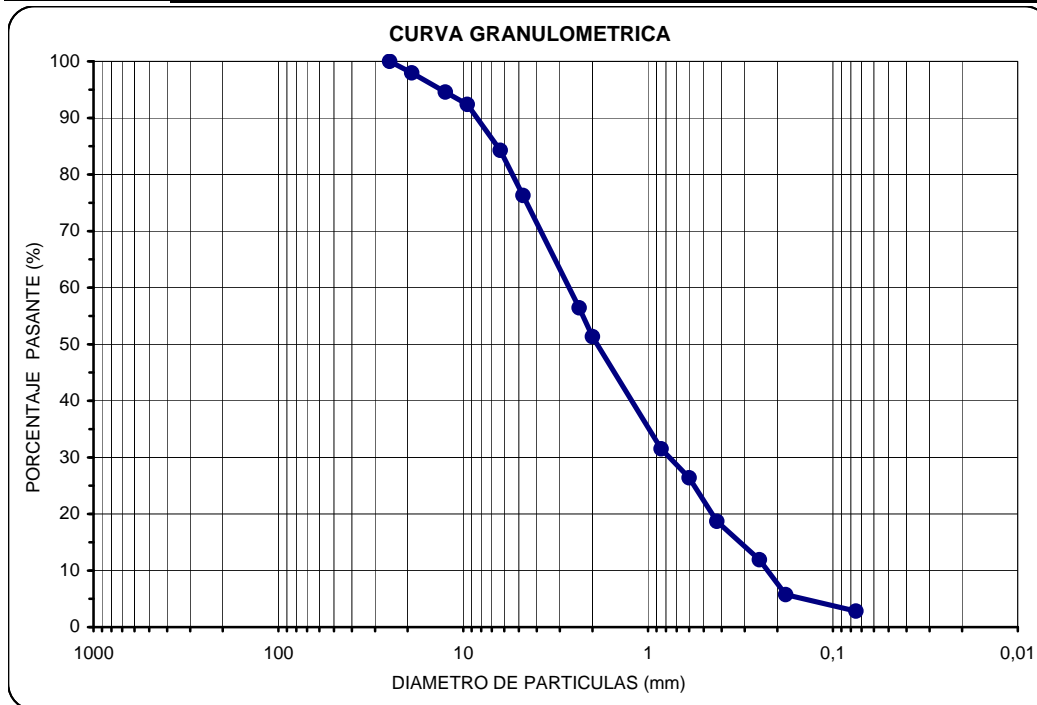
MUESTRA : M - 2

PROFUNDID, 1.60 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Independencia

FECHA : 05/11/2001

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

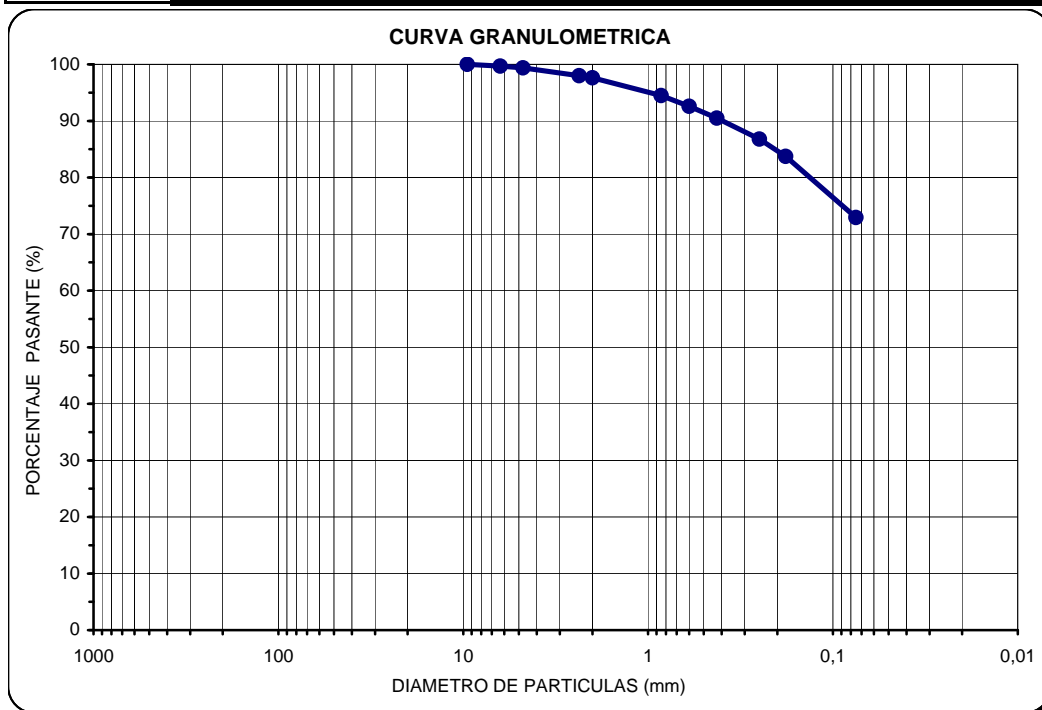
MUESTRA : M - 1

PROFUNDID, 1.40 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Rufus King

FECHA : 05/11/2001

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			D50	0,022
3/8"	9,50		100,00	D60	0,041
1/4"	6,30	1,60	99,68		
N° 4	4,75	1,50	99,38	Cu	8,200
N° 8	2,36	6,90	98,00	Cc	0,590
N° 10	2,00	1,90	97,62		
N° 20	0,850	15,70	94,48	CLASIFICACION SUCS	
N° 30	0,600	9,50	92,58	ML	
N° 40	0,425	10,40	90,50		
N° 60	0,250	18,60	86,78		
N° 80	0,180	14,20	83,74		
N° 200	0,075	55,00	72,94		
BANDEJA		364,70	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

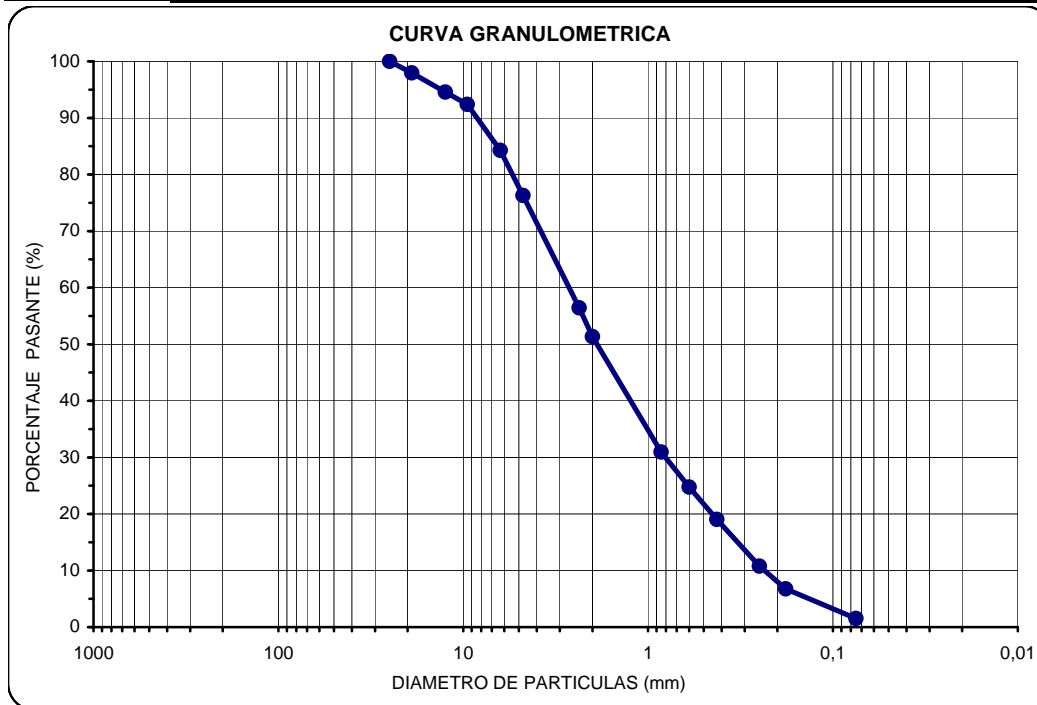
MUESTRA : M - 2

PROFUNDID, 1.60 m.

UBICACIÓN : Pampacolca Calle Independencia

FECHA : 05/11/2001

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
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	Cu: 11,387 Cc: 1,043
1/4"	6,30	226,10	84,28	
N° 4	4,75	222,30	76,29	CLASIFICACION SUCS SW ARENA BIEN GRADUADA
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	
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		



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

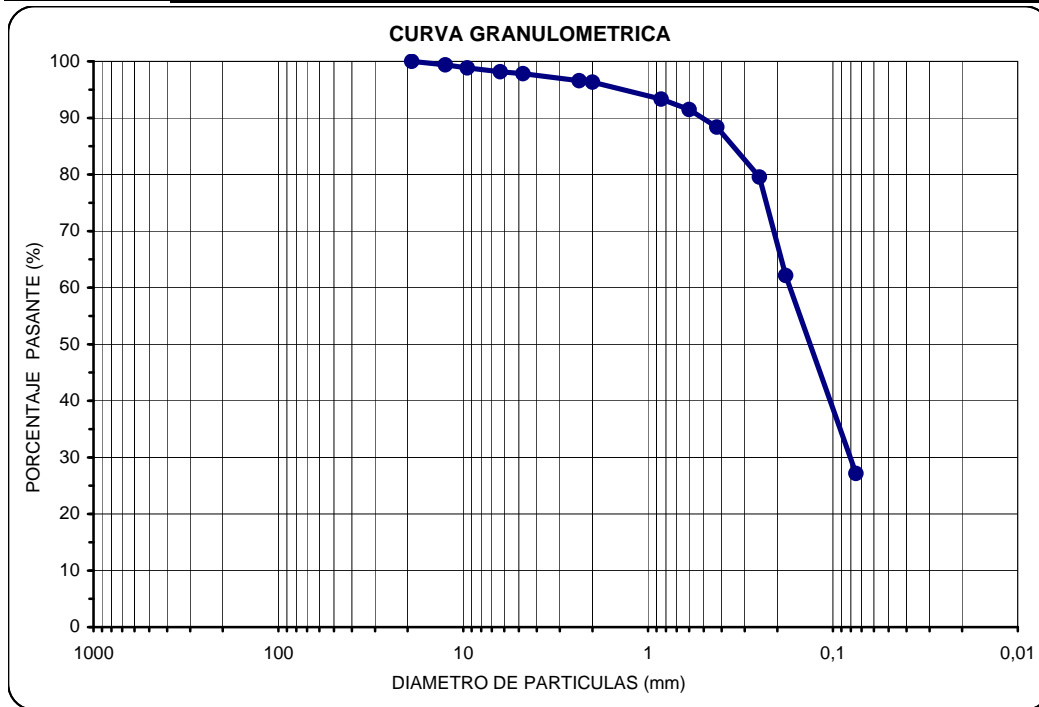
MUESTRA : M - 2

UBICACIÓN : Viraco Calle Tacna y Arica

PROFUNDID,

FECHA : 05/11/2001

Tamices	Abertura(mm)	Peso Ret.(gr)	% Pasante	Deciles - Coeficientes	
11/2"	37,5				
1"	25,0			D10	0,023
3/4"	19,0		100,00	D30	0,042
1/2"	12,5	3,10	99,38	D50	0,083
3/8"	9,50	2,70	98,84	D60	0,119
1/4"	6,30	3,40	98,16		
N° 4	4,75	1,70	97,82	Cu	5,174
N° 8	2,36	6,20	96,58	Cc	0,645
N° 10	2,00	1,30	96,32		
N° 20	0,850	15,00	93,32	CLASIFICACION SUCS	
N° 30	0,600	9,20	91,48	SM ARENA LIMOSA	
N° 40	0,425	15,60	88,36		
N° 60	0,250	41,50	79,56		
N° 80	0,180	39,60	62,14		
N° 200	0,075	94,90	27,16		
BANDEJA		45,80			



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

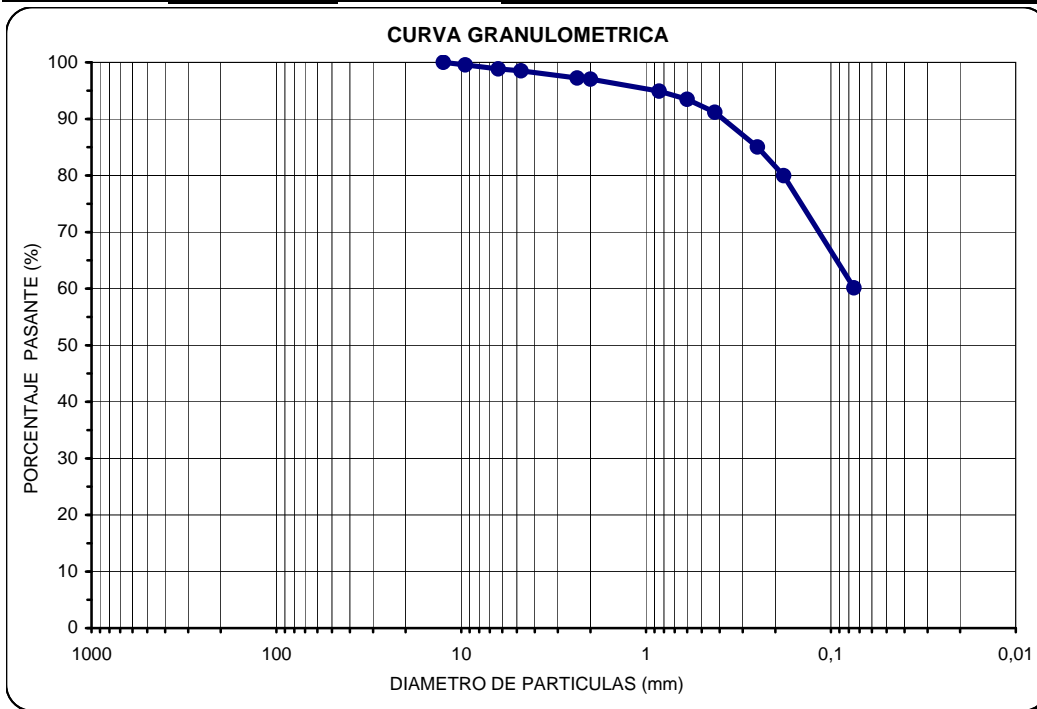
MUESTRA : M - 1

UBICACIÓN : Viraco Mirador de Viraco

PROFUNDID,

FECHA : 05/11/2001

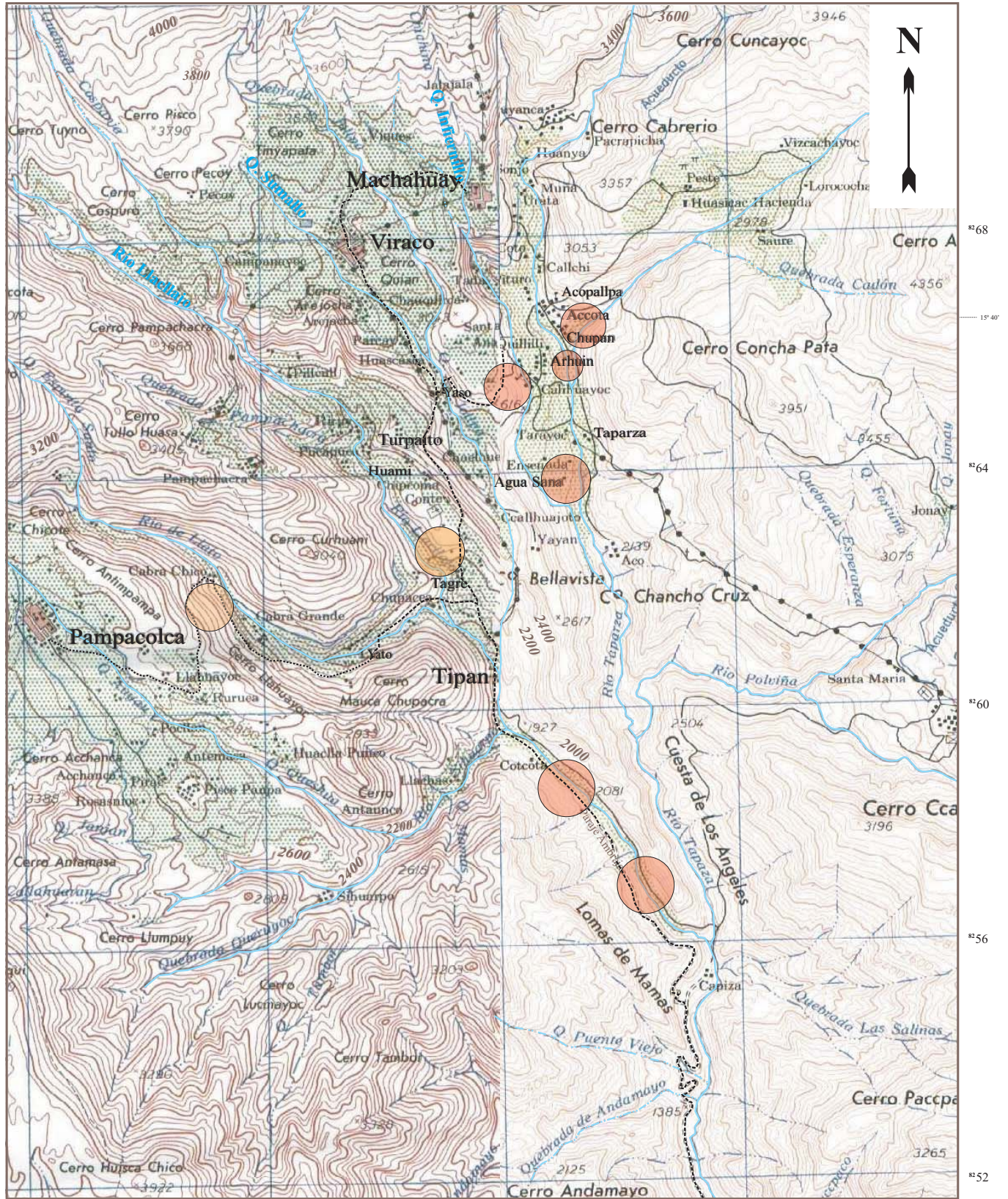
Tamices	Abertura(mm)	Peso Ret.(gr)	% Pasante	Deciles - Coeficientes	
11/2"	37,5				
1"	25,0			D10	0,013
3/4"	19,0			D30	0,026
1/2"	12,5		100,00	D50	0,049
3/8"	9,50	3,2	99,54	D60	0,074
1/4"	6,30	5,0	98,83		
N° 4	4,75	2,2	98,51	Cu	5,692
N° 8	2,36	8,9	97,24	Cc	0,703
N° 10	2,00	1,4	97,04		
N° 20	0,850	14,9	94,91	CLASIFICACION SUCS	
N° 30	0,600	10,1	93,47	ML	
N° 40	0,425	16,2	91,16		
N° 60	0,250	42,9	85,03		
N° 80	0,180	35,5	79,96		
N° 200	0,075	138,7	60,14		
BANDEJA		421,0		LIMO DE BAJA PLASTICIDAD	



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

E. LISTA DE PLANOS

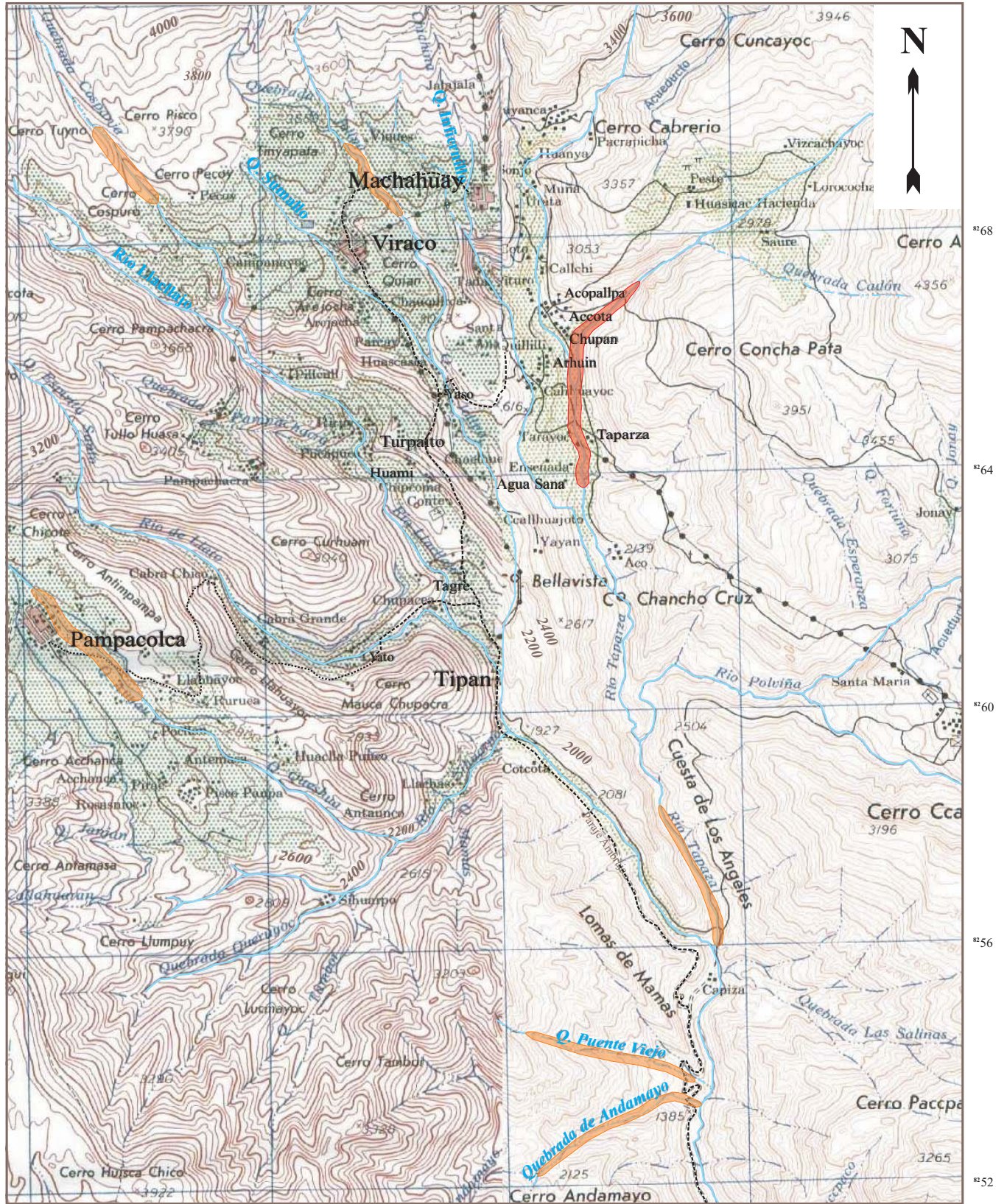
1. Plano de Deslizamiento y Derrumbes (Viraco, Machahuay, Pampacolca y Anexos)
2. Plano de Activación de quebradas (Viraco, Machahuay, Pampacolca y Anexos)
3. Plano de Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas(VIRACO)
4. Plano de Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas (MACHAHUAY)
5. Plano de Ubicación de SEVs, Refracción Sísmica y Calicatas (PAMPACOLCA)
6. Plano de Zonificación Sísmica (Met. Sísmico, Eléctrico y Geotécnico), VIRACO
7. Plano de Zonificación Sísmica (Met. Sísmico, Eléctrico y Geotécnico), MACHAHUAY
8. Plano de Zonificación Sísmica (Met.Sísmico, Eléctrico y Geotécnico), PAMPACOLCA
9. Mapa de Peligros








LEYENDA

- Altamente peligroso
- Medianamente peligroso
- Carretera carroable
- Río
- Quebradas

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI</p>
<p>PLANO DE DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES (Viraco, Machahuay, Pampacolca y Anexos)</p>	
<p>Fecha: enero, 2002</p>	<p>P - 1</p>



LEYENDA

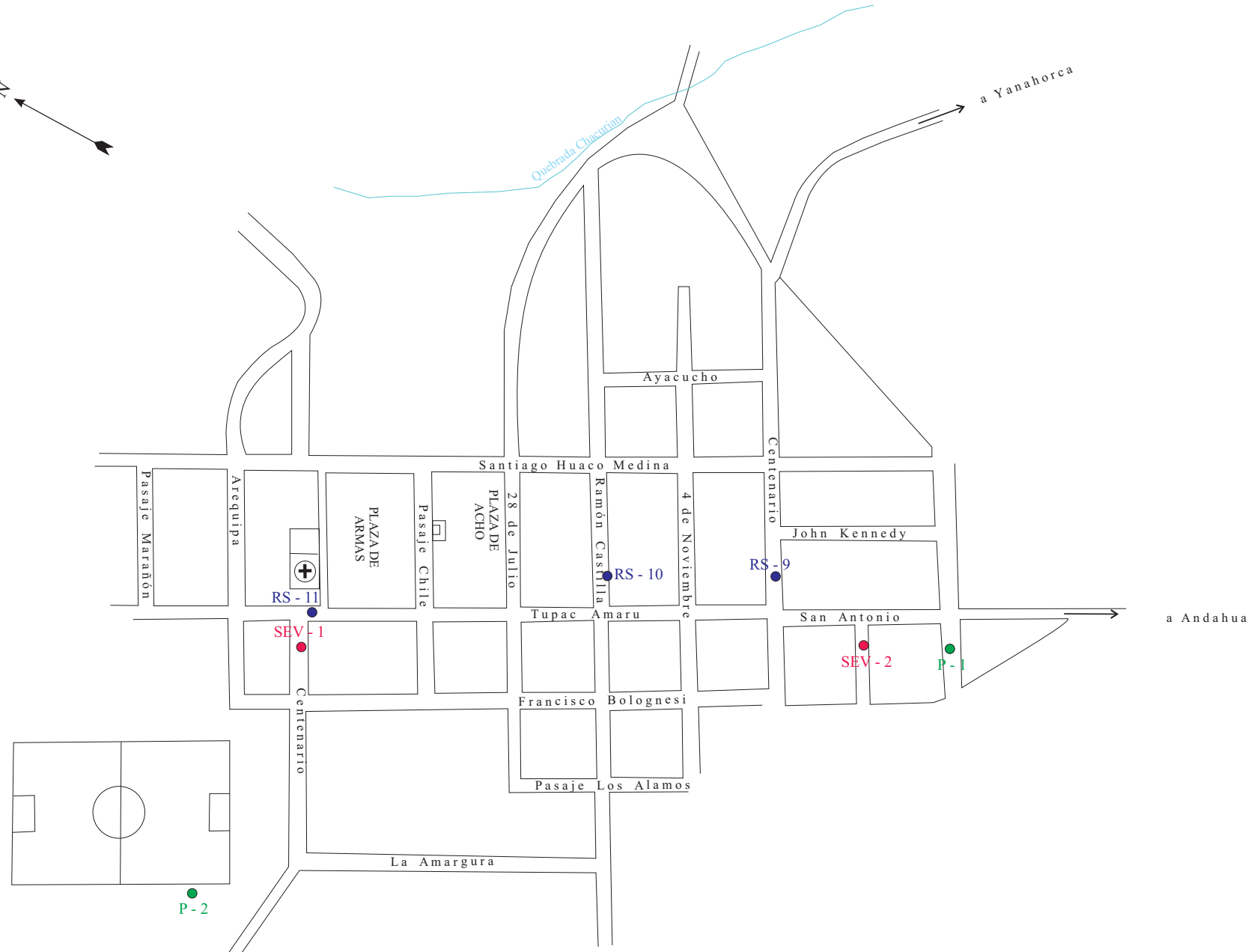
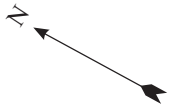
-  Altamente peligroso
-  Medianamente peligroso
-  Carretera carroable
-  Río
-  Quebradas



LEYENDA

- Refracción Sísmica
- Sondajes Electricos Verticales
- Calicatas

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI
	PLANO DE UBICACIÓN DE SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES, REFRACCIÓN SÍSMICA Y CALICATAS DE VIRACO
Fecha: enero, 2002	P - 3

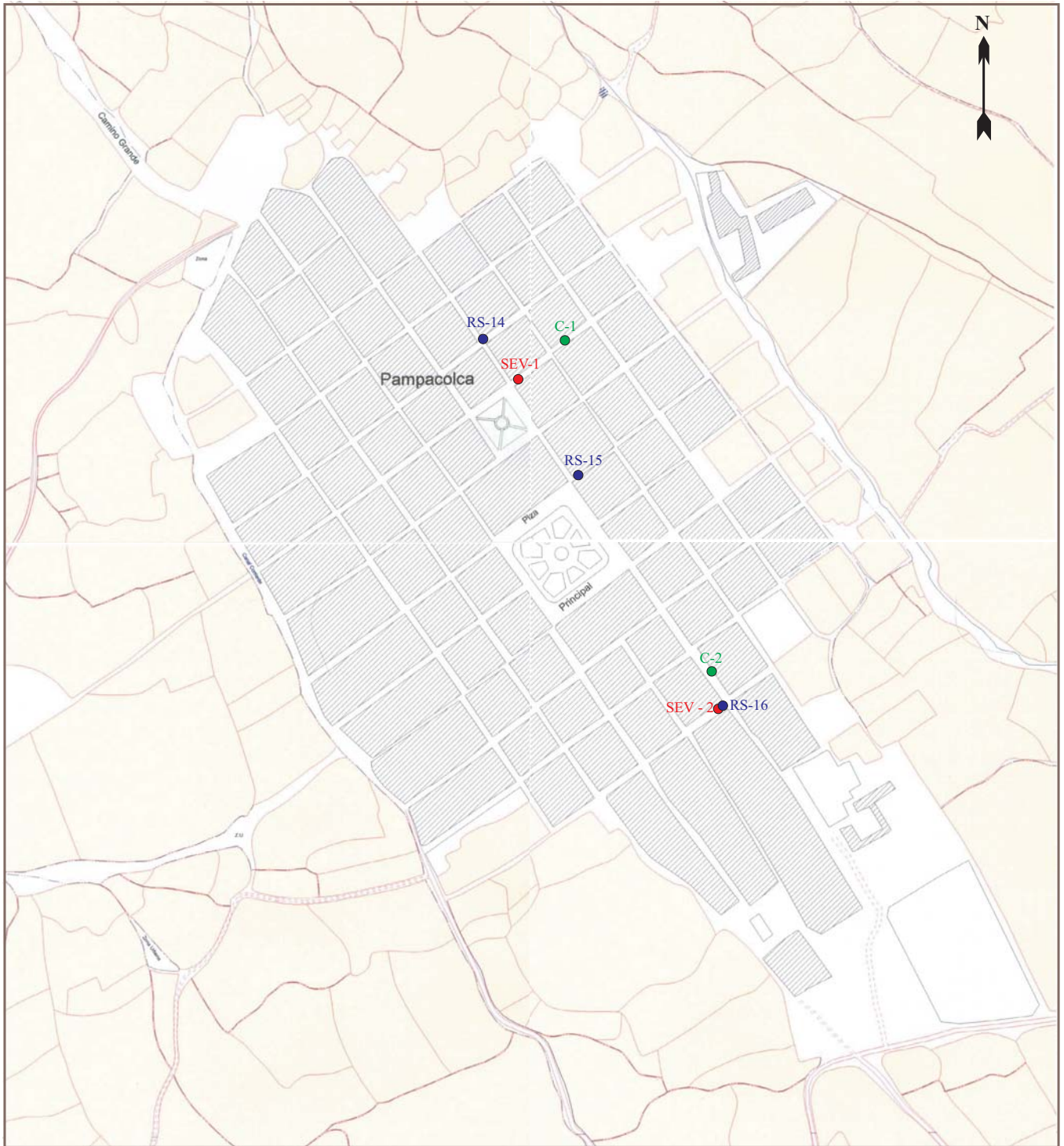


LEYENDA

- Sondajes Eléctrico verticales
- Refracción Sísmica
- Calicatas

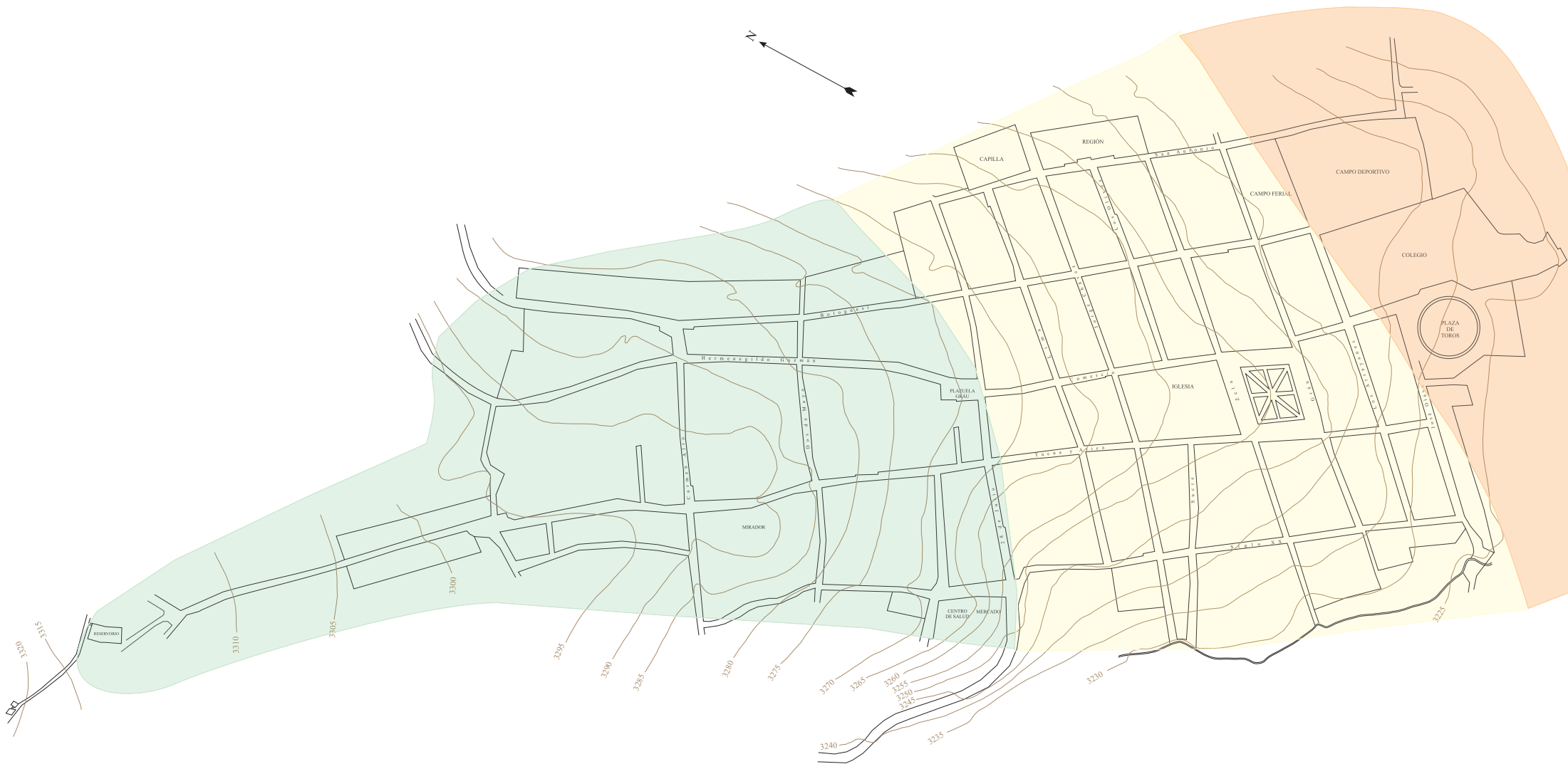
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
	INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI

MAPA DE UBICACIÓN DE SONDAJES
ELECTRICO VERTICALES, REFRACCIÓN
SÍSMICA Y CALICATAS DE MACHAHUAY



LEYENDA

- Sondajes Eléctrico verticales
- Refracción Sísmica
- Calicatas



LEYENDA

- Peligro Bajo
- Peligro Moderado
- Peligroso

<p style="margin: 0;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI</p>
<p style="margin: 0;">PLANO DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA (MÉTODO SÍSMICO, ELÉCTRICO Y GEOTÉCNICO DE VIRACO)</p>
<p style="margin: 0;">Fecha: enero, 2002</p>
<p style="margin: 0;">P - 6</p>

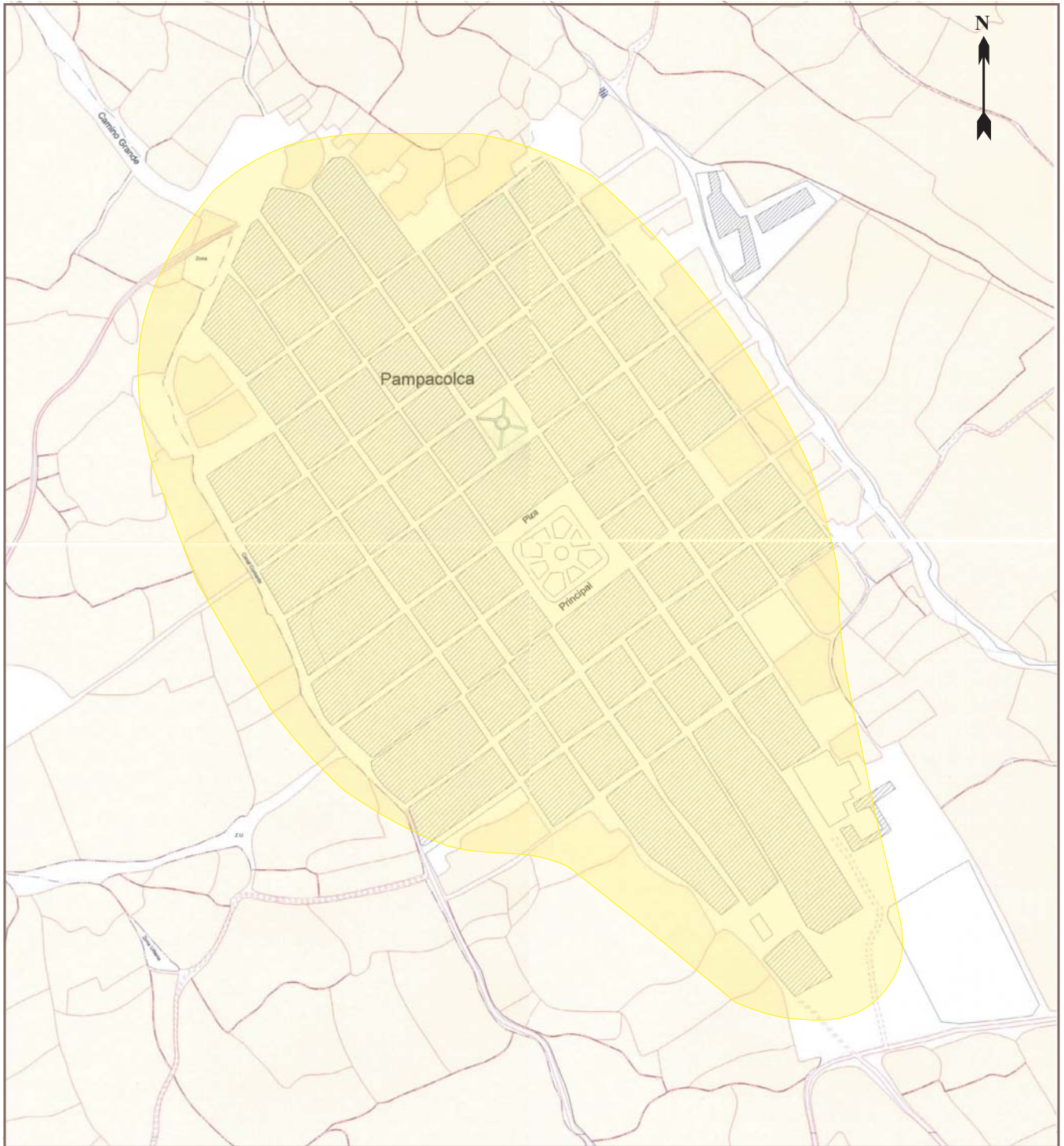


LEYENDA

 Peligro Moderado


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

PLANO DE ZONIFICACIÓN SISMICA
 (MÉTODO SÍSMICO, ELÉCTRICO Y
 GEOTÉCNICO), MACHAHUAY

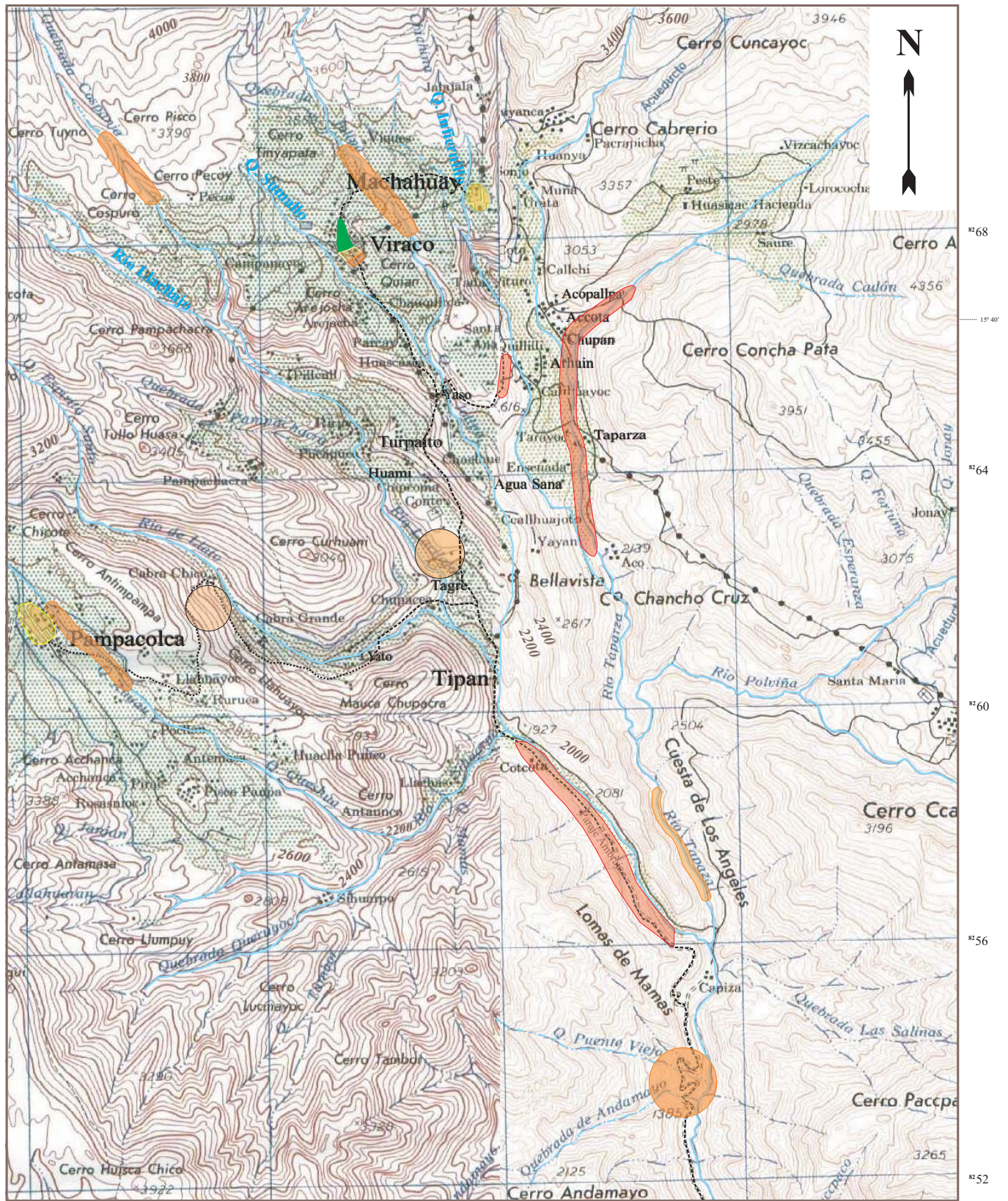


LEYENDA

 Peligro Moderado

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

PLANO DE ZONIFICACIÓN SISMICA
(MÉTODO SÍSMICO, ELÉCTRICO Y
GEOTÉCNICO), PAMPACOLCA



LEYENDA

- Altamente peligroso
- Medianamente peligroso
- Peligro Moderado
- Peligro Bajo
- Carretera carroable
- Río
- - - Quebradas