



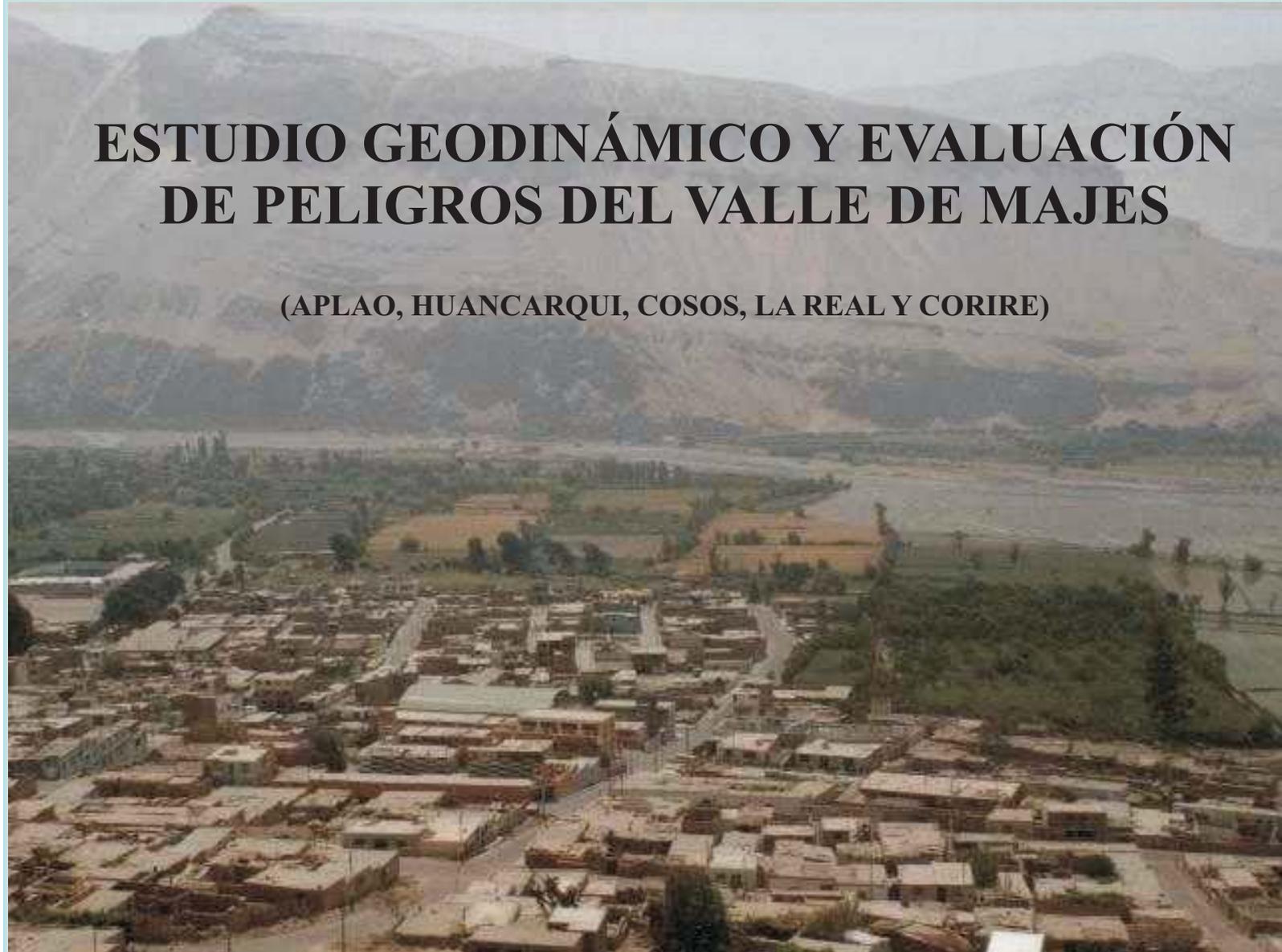
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

CONVENIO UNSA - INDECI

Proyecto PER 98/018 PNUD - INDECI

ESTUDIO GEODINÁMICO Y EVALUACIÓN DE PELIGROS DEL VALLE DE MAJES

(APLAO, HUANCARQUI, COSOS, LA REAL Y CORIRE)



Aplao - Majes

Arequipa, noviembre del 2001

**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 GEODINÁMICO Y EVALUACION
DE PELIGROS DEL VALLE DE MAJES**

AUTORES

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

COLABORADORES

Estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica

Arequipa, noviembre 2001

AGRADECIMIENTOS

La Universidad Nacional de San Agustín, desea expresar su agradecimiento a los señores alcaldes de:

La Provincia de Castilla, Distrito de Huancarqui y Corire, por su apoyo en la elaboración del Estudio Geodinámico y Evaluación de Peligros del Valle de Majes.

**ESTUDIO GEODINAMICO Y EVALUACION DE PELIGROS DEL VALLE DE
MAJES
(APLAO-CORIRE-HUANCARQUI-COSOS-LA REAL)**

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. ANTECEDENTES
- 1.2. OBJETIVOS
- 1.3. METODOLOGIA
 - 1.3.1 Trabajo bibliográfico
 - 1.3.2 Trabajo de campo
 - 1.3.3 Gabinete
 - 1.3.4 Base cartográfica

CAPITULO II

2. DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

- 2.1. UBICACION
- 2.2. CLIMA Y VEGETACION
- 2.3. HIDROLOGIA
 - 2.3.1. El río Majes
 - 2.3.2 Análisis pluviométricos
 - 2.3.3 Análisis de caudales
- 2.4 CORRELACION ENTRE CAUCE Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA:
- 2.5 INFORMACION SOCIO-ECONOMICA
 - 2.5.1 Infraestructura de transporte
 - 2.5.2 Infraestructura agrícola
 - 2.5.3 Número de productores y superficie de las unidades agropecuarias
 - 2.5.4 Condición jurídica del productor
 - 2.5.5 Lugar de residencia
 - 2.5.6 Condición de alfabetismo
 - 2.5.7 Nivel educativo
 - 2.5.8 Profesión u oficio

CAPITULO III

3. GEOLOGIA

- 3.1. FISIOGRAFIA
 - 3.1.1 Planicie costanera
 - 3.1.2 Flanco Andino Occidental
 - 3.1.3 Cadena costanera
 - 3.1.4 Drenaje
 - 3.1.5 Clima
- 3.2. ESTRATIGRAFIA
- 3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

CAPITULO IV

4. GEODINAMICA EXTERNA

- 4.1 FACTORES
- 4.2 PROCESOS DE GEODINAMICA EXTERNA
 - 4.2.1 Planicie costera
 - 4.2.2 Cordillera Occidental
- 4.3 PROCESO DE ORIGEN ANTROPICO:
- 4.4 RIESGOS NATURALES O GEOLÓGICOS:
 - 4.4.1 Inundaciones (avenidas extraordinarias)
 - 4.4.2 Deslizamientos y derrumbes
 - 4.4.3 Flujos de barro (activación de quebradas)

CAPITULO V

5. GEODINAMICA INTERNA

- 5.1 SISMICIDAD
 - 5.1.1 Sismicidad Histórica
 - 5.1.2 Tectonismo de la Región Andina
 - 5.1.3 Análisis de la sismicidad
- 5.2 PELIGRO POTENCIAL DEL VOLCAN SABANCAYA
 - 5.2.1 Ubicación de las estaciones sísmicas
 - 5.2.2 Procesamiento
 - 5.2.3 Distribución Epicentral de los Sismos Detectados
 - 5.2.4 Actividad en el área del Volcán Hualcahualca
 - 5.2.5 Profundidad de los Sismos Registrados
 - 5.2.6 Interpretación de la Actividad Sísmica-Volcánica
 - 5.2.7 Principales amenazas
- 5.3 MICROZONIFICACION SISMICA
 - 5.3.1 Refracción Sísmica
 - A) Zona de Aplao
 - B) Zona Anexo de Cosos
 - C) Zona Distrito de Huancarqui
 - D) Zona Anexo La Real
 - E) Zona de Corire
 - 5.3.2 Estudios de Resistividad Geoeléctrica
 - A) Zona de Aplao
 - B) Zona del Anexo La Real
 - C) Zona de Corire.-
 - 5.3.3 Estudio Geotécnico
 - 5.3.3.1 Mecánica de Suelos
 - B) Localidad de Aplao
 - C) Localidad de Huancarqui
 - D) Localidad de La Real
 - E) Localidad de Corire
 - 5.3.3.2 Conclusiones y Recomendaciones
 - 5.3.4 Evaluación de daños del sismo del 23 de junio de 2001
 - 5.3.5 Mapa de peligros del valle de Majes

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

LISTAS DE FIGURAS

	Pág
1. Mapa de ubicación de la Zona de Estudio	4
2. Mapa Geológico del Valle de Majes	18
3. Isosistas del Sismo del 15 de enero de 1958	58
4. Isosistas del Sismo del 13 de enero de 1960	60
5. Isosistas del Sismo del 16 de febrero de 1979	61
6. Isosistas del Terremoto del 23 de junio del 2001	63
7. Mapa epicentral, período 1964-1998	66
8. Mapa epicentral, Campañas Sísmicas: 1965, 1969, 1975-76 y 1985	67
9. Secciones Sísmicas	69
10. Distribución en profundidad de la actividad sísmica del volcán Sabancaya	70
11. Ubicación de las estaciones sísmicas, m campaña sísmica 1994	71
12. Distribución epicentral de la actividad sísmica	74
13. Distribución epicentral de la actividad sísmica 1990 – 1994	75
14. Flujo de lodo originado en el Volcán Huancahualca	76
15. Mapa de amenaza volcánica potencial del Sabancaya	79
16. Plano Geotécnico de Aplao	90
17. Mapa Geotécnico de Huancarqui	92
18. Plano Geotécnico de La Real	93
19. Plano Geotécnico de Corire	95

LISTAS DE MAPAS

	Pág
1. Mapa de peligros por inundación del río Majes	37
2. Mapa de peligros por deslizamientos y derrumbes en el Valle de Majes	38
3. Mapa de peligros por deslizamientos en el valle del Colca	39
4. Plano de activación de quebradas Valle de Majes	45
5. Mapa de activación de quebradas del Valle de Majes (parte alta)	46
6. Activación de quebradas - Cosos	48
7. Mapa de peligros por inundación de Huancarqui	49

(APLAO-CORIRE-HUANCARQUI-COSOS-LA REAL)

RESUMEN

La Cuenca del río Colca – Majes y Camaná, se encuentra situada en el Sur del Perú, tiene una extensión de aproximadamente 17,000 Km² de superficie es una de la más extensa de la Vertiente Pacífica Peruana. La importancia de esta cuenca radica en la actividad minera, turística, agrícola y ganadera que se desarrolla en ella.

Con la finalidad de desarrollar el Mapa de Peligros del valle de Majes, se ha evaluado los aspectos litológico-estructural, geomorfología, análisis hidrometeorológicos, procesos geodinámicos, riesgos naturales o geológicos. La evaluación geodinámica de los principales centros poblados del valle de Majes se han realizado adicionalmente mediante la prospección geofísica y estudios geotécnicos.

Si bien es cierto que la evaluación de peligros corresponde al valle de Majes, por la naturaleza de los fenómenos naturales, por las condiciones geológicas y otros factores el estudio abarca una amplia región por la repercusión que podría tener el sector de Majes debido a la ocurrencia de éstos fenómenos.

Se ha logrado determinar zonas de posibles inundaciones, zonas de posibles flujos de barro y huaycos, activación de quebradas, zonas de derrumbes y deslizamientos, peligro volcánico y calidad de suelos mediante la microzonificación sísmica. Las zonas de inundación en el valle de Majes se han puntualizado en varios sectores como Corire, Punta Colorada, Torán y otros, activación de quebradas como la de Huancarqui, Sicera y Cosos, derrumbes y deslizamientos a lo largo del valle y flujos de barro de origen volcánico provenientes del Sabancaya.

Otro factor importante de resaltar en el valle son los represamientos que se originan en la parte alta de la cuenca como es el sector de Maca y Ayo y que han tenido repercusiones en el sector de Majes.

La calidad de los suelos encontrados en el valle son muy diversos, dependiendo fundamentalmente de su origen, los suelos aluviales compuestos de gravas y arenas son los más estables, mientras que los suelos coluviales-proluviales-deluviales son menos estables.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

A través de la historia el territorio peruano ha sufrido desastres a consecuencia de los fenómenos naturales, tal como lo ocurrido con el sismo del 23 de junio del presente año, donde se registraron 39 pérdidas de vidas humanas y considerables pérdidas materiales. Este evento sísmico comprometió todo el Sur del Perú, ocasionando daños importantes en las viviendas en el valle de Majes. Los severos efectos del sismo ha tenido como factor importante la precariedad de las edificaciones y la inestabilidad de los suelos.

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, 4,297 Has. 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 - Camaná 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.

La actividad reciente del volcán Sabancaya, los fenómenos de remoción en masa de Lari, Madrigal, Maca y Ayo (deslizamientos), se toman en cuenta en la evaluación de los peligros en el sector de Majes por su incidencia en el desarrollo agrícola y económico, el estudio muestra los principales peligros geodinámicos que pueden ocurrir en la Cuenca.

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

CAPITULO II

DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

2.1. UBICACION

El área de estudio donde se han realizado las evaluaciones de peligros, se encuentra en la provincia de Castilla, Departamento de Arequipa. Los poblados considerados son Cosos, Aplao, Huancarqui, La Real y Corire.

El valle de Majes geográficamente, está limitada por las cuencas de los ríos Ocoña al Norte, Quilca al Sur, los estudios se concentraron principalmente entre las siguientes coordenadas (Figura N° 1).

Meridianos: 72°28' y 72°30' Longitud Oeste
Paralelos: 16°03' y 16°15' Latitud Sur

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

2.2. CLIMA Y VEGETACION

El clima de la cuenca varía de acuerdo a los diferentes pisos altitudinales existentes, así tenemos:

- **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 que fluctúan 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, molle, 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 costera. Sin embargo, la ocurrencia de fenómenos naturales se ha considerado en una amplia región por su incidencia en los pueblos del valle de Majes.

2.3. HIDROLOGIA

2.3.1. El río Majes

El río Colca- Majes y Camaná, en la vertiente del pacífico es uno de los de mayor longitud, sus nacientes está en el C° Yanasalla, a 4 886 m al NE del departamento de Arequipa, en el límite con el departamento de Puno. En sus inicios sigue una dirección SE-NO, atravesando las Pampas de Acucullo, Lazayacina y Colca, donde toma este nombre “Estudio geodinámico de la cuenca del Río Camaná-Majes (Colca)”

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

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

Mamacocha y Capisa. Por la margen izquierda los ríos Antasalla, Callalli, Hualca Hualca y Huambo.

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

2.3.2 Análisis pluviométricos

La cuenca del río Colca-Camaná-Majes comprende áreas que se ubican en diferentes regiones geográficas: costa, sierra, sierra alta y puna, con altitudes que varían entre 0 a 6,300 msnm, donde se manifiestan marcadas diferencias en el régimen de precipitaciones, con influencia directa de la altura y de las condiciones orográficas del macizo rocoso andino, denotándose un incremento a medida que nos alejamos de la influencia marina litoral.

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

Cuenca baja (0-2,000m):

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

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

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

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

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

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

El periodo de lluvias entre Enero y Marzo varía en las diferentes estaciones, con promedios mensuales, para este periodo de 62.3 mm. en Chachas, 198.4 mm. en Machahuay, 85.6 mm. en Madrigal, 106.4 mm. en Cabanaconde, 177 mm. en Huambo, 235.5 mm, en Yanque, 120 mm. en Andahua, 90 mm. en Chivay, 113.7 mm. en La Calera, 102.6 mm. en Orcopampa y 119.9 mm. en Sibayo. El periodo seco ocurre entre Junio y Julio con promedios de 0.1 a 1.5mm. 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.

Sector puna (sobre los 3,900 m):

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

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

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

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

2.3.3 Análisis de caudales

La descarga media mensual varía entre 32.3 y 174.6 m³/seg. Los valores más altos, se registran entre Febrero y Abril (máximos en Marzo), con un promedio de 138.25 m³/seg, que representan el 50.8% de la descarga anual.

Los valores más bajos, en estiaje, corresponden al periodo Setiembre a Noviembre con un promedio de 29.43 m³/seg.

El promedio anual registrado en esta estación es de 815.77 m³/seg.

2.4 CORRELACION ENTRE CAUCE Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA:

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

En la cuenca alta, en su nacimiento, conocido como río Chilamayo su cauce de dirección SE-NO y N-S, muestra un control litológico, pues recorre en el contacto entre areniscas tobáceas, calizas del Grupo Maure e ignimbritas dacíticas y lavas andesitas-dacitas del Grupo Barroso, hasta el sector de Pallca (Qda. Infiernillo), continuando con la misma dirección por los cuadrángulos de Callalli y Condorama hasta el paraje Morokake desembocadura de la Qda. Charcantaya afluente por la margen derecha, cruzando en este sector primero a la Fm. Sillapaca (lavas porfíricas, andesíticas a dacíticas, luego como característica peculiar cerca y en el contacto entre afloramientos de la Fm. Confital (Grupo Barroso) y Grupo Maure indiviso con la Fm. Sillapaca, y luego, entre las Qda. Huamarutuña y Charcantaya por sectores, entre lavas andesíticas del Grupo Tacaza y Fm. Acopata del Grupo Barroso, manifestándose igualmente un control litológico en el cauce principal y quebradas tributarias. Los afluentes primarios

muestran un patrón de drenaje paralelo a subparalelo. Cabe mencionar que las fallas o estructuras geológicas, reconocidas en este sector tienen dirección NO-SE, que coinciden con la dirección principal del Río Colca, Río Llapa y otras quebradas menores como Lloclla y Parcomayo.

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

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

La morfología de valle de represamiento que se observa entre Ccesca al este y la Qda. Chocahua (Pinchollo) al oeste, son evidencias claras de la actividad volcánica que ocurrió en el Pleistoceno, teniendo como centro volcánico el C° Ahuashuane (Palacios 1993), que represó el río en una extensión de 45 Km de longitud y 3 Km de ancho, depositándose sedimentos lacustres fluviales y proluviales (Fm. Colca), que hoy el río corta. Volcanismo dómico más reciente se observa entre Tuti y Chivay, donde el río ha labrado lavas andesíticas y traquiandesíticas en paredes verticales a manera de un cañón.

La orientación entre Chivay y Cabanaconde es E-O, la dirección del cauce, está controlado por la actividad volcánica mencionada, e inclusive el ancho de la cuenca se estrecha en este sector (Chivay y Pinchollo), que evidencia la ocurrencia de centros volcánicos tanto al Norte (Volcán Mismi y otros) y al sur (Hualca Hualca, Sabancaya, Ampato y Ananto), como divisorias de aguas, reduciendo el ancho de la cuenca en este sector a 27 Km.

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

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

Entre la confluencia con el río Taparza y Punta Colorada, el río, conocido como Majes, mantiene una dirección principal N-S, cortando rocas intrusivas (tonalitas y dioritas) y metamórficas hasta la Hda. Quiscay y de aquí hasta Punta Colorada rocas sedimentarias del Grupo Yura y la Formación Moquegua, mostrando un cauce divagante, recostándose

a uno y otro lado de su cauce. El control es litológico evidentemente, en donde el río ha aprovechado las rocas más débiles para erosionar; los tributarios por la margen izquierda muestran un drenaje dendrítico.

Los ríos Taparza y Grande, afluentes principales por la margen derecha mantienen un control estructural. El primero de ellos sobre una falla de dirección NNO-SSE, que corta principalmente secuencias plegadas de areniscas, lutitas y cuarcitas del Grupo Yura y Fm Murco. El segundo, que drena entre aguas arriba de Chuquibamba y el sector La Barranca, está controlado por la falla de Chuquibanba de rumbo NO-SE, en donde el río ha labrado su cauce sobre brechas y tobas de la Fm. Sencca, que están en contacto fallado con rocas metamórficas precámbricas.

Después de Punta Colorada y hasta su desembocadura, el Río Majes-Camaná, mantiene un rumbo promedio NE-SO, erosionando rocas paleozoicas (areniscas de la Fm.Torán), precámbricas del Complejo Basal e intrusivos paleozoicos y precámbricos, hasta el sector de cuesta de Pampata.

A partir de aquí el río se ensancha y ha depositado su cono deyectivo sobre sedimentos de Terciario (Fm. Camaná).

Las rocas metamórficas muestran una dirección de foliación principal NE-SO que coinciden en parte con la del río, y pueden estar controlándola.

Las quebradas tributarias por la margen derecha (Putuviñas, Morrillos) mantienen un control estratigráfico y morfológico N-S, sobre capas horizontales de la Fm. Moquegua, mostrando un drenaje paralelo y subparalelo.

En el sector NO de la cuenca, el drenaje principal la realiza el Río Orcopampa/Andahua. Su curso está controlado por una falla distensiva neotectónica de rumbo referencia N-S a NNE-SSO que se extiende entre la Qda. Aychamara, pasando por Orcopampa, pampa de Ayo hasta la desembocadura en el Río Colca.

Es conocida por su forma morfoestructural como “valle de los volcanes”, porque se desarrolla sobre una cadena de volcanes orientados, que en el Cuaternario (pleistoceno y reciente) estuvieron en actividad dando lugar a los Volcánicos del Grupo Barroso y Andahua respectivamente.

2.5 INFORMACION SOCIO-ECONOMICA

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

2.5.1 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 que une a las localidades de Corire, La Real, Aplao, Cosos y Huancarqui.

2.5.2 Infraestructura agrícola

En el área de estudio la actividad principal es la agricultura y en menor escala la ganadería, la fuente hídrica proviene de las aguas que discurren en el río Majes, sin embargo existen algunas limitaciones en su uso por la falta de infraestructura adecuada. Por consiguiente, para incrementar la productividad del valle es necesario la ejecución de obras adicionales y programas alternativos en la siembra, mayor organización y uso de nuevas tecnologías.

2.5.3 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° 2
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° 3
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
CASTILLA	5554	100.0	211683.08	100.0
MENOS DE 3.0	3664	66.0	3861.32	1.8
DE 3.0 A 9.9	1212	21.8	6331.02	3.0
DE 10.0 A 49.9	481	8.7	9677.01	4.6
DE 50.0 Y MÁS	197	3.5	191813.73	90.6

*/ 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 más 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.

2.5.4 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 está concentrada en 15 comunidades campesinas en Castilla con un 63.1%, seguida por personas jurídicas que poseen 30.1%, de la superficie agropecuaria provincial.

2.5.5 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, se desconoce se sus viviendas están próximas o distantes de la Unidad Agropecuaria, en cambio, un 42.1% declarar que residen en la UA.

CUADRO N° 4
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° 5
LUGAR DE RESIDENCIA DE LOS PRODUCTORES

AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA

PROVINCIA Y LUGAR DE RESIDENCIA	PRODUCTORES */	
	Nº	%
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
CASTILLA	5513	100.0
VIVE EN LA UNIDAD AGROPECUARIA	2317	42.1
NO VIVE EN LA UNIDAD AGROPECUARIA	3178	57.6
NO ESPECIFICADO	18	0.3

*/ 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.

2.5.6 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° 6
CONDICION DE ALFABETISMO DE LOS PRODUCTORES
AGROPECUARIOS INDIVIDUALES, SEGUN PROVINCIA

PROVINCIA Y CONDICION DE ALFABETISMO	PRODUCTORES */		SUPERFICIE	
	Nº	%	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.

2.5.7 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 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° 7
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.

2.5.8 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° 8
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 trabajadas.
FUENTE: INEI - III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO, 1994.

CAPITULO III

GEOLOGIA

3.1. FISIOGRAFIA

En el área de este estudio se distinguen dos grandes sectores que contrastan por su topografía:

a.- El sector sudoccidental, que es el mayor, cuya topografía es llana y forma parte de la unidad descrita como planicie costanera.

b.- El sector nororiental, de topografía abrupta, que constituye parte del flanco andino occidental.

3.1.1 Planicie costanera

La llanura o planicie, tiene en la hoja de Aplao una gran extensión, con un ancho aproximado de 45 Km. y una cota media de 1,400 m., hallándose la mayor altura en los declives montañosos del flanco occidental, y la menor, hacia la Cordillera de la Costa.

Bajo los aluviones cuaternarios de la llanura, se halla una amplia superficie erosional labrada sobre la formación Moquegua, referida por Jenks en la hoja de Arequipa como pedimento de Vitor.

Los ríos Majes y Sihuas, rompen la monotonía del paisaje al abrir anchos valles provistos de vegetación; corriendo, el primero hasta 850 m. bajo el nivel del llano, mientras que el segundo lo hace hasta 160 m.. A la parte de la planicie que separa estos dos ríos se le conoce con el nombre de Pampas de Majes, a la que disectan varias quebradas secas de escasa profundidad, como son las de Molles, Hospicio, Espíritu Santo, etc., en cuyos lechos se desarrollan arbustos muy dispersos y especialmente los árboles llamados “molles”.

El eolismo se manifiesta sobre ella de manera notable, removido por la fuerte insolación que experimenta la mayoría de los días; muchas de sus depresiones largas y de bordes bajos corresponde a quebradas cubiertas por arena eólica. En el trayecto Huacán-Tambillo-Santa Rita de Sihuas, existen cadenas de dunas que avanzan sobre el llano, al impulso de los vientos del Suroeste.

3.1.2 Flanco Andino Occidental

El macizo de la Caldera, que se remonta bruscamente sobre los llanos costaneros como una barrera que alcanza hasta más de 3,000 m. de altitud, integrando el flanco andino occidental

representado por los cerros Quemado (3,447 m.), Altiburro (3,210 m.), Totorayoc (3,543m.), Cunitirca (3,415 m.) y otros.

Sus líneas de drenaje, casi en su totalidad, se hallan en la etapa juvenil, siendo característico que las de régimen constante, al disectar la planicie costanera, se transformen en valles amplios (Valles de Majes y Sihuas).

3.1.3 Cadena costanera

Este rasgo descrito también como “Cordillera de la Costa”, tiene escasa extensión dentro de la hoja de Aplao, en donde está representado por algunas colinas-testigo, de naturaleza gnéisica, distribuidas en una pequeña área de la esquina Suroeste del cuadrángulo, así como en el extremo Nororiental del macizo de Loma Larga, en el límite meridional de la hoja. Tanto las colinas como este macizo están en gran parte cubiertos por arena eólica.

3.1.4 Drenaje

El drenaje del área se realiza hacia el Océano Pacífico por medio de valles consecuentes. Los ríos Majes y Sihuas, que nacen en las partes altas de los Andes Occidentales, son los únicos que tienen agua durante todo el año. Las descargas diarias

del Majes, que varían entre 24,000 y 420,000 litros por segundo, son suficientes para irrigar más de cuatro mil hectáreas en el valle.

Las quebradas generalmente son secas, de manera esporádica se encuentra pequeños lugares con afloramiento de agua, conocidos localmente como “aguadas”, ubicado en los lechos de algunas de estas quebradas.

El drenaje es de tipo paralelo-dendrítico, resultante del paralelismo de los cursos principales y de la distribución dendriforme de los tributarios.

Los cursos de agua, al atravesar los ígneos de La Caldera, han dado lugar a valles con sección transversal en “V”, cuyos flancos muy apretados, se ensanchan al cortar planicie costanera, y se vuelven a estrechar al disectar la Cordillera de la Costa.

3.1.5 Clima

En las áreas correspondientes a la cordillera de la Costa y a la llanura costanera, el clima es templado a cálido y seco, mientras que en el flanco andino es templado y subhúmedo. Los registros hechos desde 1949 por la estación meteorológica de primer orden ubicada en la Pampa de Majes 72° 10'13" Long. W. ; 16° 21'40" Lat. Sur y 1,440 m.s.n.m.), nos permiten conocer algo sobre el clima de la llanura costanera.

Medias Anuales:

Temperatura a la sombra: 17.97 (según registros de 1949-1959).

Precipitaciones: 0.80 mm. (según registros de 1949-1953)

Evaporación: 9.36 mm. (según registros de 1949-1953).

Horas de sol: 10 h. 11'41".

Vientos predominantes:

Hora	Dirección
07.00	NNE (N 22° 30' E)
13.00	SSW (S 22° 30' W)
18.00	SSW (S 22° 30' W)

3.2. ESTRATIGRAFIA

En la región investigada afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyo rango cronológico se extiende desde el Precambriano hasta el Cuaternario. El espesor de la secuencia sedimentaria sobrepasa los 4,000 m., parte de la cual ha sido intruída por rocas de composición predominantemente diorítica y granítica.

Complejo Basal de la Costa

Bellido (1960) aplicó esta denominación a rocas metamórficas compuestas por gneis y esquistos, asociados con dioritas y granitos antiguos, que afloran en gran parte de la Cordillera de la Costa del Sur del País.

En la hoja de Aplao (Figura N° 2), las rocas del Complejo basal afloran en los flancos del valle del Majes, entre las localidades de Punta Colorada y la Hda. Sarcas, y a partir de la Hda. Torán hacia el Suroeste, prolongándose a la hoja vecina de La Yesera. Otros afloramientos de las mismas rocas se presentan en la esquina suroccidental del

cuadrángulo, formando colinas y cerros bajos que se pierden gradualmente bajo los aluviales de la llanura costanera.

Gneis.- Salvo unos escasos afloramientos de diorita gnéisica, el gneis constituye casi la totalidad de las rocas del Complejo basal dentro de la Hoja de Aplao. El gneis se presenta como una roca compacta, ligeramente intemperizada, de color gris verdoso que varía a gris rojizo. Por lo general, muestra una estructura bandeada bastante definida, en el fondo y laderas de las quebradas, especialmente en el valle del Majes, donde las bandas tienen espesores de 0-5 a 1 cm. y excepcionalmente hasta 100 cm.; en otras localidades como en Loma Larga y Quebrada Molles, el bandeamiento es menos pronunciado o ausente. Las bandas claras consisten de feldespatos y cuarzo, y las oscuras, de biotita y hornblenda.

Diorita gnéisica.- En el Morro Sihuas se ha observado una diorita de color gris parduzco, de textura granular, de grano medio y fractura desigual, que muestra una cierta alineación de sus elementos. Entre sus componentes macroscópicos se distinguen plagioclasas, cuarzo y ferromagnesianos. Observada al microscopio la roca presenta textura granular xenomórfica gnéisica y la siguiente composición mineralógica: cuarzo en granos alotriomorfos aplastados, con fuerte extinción ondulante, cuyos bordes, en el contacto con las plagioclasas, están corroídos; plagioclasas fuertemente caolinizadas y calcitizadas de formas más o menos lenticulares; biotita muy cloritizada que contiene magnetita. Además, se presentan algunos cristales de granate.

Los porcentajes de los componentes son: cuarzo, 35%; biotita 27%, plagioclasa 35% y granate 3%. La roca ha sido clasificada como diorita cuarcífera de textura gnéisica.

Formación Torán

El nombre de formación Torán se designa a una secuencia de rocas sedimentarias que afloran en ambas laderas del valle del Majes. La formación consiste de areniscas brunorrojizas, areniscas y lutitas gris verdosas y conglomerado de base, que descansan en discordancia sobre el gneis del Complejo basal, y están cubiertas en discordancia angular por el miembro superior de la formación Moquegua.

Grupo Ambo

En la parte central de la mitad Norte del cuadrángulo, en los cerros Matacaballos y Lubrinillas, aflora una secuencia de más de 800 m. de lutitas grises y grises rosáceas, limosas bien laminadas que contienen materias carbonosas, que hacia la base alternan con algunos estratos delgados de cuarcitas y areniscas gris verdosas, calizas brunas, lutitas y limolitas esquistosas oscuras, cubiertas en discordancia angular por la

formación Moquegua. El rumbo medio de la secuencias es N° 32° W y la inclinación 35° SW, pero las capas inferiores llegan hasta 63° , debido probablemente a las intrusiones.

Tanto el cerro Mataballos como el Lubrinillas constituyen remanentes de erosión, mayormente circundados por aluviones.

Grupo Yura

Jenks (1948) describe por primera vez la formación Yura en la hoja de Arequipa; posteriormente, debido a que es posible distinguir unidades mapeables dentro de su secuencia, varios geólogos le han asignado la categoría de grupo, y como tal es considerado en este informe.

En el área de la hoja de Aplao los afloramientos de este grupo se presentan en las laderas del valle del Majes, aguas arriba de Corire, así como en la confluencia de las quebradas de Sícera y Huacán y en la región de Lluta.

A causa de la solidez y resistencia de las rocas que conforman este grupo, sus afloramientos constituyen farallones en los cortes producidos por los ríos, que contrastan con los taludes tendidos que forman las rocas de la formación Moquegua, como podemos observar muy bien en el trayecto de Corire a Huancarqui. En las vecindades de Lluta, los horizontes cuarcíticos dan lugar a pendientes de buzamiento.

La litología del grupo Yura consiste principalmente de cuarcitas blanco-grisáceas, blanco-amarillentas, grises y rosadas, con intercalaciones de lutitas grises y gris oscuras y areniscas blanco-grisáceas hacia la base. En el valle del Majes, cerca de la parte media de la secuencia aflorantes, se intercalan calizas gris oscuras.

Entre las haciendas La Real y la Barranca, sills lenticulares de composición intermedia perturban la secuencia normal, a tal grado que vistos a la distancia, dan la impresión de ser verdaderas discordancias.

En la margen oriental del valle, entre las haciendas Casa Grande y Rancho Alegre, las cuarcitas y lutitas tienen un rumbo N 60°E con buzamientos de 30 – 38° al NW. más al norte, las exposiciones son muy pequeñas y finalmente, aguas arriba de Huancarqui, se hallan muy perturbadas por su cercanía a un intrusivo.

Un pequeño remanente de erosión, constituido por cuarcitas y lutitas de este grupo, se exponen en la confluencia de las quebradas de Huacán y Sícera.

Las lutitas de este grupo, en especial las que encierran fauna, sugieren una sedimentación en un mar tranquilo, cercano al litoral. Las calizas de Querulpa, de origen marino, a juzgar por sus intercalaciones de lutitas carbonosas, deben haberse formado bajo condiciones reductoras; mientras que las cuarcitas, en particular las que tienen laminación cruzada, probablemente son de origen continental (eólico).

Formación Murco

Hacia el ángulo Noreste de la hoja y a pocos kilómetros al Sur de la localidad de Lluta, existen dos pequeños afloramientos alargados en dirección Este-Oeste, constituidos por arcillas y areniscas predominantemente rojas y en parte abigarradas, con intercalaciones

de conglomerados grises, similares lo descrito por Jenks como formación Murco en la hoja de Arequipa, La localidad típica, el pueblo de Murco, se halla relativamente cerca de Lluta.

En la hoja de Aplao la formación Murco alcanza unos 80 m. de espesor; su contacto con las cuarcitas del grupo Yura es transicional y soporta con aparente concordancia a las calizas Arcurquina. La formación se halla conformando los flancos de un sinclinal y de un anticlinal adyacente; ésta última estructura ha sido cortada en su flanco Sur por el batolito de La Caldera.

Calizas Arcurquina

En el área de Lluta afloran calizas gris claras con estratificación delgada, nódulos de chert de 10 a 15 metros de grosor, que reposan sobre las areniscas de la formación Murco; sin embargo, las relaciones entre ambas unidades no son claras, debido al plegamiento, pero regionalmente han sido informadas como yacentes en concordancia aparente. El límite superior es desconocido por haber sido denudado, hallándose solamente cubierta en parte por materiales clásticos cuaternarios.

Formación Moquegua

G. I. Adams (1906) describió la formación Moquegua y posteriormente, G. Steinmann (1930) la dividió en dos miembros. En el área del presente trabajo, la formación Moquegua está ampliamente distribuida, habiéndose identificado como tal, porque sus afloramientos aparte de que son muy similares, se presentan casi en forma continua desde su localidad típica.

Moquegua inferior.- Este miembro se presenta principalmente en ambas laderas del valle del Majes, desde la latitud de Corire hasta el batolito por el Norte aflorando también en otros lugares. En el cuadrángulo estudiado, las capas del Moquegua inferior, descansan en discordancia angular sobre los grupos Ambo, Yura, y la superficie erosionada del batolito, soportando a su vez con débil discordancia al Moquegua Superior.

Las capas se inclinan ligeramente al SW, salvo en aquellos sitios donde se han producido inclinaciones más fuertes por el reajuste de fallas preexistentes, o por la compactación de los sedimentos sobre una topografía similarmente inclinada.

La litología consiste de areniscas arcóscas, arcillas rojas y conglomerados. Las primeras son de grano medio, hasta conglomerádico, presentándose a veces, en bancos de 50 a 150 cm. Las arcillas se intercalan también con láminas de yeso. Los conglomerados son abundantes y mayormente incoherentes.

Moquegua Superior.-Las rocas de este miembro, juntamente con los aluviones cuaternarios, ocupan una gran parte del área del cuadrángulo de Aplao, sus mejores exposiciones se hallan en el valle del Majes donde, más o menos, desde la hacienda Pedregal hacia el Norte, yacen con suave discordancia erosional sobre el miembro Moquegua inferior. Además, reposan directamente sobre el Complejo basal, la formación Torán y el batolito.

Este miembro es fácilmente distinguido por sus tonalidades claras que contrastan con las rojizas del Moquegua inferior; por lo general sus capas tienen posición horizontal y en algunos casos muestran una ligera inclinación al Suroeste.

La litología consiste principalmente de areniscas blanco grisáceas, de grano medio a fino, hasta conglomerádicas, con algunas capas de arcilla y conglomerados de cantos chicos.

Conglomerado aluvial pleistocénico

Una gran parte de la pampas costaneras del cuadrángulo de Aplao está constituida por un conglomerado ligeramente consolidado, formado por elementos de composición y tamaño muy variados, el cual yace en discordancia sobre las rocas de la formación Moquegua, y está en parte cubierto por depósitos eólicos aluviales más reciente. El conglomerado es mayormente macizo y en otros casos con estratificación en bancos gruesos, de posición subhorizontal o suavemente inclinados al Suroeste

Una sección bien expuesta de este conglomerado se encuentra en el flanco occidental del valle del Sihuas, en el corte de la Carretera Panamericana, con un grosor superior a los 150 m. y compuesto por conglomerados de diferente textura y diagenización; cuyos elementos mayormente bien redondeados corresponden a gneis, granito, granodiorita, riolita, traquita, andesita y cuarcita, con intercalaciones lenticulares de arcillas grises y cenizas blanquecinas.

A lo largo del valle del Sihuas, se observa que el tamaño de los clásticos disminuye a medida que incrementa la distancia al flanco andino occidental. Dicha disminución en el tamaño de los elementos ha dado lugar en determinadas áreas, como la de Santa Rita de Sihuas, a una textura apropiada para trabajos agrícolas.

Tufos volcánicos cuaternarios

En los flancos del valle del Sihuas, entre las localidades de Tambillo y Pitay, existen restos de depósitos volcánicos consistentes de tufos blancos y rosados, que descansan sobre el miembro superior de la formación Moquegua.

En la ladera Oeste del Valle, entre Santa Isabel de Sihuas y Sondor, al pie de la carretera una de las exposiciones consiste de tufo rosado en la base, marrón clara en el medio y blanco en el tope, mayormente de naturaleza riolítica.

El tufo rosado es el más compacto de los tres, su grano es de medio a fino, pero también contienen clásticos hasta de medio centímetro; la masa granular mayormente es de ortosa, a la que acompañan pequeñas proporciones de cuarzo en granos de 0.5 a 2 mm. y laminillas de biotita de 0.25 a 1 mm.

El tufo marrón claro es de grano fino, blando y más poroso que el rosado, con elementos correspondientes a cristales de sanidina de aspecto pulverulento y laminillas de biotita, cuyo tamaño llega hasta 2 cm. en el primer caso y 2 mm. en el segundo.

El tufo blanco es muy poroso y deleznable, de grano muy fino y presenta una pequeña proporción de biotita en laminillas de 0.25 a 1 mm.

Depósitos clásticos recientes

Entre este tipo de depósitos, los más importantes dentro del área, son los siguientes:

Terrazas fluviales.- En ambas márgenes de los ríos Sihuas y Majes existen terrazas fluviales de pequeña extensión. La terraza fluvial más importante dentro del cuadrángulo, está situada en la esquina Noroeste, en la margen occidental del río Majes, entre la localidad de La Barranca y la hacienda Quiscay, y es conocida como “Pampa de los Castillos”. Su espesor es de unos 100 m. y está constituida por un alto porcentaje de rodados ígneos, cuyo 20% más o menos, tiene dimensiones que varían entre uno y cinco metros; el resto, lo integran cantos, guijarros, gravas y arenas. Dicha textura evidencia que parte del depósito ha sido formado por procesos de aluvionamiento.

En el valle del Sihuas, las terrazas están principalmente distribuidas entre la localidad de Tambillo y la hacienda Las Higuieritas, con caracteres muy similares a las anteriores.

Aluviones.- Los aluviones más extensos en la hoja de Aplao están localizados en los lechos de las quebradas Santa Rosa, Sícera, Huacán, Molles y parcialmente en los valles de Majes y Sihuas. El tamaño de los elementos constituyentes varía desde bloques de más de un metro hasta el de la partículas de arcilla. Los de mayor tamaño se presentan en las cabeceras de las líneas de drenaje y al pie del flanco andino, como se comprueba en las quebradas Huacán, cerca de cuyas nacientes se encuentran rodados de más de 0.80 m.

La composición también es variada, (gneis, granito, cuarcita, lavas, etc.); pero en las quebradas de corto desarrollo, como es la de Cochate, al Sur de Aplao, los elementos provienen en su mayoría de las rocas que forman los flancos respectivos.

Coluvios.- Los depósitos coluviales tienen una moderada extensión en la localidad de Sondor ubicada en el valle del Sihuas, donde se han formado por desprendimientos de los elementos del conglomerado que cubre a la formación Moquegua.

Depósitos eólicos.- En el cuadrángulo de Aplao, las acumulaciones eólicas consisten de mantos de arena, dunas aisladas, cadenas de dunas y ceniceros o depósitos de ceniza volcánica.

Las cadenas de dunas ocupan una área más o menos extensa en la esquina Sudeste del cuadrángulo, al Norte de la irrigación de Santa Rita de Sihuas; también se les encuentra en el borde occidental del valle del Sihuas, aguas debajo de Tambillo. Dunas aisladas existen en diversos lugares de las pampas costaneras, con una altura que no excede de los 3 m. habiéndose estimado en unos 25 m. su avance normal por año. Los depósitos de ceniza volcánica retransportada son frecuentes en los alrededores del morro de Sihuas, tienen pequeña extensión y escaso grosor, estando algunas veces cubiertos por una delgada capa de arena eólica.

3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En el área de la hoja de Aplao las estructuras observadas más importantes corresponden a fallamientos y plegamientos. La extensa cobertura de depósitos aluviales, probablemente enmascara evidencias de muchas otras.

Fallamiento

Las fallas que se registran en el cuadrángulo de Aplao corresponden a esfuerzos comprensivos y tensionales, con rumbos muy variados que no permiten agruparlas en sistemas; tampoco se les ha observado en rocas más jóvenes que la formación Moquegua.

En el terreno estas fallas quedan en evidencia especialmente en los flancos de los valles y quebradas, al poner en contacto brusco y anormal a unidades o niveles diferentes. A continuación describimos las fallas más importantes del área.

Falla Loma Larga.- Se ha inferido esta falla en base a una escarpa casi vertical que presenta el macizo de Loma Larga constituido por rocas del Complejo basal. La estructura corre con rumbo N 50° E por más de 13 Km. dando lugar a un desnivel topográfico superior a los cincuenta metros, de tal manera que se manifiesta como un rasgo notorio tanto en el terreno como en las fotografías aéreas, ya que forma un farallón que contrasta con la llanura costanera que se extiende hacia el Norte.

A ambos lados de la escarpa, existen afloramientos del Complejo basal, y aparentemente el bloque que ha descendido es el del lado NW. por el extremo Sur pasa al cuadrángulo de Mollendo, mientras que hacia el Norte desaparece bajo los aluviones cuaternarios.

Falla Punta Colorada.- Esta falla se reconoce por algo más de un kilómetro en la ladera derecha del valle de majes; se manifiesta porque pone en contacto casi vertical y con rumbo N-S, a las areniscas grises del miembro superior de la formación Moquegua con las rocas del miembro inferior de la misma; así como a la formación Torán con el Complejo basal. El lado que ha descendido es el del Oeste. Las areniscas rojas, situadas al lado Este constituyen un promontorio notable que ha merecido el calificativo de “Punta Colorada”, por los habitantes del valle.

Falla Huancarqui.- Es una falla inversa, muy conspicua, que se desarrolla en la margen izquierda del valle de Majes, frente a Aplao y al Norte de Huancarqui, donde sedimentos del grupo Yura han sido empujados según un plano de rumbo N 30° W e inclinación de 78° al NE, sobre otras capas del mismo grupo. Los estratos del miembro inferior de la formación Moquegua, que yacen encima, han sido curvados sin llegar a ser rotos; en cambio las capas del miembro superior de la misma formación sólo exhiben un ligero ondulamiento sobre la traza de la fractura.

Plegamiento

El plegamiento más notable dentro del cuadrángulo se presenta en el grupo Yura, en el área de Lluta, donde se observa varios anticlinales y sinclinales con ejes que se orientan casi E-W, y se prolongan dentro de las hojas vecinas.

El ancho de la faja plegada del grupo Yura es de más de 5 Km., estando truncada hacia el Sur por las rocas del batolito y del Complejo basal.

Fuera del sector de Lluta, el grupo Yura sólo presenta plegamientos suaves, al igual que el grupo Ambo, mientras que la formación Moquegua exhibe algunas ondulaciones de carácter local.

Rasgos estructurales menores

Entre las haciendas Santa Elena y Querulpa, ocurren dos fallas tensionales que causan un pequeño desplazamiento vertical de los estratos del grupo Yura, ambas tienen rumbo NE-SO con buzamientos al SE. y están separadas entre sí por algunos kilómetros.

Al Norte de la hacienda Pedregal, se expone una falla inversa de orientación NE-SO e inclinación de 40° al NO, que afecta a las capas del grupo Yura, en tanto que los estratos de la formación Moquegua, sólo están flexionados.

También en el grupo Ambo (?) y algunas veces en el gneis, se observan juntas casi verticales orientadas de Norte a Sur.

Las capas de la formación Moquegua, entre los cerros Matacaballos y La Yesera, manifiestan una flexura por más de 10 Km. que las hace inclinar entre 35° y 40° hacia el Sur, siendo probable que en profundidad esté relacionada con una falla que correría paralelamente al flanco andino occidental.

CAPITULO IV

GEODINAMICA EXTERNA

4.1 FACTORES

Los parámetros que intervienen en la ocurrencia de los fenómenos de geodinámica externa que se localizan en el área se correlacionan de la siguiente manera:

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

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

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

- **Volcánico.**- La actividad del Sabancaya fundamentalmente puede originar avalanchas, flujos y otros fenómenos de geodinámica externa.

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

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

4.2 PROCESOS DE GEODINAMICA EXTERNA

En la cuenca del Colca-Majes-Camaná los procesos geodinámicos son sumamente activos, por consiguiente de incidencia negativa en el medio físico, centros poblados, infraestructura y la actividad socioeconómica de la cuenca (minería, agricultura, turismo, etc.)

Los procesos geodinámicos están relacionados a las unidades geomorfológicas y se agrupan según su espacio y origen, en el caso del valle de Majes estas se presentan, en las planicies costaneras y áreas adyacentes (Cordillera de la costa y en la cordillera andina (Valles, planicie alta, nieves perpetuas).

4.2.1 Planicie costera

Procesos de origen fluvial: Los Flujos de Barro (Huaycos) están estrechamente relacionados con las precipitaciones pluviales, sean periódicas, ocasionales y excepcionales tal como se presentan en la cuenca. Estos flujos actúan en las llanuras, transportando materiales, disectando las planicies y en algunos casos depositando sus materiales en forma de conos de deyección, se presentan en ambos márgenes del río Majes. Entre las quebradas más importantes tenemos: Pucahuayra, Los Molles, Sicera, Calvario, Cosos, etc. El Río Majes en este sector desarrolla los procesos de socavamiento de riberas, ensanchamiento del lecho fluvial e inundación de extensas áreas de cultivo.

4.2.2 Cordillera Occidental

En este sector se tienen los siguientes procesos.

Procesos de origen fluvio-aluvial: Los procesos de dinámica fluvial (incisión, socavamiento, transporte y colmatación) se desarrollan en forma intensa en los ríos Colca (sector Tuti-Pinchollo-Andamayo, Cañón del Río Colca), Orcopampa, Grande-Qda. Huacucane, Majes y Taparza.

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

En el fondo de algunos valles menores la erosión llega a formar quebradas y cárcavas con profundidades y anchuras superiores a los centenares de metros, como en el río Grande, quebradas Huacucane, Morillos, Pucayura, Pucahuayra y algunos sectores del río Colca.

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

Los deslizamientos son importantes en el valle del río Colca, entre Chivay y Pinchollo (deslizamientos de Lari, Maca, Madrigal, etc.). Asimismo, en el año de 1997 ocurrió un gran deslizamiento en el sector de Ayo, ocasionando un represamiento de grandes proporciones, pero que afortunadamente el desembalse se produjo en forma gradual. Muchas de las manifestaciones de geodinámica que ocurren en las partes altas de la cuenca, podrían tener repercusiones en el sector de Majes.

4.3 PROCESO DE ORIGEN ANTROPICO:

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

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

Urbanismo: Emplazamiento de poblados en las desembocaduras de los ríos, quebradas; en lecho de los ríos, al pie de taludes inestables, etc. Fotos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

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 N° 8 y 9.

Minado y acumulación de relaves mineros: Minas Orcopampa, Arcata, Shila, Mina Madrigal. Foto N° 10

Terrenos de cultivo: La expansión de los terrenos de cultivo en las áreas cercanas al lecho de los ríos (Majes), el labrado, el sobrepastoreo, la deforestación (utilización de arbustos y otras plantas para combustible) y en muchos casos la quema de pastizales (ichu) como en la cuenca alta. Foto N° 11.

4.4 RIESGOS NATURALES O GEOLÓGICOS:

Estos pueden producirse como consecuencia de la dinámica propia del medio geológico, correspondiente a acciones previsibles a escala de tiempo humano y fruto de los

procesos de geodinámica externa e interna y que pueden afectar a las personas y a los bienes.

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

4.4.1 Inundaciones (avenidas extraordinarias)

En la Cuenca baja del río Majes-Camaná y en algunos sectores de la cuenca media y alta, el río actúa erosionando y acumulando material, los riesgos señalados se basan en el criterio geológico de la “llanura aluvial geológicamente activa” y en observaciones directas de campo. Estas avenidas se han registrado en diferentes períodos como los de: 1952-53, 1953-54, 1954-55, 1973-74, 1974-75, 1976-77, 1984-85 y en el periodo 1993-94 en el verano, con inundaciones y desbordamientos graves en el valle del río Majes. Fotos N° 12, 13, 14, 15, 16 y 17.

Los principales sectores con peligro de inundaciones en el valle de Majes, son los sectores de Ongoro-Santa Rosa, Acoy-Aplao, Aplao-Corire, Corire-Punta Colorada, Punta Colorada-Torán . Específicamente las localidades de mayor vulnerabilidad son Torán y Pampa Blanca en la margen izquierda del río, que afectaría a terrenos de cultivos; en el área de El dique en la margen derecha y que podría afectar gravemente a terrenos de cultivo y al poblado de Corire y anexos; los terrenos de cultivo frente a la localidad de Querulpa Chico (Rescate) es una área suceptible a inundaciones; los terrenos de cultivo frente a la localidad de Cochate (El Reparó); la margen derecha de río en la localidad de Caspini y que afectaría terrenos de cultivo y viviendas rurales; los terrenos de cultivo frente a la localidad de Aplao

y en el sector de Huatiapilla en la margen derecha y que afectaría a terrenos de cultivos. (Mapa N° 1)

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 o liquidez, en cuyo caso la masa suprayacente (consolidada o suelta) se desliza sobre este plano. (Mapa N° 2)

En la cuenca alta y media, la zona de deslizamientos más activa es la que se localiza entre Chivay y Pinchollo (Mapa N° 3). En este sector los factores principales de inestabilidad están dados por:

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

El deslizamiento más importante y activo es el de Chacaña (Maca), como se aprecia en la Foto N° 18 Los deslizamientos en este sector tienen relación con la incompetencia del material afectado (depósitos lacustres: lodolitas, arenas y conglomerados inconsolidados a medianamente consolidados, alternados con depósitos proluviales), napa freática superficial y fundamentalmente erosión lateral al pie del talud (río Colca) y sismos, que van propagándose hacia arriba hasta dejar una masa importante alterada por inhibición y mecánicamente con muchas superficies de deslizamiento. Esto facilita la infiltración de las aguas de precipitaciones y/o irrigación, la inhibición y la pérdida de la resistencia al corte de una masa importante, que al final acaba deslizándose en su conjunto.

Este mecanismo se observa en casi todos los sectores del área, salvo la incentivación sísmica que se manifiesta en el área de Maca y alrededores, afectando las laderas, causando numerosos problemas al trazado de obras lineales (carreteras y canales), centros poblados y terrenos de cultivo.

En la localidad de Maca (Chacaña) el deslizamiento puede ser de gran magnitud, ya que se observan grandes agrietamientos en la parte superior de él, pudiendo afectar la carretera Maca-Cabanaconde-Huambo-Arequipa, terrenos de cultivo e inclusive puede represar el río Colca.

En este sector también son importantes los deslizamientos de Lari y Madrigal actualmente estabilizados pero con riesgo alto, donde las condiciones de inestabilidad persisten. (Fotos N° 19, 20, 21 y 22).

Desde Chivay hasta Sibayo, se localizan los deslizamientos de Conocota y Ccesca, de poca magnitud, provocados principalmente por la erosión lateral del río Colca.

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 más frecuentes en relación con el sistema de precipitaciones e incentivación sísmica.

Los derrumbes se produce en macizos rocosos y materiales inconsolidados, producidos por heterogeneidad litológica, fracturamiento, taludes pronunciados, precipitación e incentivación sísmica. En el área de estudio se ha logrado identificar varios sectores potencialmente peligroso como es el caso de El Dique donde las rocas fracturadas de la

formación Yura representa un peligro para el tránsito; en la localidad de Quiscay donde los sedimentos de la formación Moquegua se encuentran inestables y afectaría la carretera; un pequeño sector en la localidad de Barranca también representa un peligro moderado, porque podría ocasionar interrupción en la carretera; en la zona de Caspini las rocas intemperizadas de la formación Yura representa un peligro moderado por la posibilidad de interrupción en el tránsito; en el sector de Querulpa Chico las rocas de la formación Yura afectaría unos 800 m de la carretera asfaltada, algunas viviendas y terrenos de cultivos.

En el sector de Sunimarca las rocas de la formación Yura se encuentran fracturadas y con poca estabilidad y con el peligro de derrumbes en la carretera; en el sector de el Morro los conglomerados de la formación Moquegua afectaría a la carretera, terrenos de cultivo y viviendas; en el sector de la Mesana el derrumbe de la formación Moquegua podría causar una interrupción en la carretera; la inestabilidad de los conglomerados de la formación Moquegua en el ingreso de valle también representa peligro potencial moderado por efectos de los derrumbes.

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 flujos de barro (Mapas N° 4 y 5), éstas son:

- Márgenes del valle del río Majes: huaycos excepcionales, ocasionales y flujos de barro plásticos.
- Ambas márgenes del valle del río Grande o Qda. Huacucane: Huaycos ocasionales, excepcionales y flujos de barro plástico.

- 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,.
- Márgenes del río Colca entre Pinchollo y su confluencia con el río Capiza (incluyendo el Cañón del río Colca): Huaycos y flujos de barro plástico periódicos y ocasionales.
- En el sector del valle agrícola del río Colca (ambas márgenes), entre Chivay y Pinchollo: Huaycos y flujos de barro plástico periódicos y ocasionales
- Sector río Ayo y río Andahua (ambas márgenes): Huaycos y flujos de barro plástico ocasionales.

En la zona de estudio (valle de Majes) se puede precisar las principales quebradas que podrían activarse:

- La quebrada Ongoro afectaría la carretera Aplao-Viraco y terrenos de cultivos adyacentes.
- La activación de la quebrada Quiscay interrumpiría la carretera Aplao-Viraco
- La quebrada de Cosos puede afectar la carretera asfaltada hacia Chuquibamba y Viraco y al poblado del mismo nombre, así como a terrenos de cultivos (Mapa N° 6) Foto 23.
- La quebrada del poblado de Huancarqui, su reactivación puede ocasionar inundación y daños en terrenos de cultivos (Mapa N° 7) Foto 24.
- La quebrada de Sicera y Huacán por su recorrido, puede resultar altamente peligroso sobre todo al poblado del Pedregal (Fotos N° 25 y 26).

CAPITULO V

GEODINAMICA INTERNA

5.1 SISMICIDAD

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

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

5.1.1 Sismicidad Histórica

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

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

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

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

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

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

24 de Noviembre de 1604.- A las 13:30, la 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 Siguan y Majes, alcanzando en Aplao y Siguan una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.

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

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

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

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

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

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

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

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

desbordamiento del mar. La primera ola sísmica alcanzó una altura de 12 metros y arrasó el puerto de Arica. A las 18:30, el mar irrumpió nuevamente con olas de 16 metros de altura, finalmente a las 19:10, se produjo la tercera ola sísmica que varó la corbeta América de 1560 toneladas y el Wateree de los Estados Unidos, que fueron arrojados a unos 300 metros de la playa tierra adentro. Las salidas del mar, arrasaron gran parte del litoral peruano y chileno, muriendo en Chala 30 personas y en Arica unas 300 personas. La agitación del océano llegó hasta California, Hawai, Yokohama, Filipinas, Sidney y Nueva 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 Zelandia y Yokohoma, en Japón.

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

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

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

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

11 de Octubre de 1939.- A las 09:59. Se registró un fuerte sismo en el Observatorio Sismológico de Lima. Causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí, además provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando intensidades de VII en Chuquibamba, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

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

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

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

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

15 de Enero de 1958.- A las 14:14:29. Terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli, y de grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M.S.K.(Medvedev, Sponheuer y Karnik), este movimiento causó daños de diversa magnitud en todas las viviendas construidas a base de sillar, resistiendo sólo los inmuebles construidos después de 1940, (Fig. N° 3)

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° 4). 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 Mejia tuvo una Intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli, en la ciudad de Arequipa se sintió con una magnitud de 6.0 y una intensidad de grado VIII; el epicentro se ubicó a -16° Lat. S. y -72° Long. W.

26 de Enero de 1964.- A las 04:00 se produjo un sismo en el sur del Perú, en Arequipa como producto del violento movimiento se registró cuatro heridos, y daños en las viviendas que ya se encontraban remecidas por anteriores sismos, este sismo tuvo una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli en la ciudad de Arequipa, 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° 5).

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° 6.

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 subduida bajo la Región Andina. Los investigadores como Isacks & Molnar (1971), Sykes (1972), Barazangi & Isacks (1976, 1979), Sacks (1977), Snoke et al. (1977), tomando como base los datos de los catálogos internacionales y las

soluciones de los mecanismos focales muestran la existencia de características distintas en el plano de subducción.

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

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

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

A partir de los 300 Km. de profundidad, no hay presencia de actividad sísmica en la zona de Benioff sobre la región andina, sin embargo ésta vuelve aparecer cerca de los 500 Km., lo que conduce a especulaciones sobre la continuidad en profundidad de la zona de Benioff, sobre esa región (Baranzangi & 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 7 y 8, 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 8, a diferencia de la Figura 7, muestra con mejor detalle la sismicidad local del área de estudio obtenida a partir de campañas sísmicas locales a pesar de que el periodo de adquisición de datos de dichas campañas es muy corto (1965, 1969, 1975-1976, 1980-1981), podemos notar dos claros alineamientos posiblemente asociados a estructuras activas, el primero cerca a la ciudad de Arequipa que tiene un largo aproximadamente de 150km. y 40km. de ancho y oscila en un rango de profundidades superficiales. El segundo alineamiento se encuentra más pegado a la costa y tiene un

largo de aproximado de 140 km. y un ancho de 30km, oscila en un rango de profundidades entre superficiales e intermedias, profundidades que serán mejor detalladas al realizar las secciones sísmicas las mismas que permitirán hacer una mejor zonificación. También se puede notar actividad correspondiente a la zona de subducción hacia el oeste de la línea de costa.

El rango de magnitudes de esta actividad es muy pequeño, se encuentran sismos desde una magnitud de 2.5 a 4.0 como se puede ver en el catálogo obtenido a través del

reprocesamiento de los datos de Schneider y usando la fórmula obtenida para la determinación de la magnitud (M_D) a partir de la coda de duración de los sismos.

Secciones sísmicas.- Estas secciones (Fig. N° 9) 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 PELIGRO POTENCIAL DEL VOLCAN SABANCAYA

El Volcán Sabancaya tuvo sus primeras manifestaciones de reactivación el año 1990, con sismos de regular magnitud que empezaron en el mes de abril del 90, éstos fueron los primeros indicios importantes o mayores de la actividad del Volcán, y posteriormente a fines del mes de mayo el Volcán Sabancaya empezó a lanzar emisiones de vapor y cenizas.

Los Estudios sísmicos realizados en los años de 1990 y 1994, confirman que la fuente principal de la actividad sísmica de la región se encuentra localizado próximo al Volcán Hualcahualca (Fig. N° 10). La profundidad focal de los sismos esta en un rango de 3 a 9 Km.

En éste estudio se utilizaron equipos portátiles modernos (adquiridos mediante el Proyecto de Investigación ONU-UNSA), instalándose 3 equipo sísmicos, distribuidos geométricamente en torno al área del Volcán Sabancaya y una estación telemétrica ubicada en el Instituto Geofísico de la UNSA (Fig. N° 11).’

El volcán Sabancaya está ubicado en la Cadena Andina (Pliocuaternario), que forma la Cordillera de los andes, a una distancia de 85 Km. al NW de la ciudad de Arequipa, y a 18 Km. del Cañón del Colca (Chivay). Este Volcán forma parte de un sistema volcánico (Ampato, Sabancaya y Hualcahualca).

5.2.1 Ubicación de las estaciones sísmicas

Para la ejecución de la Campaña 94, se conformó tres brigadas, las cuales estaban a cargo de la operación y mantenimiento de cada Estación Sísmica.

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
SALLALI	15°50.52'	71°46.8'	4425m
MACA	15°38.90'	71°47.0'	3700m
CABANACONDE	15°38.67'	71°56.7'	3800m
AREQUIPA	16°27.73'	71°29.5'	2452m

5.2.2 Procesamiento

La mayoría de los sismos registrados son de alta frecuencia, que corresponden al tipo A en la clasificación de sismos volcánicos, también se ha registrado señales armónicas, que de acuerdo a las observaciones son como consecuencia de la emisión de columnas eruptivas, que producen resonancia al ascender por el conducto del volcán.

Se ha efectuado el análisis de los sismos (registrados por un periodo de 7 días), para cada una de las estaciones; obteniéndose la siguiente información:

CUADRO N° 9

ESTACIÓN SÍSMICA	N° DE SISMOS
MACA	44
SALLALLI	35
CABANACONDE	28

En el cuadro se observa que la Estación ubicada en el poblado de Maca, ha registrado una mayor cantidad de sismos, además de otros sismos que son muy locales, con una diferencia de S-P de 0.5 Seg., (por su bajo nivel energético no han sido registrados en las otras Estaciones), lo que indica la existencia de otra actividad sísmica propia del lugar, de bajo nivel energético, y que sólo es detectada por la Estación ubicada en ésta zona, cuya procedencia puede ser como consecuencia de fenómenos geodinámicos, que ocurren próximos a esta área, convirtiéndolo en un poblado sumamente vulnerable.

Seguidamente, la Estación que ha registrado mayores sismos es la Estación de Sallalli, también se han registrado sismos muy locales con valores de S-P similares al anterior, y finalmente la Estación de Cabanaconde al igual que las anteriores, ha registrado estos sismos pero en menor proporción. La mayoría de estos sismos locales (S-P = 0.5 Seg.) son de muy bajo nivel energético, por consiguiente no son registrados por las demás Estaciones.

De lo expuesto se deduce la gran inestabilidad tectónica que involucra a una vasta zona.

El número de sismos que se han utilizado para el procesamiento de información son 13, tomándose en consideración que son sismos de regular magnitud y que han sido registrados en 3 Estaciones.

5.2.3 Distribución Epicentral de los Sismos Detectados

Los sismos detectados han sido ploteados en una carta de la zona de estudio (Escala 1:100,000), la distribución epicentral de estos sismos (Fig. N° 12) están en un radio de acción de 10 Km. donde la mayor concentración está próximo y al Este del Volcán Hualcahualca, lo que parece indicar que en toda el área de este Volcán existe actividad sísmica. Esta distribución también se encontró en la anterior Campaña Sísmica efectuada en el 90 y con los resultados obtenidos en esta Campaña se confirma que la

mayor actividad sísmica del área de estudio se encuentra en las cercanías del Volcán Hualcahualca.

También se ha ubicado un sismo a 3 Km. al norte del Volcán Sabancaya y otros más distantes ubicados al NE del Volcán. De acuerdo a los sismogramas de la Estación ubicada en este lugar (Sallalli) existen sismos que se están generando en esta zona, pero que son débiles y no pueden ser detectados por las otras Estaciones, y por lo tanto no se puede determinar su ubicación.

De igual modo se han ubicado 2 sismos que se encuentran entre el poblado de Maca y el Volcán Hualcahualca, ubicándose en el área epicentral donde ocurrió el terremoto de Maca (23 julio del 91).

Cabe mencionar que la campaña efectuada ha sido realizada en una etapa donde el Volcán Sabancaya y el área de Maca no tenían mayor actividad, pero sin embargo si se ha logrado obtener información muy importante, lo cual además confirma que la zona de estudio está en constante actividad sísmica y volcánica y que en determinados periodos esta actividad se incrementa, representando un peligro permanente para los poblados cercanos a este lugar.

En la figura N° 13, se ha ploteado los sismos de la campaña efectuada en el año 1990 y el año 1994, con la finalidad de poder determinar si ha ocurrido una variación o una evolución de la actividad sísmica, (los sismos de la campaña de 1990 están ploteados en círculos en blanco y los del 94 en círculos oscuros), de los resultados se puede observar que en forma general la actividad sísmica continúa y permanece en la misma área, con ligeras variaciones ya que la actividad sísmica del 90 se ubicaba al N y NE del Hualcahualca. El sismo ubicado a 3 Km. al norte del Sabancaya coincide con el ubicado en el 90, lo que indica también que ésta es otra zona de actividad sísmica más cercana al Sabancaya, pero que se presentan con menor regularidad, su actividad es de menor magnitud para poder ser registrado por las otras Estaciones.

5.2.4 Actividad en el área del Volcán Hualcahualca

De los resultados obtenidos se muestra que la mayor actividad sísmica se encuentra en la zona del Volcán Hualcahualca.

Otros fenómenos que han ocurrido en este lugar y que pueden estar relacionados con la actividad sismo-volcánica del Hualcahualca, es el Flujo de Lodo (lahares) que se originó en la cima del Hualcahualca y que se desplazó ladera abajo por los cauces de la Quebrada Huayuray (ver Fig. N° 14), cerca del poblado de Pinchollo. Este fenómeno fue confirmado también por la expedición de ingenieros de Instituto Geofísico de la UNSA que se desplazaron hasta las cercanías de la cima del Hualcahualca (1991). Este flujo de lodo se presentó hasta en 2 oportunidades, (1991-1993) poniendo en riesgo la infraestructura del Proyecto de Irrigación Majes, asimismo, la destrucción de la toma y

canales de regadío del Poblado de Pinchollo. Otra manifestación que se ha presentado en esta zona ha sido el incremento en la actividad geotermal que allí existen.

Como se sabe estos flujos de lodo pueden ocurrir de dos formas: a) cuando se funde la nieve en la cumbre del Volcán, y b) cuando existe un lago en el cráter, o cuando abunda el agua a causa de las lluvias. Y de acuerdo a versiones de los pobladores la manifestación de estos flujos de lodo se presentaron por primera vez en el 91 y el 93

que concuerdan con la reactivación del área Volcánica Sabancaya-Hualcahualca. También es probable que la caída de cenizas haya contribuido en estos, pero en menos porcentaje.

5.2.5 Profundidad de los Sismos Registrados

La profundidad de los sismos detectados fluctúan en un rango de 3 a 9 km., esta profundidad es determinada en relación al datúm de las estaciones ubicadas en el área de estudio. Cabe mencionar que existe la presunción de que el proceso que dio inicio a la reactivación volcánica fue como consecuencia de una actividad sísmica superficial de gran extensión.

La actividad sísmica detectada, puede ser como consecuencia de varios factores; tales como procesos de desgasificación, desestabilización tectónica, fallas, intrusión magmática, etc., procesos que pueden estar ocasionando esfuerzos, y la liberación de estos sismos.

5.2.6 Interpretación de la Actividad Sísmica-Volcánica

Para efectos de poder observar en profundidad la sismicidad de la Zona de Estudio, se ha efectuado un corte aproximadamente perpendicular a la fosa, y en la figura 10, se muestra el corte vertical, que comprende desde la fosa hasta el área del Volcán Sabancaya, las escalas tanto vertical como horizontal son proporcionales, en esta figura se puede distinguir la actividad sísmica como producto de la subducción y la actividad sísmica detectada en el área del Volcán Sabancaya, (muy superficial) y que define claramente la probable cámara magmática del grupo volcánico.

En la figura 11, se muestra un esquema vertical también de la zona de estudio similar al anterior, donde se ilustra el proceso de subducción que ocurre en esta zona. La corteza oceánica que se introduce bajo la continental alcanza en la zona del Volcán Sabancaya una profundidad de 150 Km.

De acuerdo a estudios realizados en volcanes que se producen en zonas de subducción, el tipo de volcanismo es Andesítico (que es intermedio entre el Basáltico y el Granítico, sus propiedades también son intermedias y sus flujos son menos extensos que aquellos producidos por magmas basálticos, sin embargo un alto porcentaje de Magma Andesítico es expelido como material piroclástico, y por su composición rico en sílice comúnmente produce flujos de ceniza, estrato volcanes, y colapso de calderas).

El complejo volcánico actual empezó a emerger hace unos 15m.a. (D.E. James 73), con una serie de erupciones volcánicas explosivas, causando el depósito de grandes masas de cenizas volcánicas síliceas, al finalizar, fue seguido por flujo de lavas andesíticas, constituyendo grandes estratos volcánicos, algunos todavía activos, tales como el Sabancaya, que predominan en la Cadena Andina, con altitudes de hasta 6 Km. El estilo de deformación es extensional, es decir la Tierra se está dilatando.

5.2.7 Principales amenazas

El 23 de junio de 1990 se preparó un mapa de la amenaza potencial del volcán Sabancaya (Fig. N° 15), donde se podido identificar las siguientes zonas de peligro:

a) Zona de Máximo Peligro (0 a 8 Km.):

Proyectiles Balísticos: Desde varios centímetros hasta metros de diámetro.

Caida de Piroclastos: Acumulándose espesores, de centímetros hasta decímetros.

Flujos Piroclásticos: Podría ser comprendido entre decenas de metros de espesor.

Todo flujo de piroclastos es acompañado por una nube donde el material es siempre de menor densidad y su avance es mayor.

Flujos de Lava: De algunos metros a unas decenas de metros de espesor los cuales se desplazarían preferentemente hacia el oriente y el occidente.

Flujos de Escombros: Hacia el oriente y occidente, en caso de destrucción parcial del edificio volcánico.

Flujos de Lodo: Principalmente hacia el Noroeste, Sureste y Sur si se tiene en cuenta las zonas de debilidad allí presentes. No se descarta la posibilidad de su ocurrencia hacia otras direcciones en proporciones menores.

b) Zona de Moderado Peligro (8 a 13 Km.):

Caida de Piroclastos: Acumulándose espesores de varios centímetros

Flujos Piroclásticos: Y su nube acompañante con alturas del orden de hasta decenas de metros.

c) Zona de Alto Peligro:

Flujos de Lodo (Lahares): Principalmente hacia el Noroeste, Sur este y Sur, no se descarta la posibilidad de su ocurrencia hacia otras direcciones en proporciones menores en función a su pendiente.

5.3 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 y de Sondaje Eléctrico Vertical y Calicatas. Mediante estos métodos se logra identificar sectores estables e inestables, base fundamental para la microzonificación sísmica, la ubicación de los puntos de Refracción Sísmica, Sondaje Eléctrico Vertical, la Perfiles y Calitas se pueden observar en el Anexo A, y los resultados de estos perfiles se pueden observar en los Anexos B y C.

5.3.1 Refracción Sísmica

A) Zona de Aplao

En la localidad de Aplao se realizaron seis perfiles de refracción sísmica, que fueron distribuidos de una manera aproximadamente regular, debido a que sus calles se encuentran asfaltadas.

Los dos primeros perfiles de refracción sísmica se encuentran ubicados en la parte alta de la ciudad de Aplao, determinándose cuatro y dos estructuras respectivamente la primera tiene un espesor de 0.23 m. con una velocidad de 161.90 m/seg. que correspondería a material superficial inconsolidado; subyaciendo a esta estructura tenemos un material con una potencia de 3.22 m. a 0.28 m. (primera estructura del segundo perfil sísmico), con velocidades de 324.32 m/seg. a 344.83 m/seg. que guardaría relación con depósitos coluviales-proluviales entremezclados no consolidado,

por debajo de esta estructura se ha podido determinar un material con una velocidad de 730.77 m/seg. a 666.67 m/seg. y un espesor de 9.02m. para el primer perfil sísmico, no pudiendo determinarse el espesor para el segundo perfil, que se relacionaría con el mismo material suprayacente, pero algo más compacto y la cuarta estructura se presenta en el primer perfil con una velocidad de 1842.11 m/seg. que correspondería probablemente a la parte intemperizada de la formación Yura.

Los perfiles sísmicos tres y cuatro, se encuentran ubicados en el extremo Este de Aplao, del análisis de las domocronas correspondientes se ha podido determinar dos horizontes refractores, el primero con velocidades de 555.56 m/seg. a 379.75 m/seg. y espesores de 6.24 m. a 7.14 m. que guardaría relación con materiales inconsolidados de origen proluvial (perfil sísmico 3), suelo de cultivo (perfil sísmico 4) y subyaciendo a estos horizontes tenemos un material que se correlacionaría con un suelo gravoso con cantos subangulosos en una matriz areno-limoso de baja plasticidad con una velocidad de 1264.71 m/seg. a 1250.00 m/seg.

El quinto perfil sísmico, se encuentra ubicado en la Av. 21 de Marzo, Pasaje s/n, frente a la Piscina Municipal, en el que se ha determinado tres horizontes, el primero con una velocidad de 307.69 m/seg. y un espesor de 1.87 m. que correspondería a materiales superficiales pobremente consolidados de origen aluvial, subyaciendo a este horizonte tenemos un material con una velocidad de 526.32 m/seg. y un espesor de 6.84 m. que se relacionaría con el mismo material que el horizonte anterior ligeramente compactado correspondiente a gravas y arenas, un tercer horizonte con una velocidad de 1818.18m/seg. guardaría relación con sedimentos algo densos también de origen aluvial.

El sexto perfil sísmico se encuentra ubicado en la calle Progreso, donde se ha determinado dos estructuras la primera con una velocidad de 327.86 m/seg. y con un espesor de 2.40 m. que correspondería a material areno-limoso y subyaciendo a esta estructura se ha determinado una estructura con una velocidad de 1095.24 m/seg. que se relacionaría con conglomerados semicompactos.

CUADRO 10
VELOCIDADES Y ESPESORES DE APLAO

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA3		CAPA4		TOTAL
	V ₁ (m/seg.)	Z ₁ (m.)	V ₂ (m/seg.)	Z ₂ (m.)	V ₃ (m/seg.)	Z ₃ (m.)	V ₄ (m/seg.)	Z ₄ (m.)	Z(m)
1	161.90	0.23	324.32	2.99	730.77	9.02	1842.11		12.24
2	344.83	0.28	666.67						0.28
3	555.56	6.24	1264.71						6.24

4	379.75	7.14	1250.00					7.14
5	307.69	1.87	526.32	6.84	1818.18			8.71
6	327.87	2.40	1095.24					2.40

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.- En este poblado no se han registrado daños importantes, y los que se han presentado se debe fundamentalmente a la precariedad y antigüedad de sus construcciones y defectos en el proceso constructivo. Podemos precisar que en Aplao los suelos de la parte baja son más estables que los ubicados en la parte alta, debido a su origen y a la calidad de los mismos.

B) Zona Anexo de Cosos

Se realizó un perfil de refracción sísmica próximo a la parte frontal de la iglesia, determinándose dos horizontes, el primero que correspondería a materiales proluviales y aluviales semicompactos provenientes de la quebrada contigua al poblado con un espesor de 1.44 m y una velocidad de 400m/seg. y el segundo horizonte con una velocidad de 800m/seg que guardaría relación con una mezcla de gravas y arenas de origen proluvial-aluvial algo compacto..

**CUADRO 11
VELOCIDADES Y ESPESORES DEL ANEXO DE COSOS**

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3	TOTAL
	V_1 (m/seg.)	Z_1 (m.)	V_2 (m/seg.)	Z_2 (m.)	V_3 (m/seg.)	Z (m)
7	400.00	1.44	800.00			1.44

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.- En este poblado los daños han sido moderados excepto en algunas viviendas de adobe, la relativa estabilidad de los suelos son compatibles con las velocidades sísmicas obtenidas en campo.

C) Zona Distrito de Huancarqui

En esta zona se realizó un perfil sísmico (calle 30 de Agosto), determinándose dos horizontes el primero con una velocidad de 487.80 m/seg. y un espesor de 4.58 m. que correspondería a suelos aluviales algo compacto y subyaciendo a este horizonte se tiene un material con una velocidad de 861.11 m/seg. que estaría relacionado con una mezcla de arenas, gravas y sedimentos de la formación Moquegua inferior y en algunos sectores se observa la presencia de cenizas. El poblado se encuentra asentado en una quebrada por lo que estos suelos son de origen deluvial-aluvial.

**CUADRO 12
VELOCIDADES Y ESPESORES DE HUANCARQUI**

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		TOTAL
	V_1 (m/seg)	Z_1 (m)	V_2 (m/seg)	Z_2 (m)	V_3 (m/seg)	Z_3 (m)	Z (m)
8	487.80	4.58	861.11				4.58

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.- El distrito de Huancarqui es el poblado más grande que existente en la margen izquierda del río Majes, algunas de las viviendas de adobe han colapsado a raíz del sismo del 23 de junio debido a su antigüedad y a su precariedad. En general podemos indicar que los suelos no son muy estables, debido a su heterogeneidad compuesto por horizontes de cenizas volcánicas y materiales orgánicos encontrados por sectores.

D) Zona Anexo La Real

Se realizaron dos perfiles de refracción sísmica en esta zona; del análisis de la información se pudo obtener tres horizontes, el primero con un espesor de 2.40 m. a 2.26 m. con velocidades de 288.46m/seg. a 400.00 m/seg que correspondería a material proluvial-deluvial, subyaciendo a este horizonte se determinó un material con una velocidad de 613.64 m/seg. a 653.85 m/seg. y con espesores entre 5.50 m a 11.30 m. que se relacionaría con el mismo material que el horizonte anterior pero algo más compacto y la tercera estructura guardaría relación con materiales más compactos con velocidades de 863.64 m/seg. a 1250.00 m/seg.

CUADRO 13
VELOCIDADES Y ESPESORES DE LA REAL

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		TOTAL
	V_1 (m/seg.)	Z_1 (m.)	V_2 (m/seg.)	Z_2 (m.)	V_3 (m/seg.)	Z_3 (m.)	Z (m.)
9	400.00	2.40	613.64	5.50	863.64		7.90
10	288.46	2.26	653.85	11.30	1250.00		13.56

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.- Son suelos relativamente estables, a consecuencia del sismo del 23 de junio se han registrado daños moderados pero si han colapsado algunas viviendas de adobe, en la parte alta del poblado se ha encontrado horizontes delgados de cenizas volcánicas.

E) Zona de Corire

Se realizaron dos perfiles de refracción sísmica el primero en la Av. Vizcardo y Guzmán (campo deportivo) y el segundo entre la Calle José C. Mariategui y el Psje. Quinta Canales, determinándose dos horizontes, el primero con una velocidad de 222.22 m/seg. a 277.78 m/seg. y un espesor de 1.34 m. a 2.67 m. que correspondería a material areno-limoso, el segundo horizonte presenta velocidades de 1933.33 m/seg. (primer perfil) y 500.00 m/seg. (segundo perfil), el primero puede correlacionarse con material aluvial compacto y el segundo con material areno-limoso con presencia de agua.

CUADRO 14
VELOCIDADES Y ESPESORES DE CORIRE

PRS.	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		TOTAL
	V ₁ (m/seg.)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/seg.)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/seg.)	Z ₃ (m)	Z(m)
11	222.22	1.34	1933.33				1.34
12	277.78	2.67	500.00				2.67

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 sísmicas obtenidas en los dos perfiles reflejan el grado de estabilidad de los suelos, consistentes en arenas, materiales aluviales y conglomerados, con un nivel freático muy cercano a la superficie, por los terrenos de cultivo que se encuentran muy próximos a la ciudad, siendo el arroz el principal cultivo de la zona, los efectos del sismo del 23 de junio han sido moderados.

5.3.2 Estudios de Resistividad Geoeléctrica

A) Zona de Aplao

En la localidad de Aplao se ha realizado estudios de Resistividad geoeléctrica empleando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Se ejecutaron 04 SEVs, distribuidos en el área de estudio de acuerdo a las necesidades requeridas, se ha realizado dos sondeos en la parte superior de la ladera donde se asienta la localidad de Aplao y dos sondeos en la parte inferior cerca de los terrenos de cultivo.

CUADRO 15
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE APLAO
(parte alta de la ladera)

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	71	1.6	194	9.8	38	16.5	158	59.1	750	?
4	62	5	123	7.1	280	41.2	50	99.7	1860	?

H₁ - Horizonte geoeléctrico

R₁ - Resistividad

E₁ - Espesor de la Estructura Geoeléctrica

Descripción de los Horizontes Geoeléctricos. (parte alta de Aplao)

Horizonte H1.- Este horizonte presenta resistividades de 71 y 62 Ohmios-metro y espesores de 1.6 y 5 metros, esta primera estructura geoeléctrica está constituida por material de origen coluvial-proluvial con presencia de humedad.

Horizonte H2.- Tiene resistividades que oscilan entre 194 y 123 Ohmios-metro y espesores de 9.8 y 7.1 metros; posiblemente constituida también por materiales de origen coluvial-proluvial, con menor contenido de humedad.

Horizonte H3.- Esta tercera estructura geoeléctrica presenta resistividades de 38 y 280 Ohmios-metro y espesores de 16.5 y 41.2 metros, constituida probablemente por material de origen aluvio-proluvial. Por debajo del SEV1 este material tendría mayor contenido de humedad con respecto a lo determinado en el SEV4..

Horizonte H4.- En este horizonte geoelectrico se observa valores de resistividad de 158 y 50 Ohmios-metro y espesores de 59.1 y 99.7 metros, estaría constituida por material de origen aluvial, con menor presencia de humedad por debajo del SEV1, la que se incrementa en dirección al SEV4, de tal manera que el valor de resistividad disminuye en este punto hasta un valor de 50 Ohmios-metro.

Horizonte H5.- Esta estructura tiene resistividades de 750 y 1860 Ohmios-metro y de espesor indefinido, constituye la estructura impermeable, posiblemente corresponda a la Formación Yura.

CUADRO 15 - A
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE APLAO
(parte baja - terrenos de cultivo)

SEV N°	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄		H ₅	
	R ₁	E ₁	R ₂	E ₂	R ₃	E ₃	R ₄	E ₄	R ₅	E ₅
2	69	1.6	141	6.2	950	5.5	131	87.9	1010	?
3	103	7.2	117	12.8	940	6	38	76	730	?

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

Descripción de los Horizontes Geoelectricos. (parte baja - terrenos de cultivo)

Horizonte H1.- Este horizonte presenta resistividades de 69 y 103 Ohmios-metro y espesores de 1.6 y 7.2 metros, está constituida por material de origen aluvial con presencia de limos y material orgánico; presentan humedad.

Horizonte H2.- Tiene resistividades que oscilan entre 141 y 117 Ohmios-metro y espesores de 6.2 y 12.1 metros; posiblemente constituida también por materiales de origen aluvial, con menor contenido de humedad.

Horizonte H3.- Esta tercera estructura geoelectrica presenta resistividades de 950 y 940 Ohmios-metro y espesores de 5.5 y 6 metros, constituida probablemente por material de origen aluvial fuertemente compactado con alto grado de resistividad, lo que indica poca presencia de humedad, actúa como una estructura impermeable.

Horizonte H4.- Este horizonte geoelectrico tiene valores de resistividad de 131 y 38 Ohmios-metro y espesores de 87.9 y 76 metros, estaría constituida por material de origen aluvial con presencia de humedad. En el SEV2 el valor de resistividad determinado es de 131 Ohmios-metro el mismo que va disminuyendo hacia el SEV3, cuyo valor determinado es de 38 Ohmios-metro, lo que nos indica mayor presencia de humedad.

Horizonte H6.- Esta estructura tiene resistividades entre 1010 y 730 Ohmios-metro y de espesor indefinido, constituye la estructura impermeable, posiblemente corresponda a la Formación Yura.

Se ha elaborado dos perfiles geoelectricos, uno constituido por los SEVs 4 y 1 ubicados en la parte superior de la ladera y otro constituido por los SEVs 2 y 3 ubicados en la parte correspondiente a los terrenos de cultivo; se correlacionan los horizontes determinados de los cuadros 6 y 6-A, lo cual permite observar como esta constituido

geoelectricamente el suelo de la localidad de Aplao. Estos perfiles los podemos ver en las figuras 1 y 2.

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que la localidad de Aplao presenta suelos moderadamente estables, la posible estructura acuifera detectada en la zona se encuentra cercana al SEV3 y corresponde al horizonte H4 que se presenta a una profundidad promedio de 30 metros y con espesor de 76 metros.

B) Zona del Anexo La Real

En la localidad del anexo La Real se han ejecutado 02 SEVs, uno se ha ubicado en la parte alta de la ladera y el otro en la zona de los terrenos de cultivo.

CUADRO 16
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE LA REAL
(parte alta de la ladera)

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	4890	2.4	92	20.6	17	38.2	1130	?

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

Descripción de los Horizontes Geoelectricos. (parte alta de la ladera)

Horizonte H1.- Este horizonte presenta una resistividad de 4890 Ohmios-metro y un espesor de 2.4 metros, está constituida por material de origen proluvial-deluvial con contenido de limos carentes de humedad.

Horizonte H2.- Presenta una resistividad de 92 Ohmios-metro y un espesor de 20.6 metros; posiblemente constituida también por materiales de origen proluvial con menor grado de humedad.

Horizonte H3.- Esta estructura geoelectrica presenta un valor de resistividad de 17 Ohmios-metro y un espesor de 38.2 metros, constituida por material de origen aluvial saturado de humedad y con presencia de sales.

Horizonte H4.- Presenta una resistividad de 1130 Ohmios-metro y de espesor indefinido; constituye el basamento impermeable de la zona de estudio, conformado posiblemente por la Formación Yura.

CUADRO 16 - A
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE LA REAL
(zona de terrenos de cultivo)

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
2	7	1.5	51	5.4	210	57.6	19	?

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

Descripción de los Horizontes Geoelectricos. (zona de terrenos de cultivo)

Horizonte H1.- Este horizonte presenta una resistividad de 7 Ohmios-metro y un espesor de 1.5 metros, está constituida por material de origen aluvial con contenido de limos y material orgánico saturado de humedad y con presencia de sales.

Horizonte H2.- Presenta resistividad de 51 Ohmios-metro y un espesor de 5.4 metros; constituida también por materiales de origen aluvial con presencia de humedad. Pertenece a los terrenos de cultivo.

Horizonte H3.- Esta estructura geoelectrica presenta un valor de resistividad de 210 Ohmios-metro y un espesor de 57.6 metros, constituida por material de origen aluvial, posiblemente de grano grueso con menor contenido de humedad.

Horizonte H4.- Esta estructura geoelectrica presenta una resistividad de 19 Ohmios-metro y de espesor indefinido; constituido por material de origen aluvial con presencia de humedad y sales.

Se ha elaborado dos columnas geoelectricas correspondiente a cada uno de los SEVs de acuerdo a los valores observados de los cuadros 7 y 7-A; se observa la constitución del suelo de la localidad de La Real de acuerdo a sus características geoelectricas. Estas columnas las podemos ver en la figura 3.

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados, en la localidad de La Real las estructuras geoelectricas determinan que los suelos están constituido por materiales regularmente estables, en el SEV2 se ha determinado una estructura acuifera superficial, producto del sistema de regadío de la zona.

C) Zona de Corire.-

En la localidad de Corire se han ejecutado 02 SEVs, distribuidos en el área de estudio de acuerdo a las necesidades requeridas.

**CUADRO 17
RESISTIVIDADES Y ESPESORES DE CORIRE**

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	14	1.2	136	14.4	89	44.4	361	30	21	?
2	25	1.8	130	33.4	80	?	---	---	---	---

H1 - Horizonte geoelectrico

R1 - Resistividad

E1 - Espesor de la Estructura Geoelectrica

Descripción de los Horizontes Geoelectricos.

Horizonte H1.- Este horizonte presenta resistividades de 14 y 25 Ohmios-metro y espesores de 1.2 y 1.8 metros, está constituido por material de origen aluvial con presencia de limos y material orgánico saturado de humedad y es empleado como terreno de cultivo.

Horizonte H2.- Tiene resistividades de 136 y 130 Ohmios-metro y espesores de 14.4 y 33.4 metros; constituido por materiales de origen aluvial con menor contenido de humedad.

Horizonte H3.- Esta tercera estructura geoelectrica presenta resistividades de 89 y 80 Ohmios-metro, su espesor que es de 44 metros, sólo ha sido determinado en el SEV1; es una estructura acuífera importante determinada en zona de estudio y estaría conformado por materiales de origen aluvial. Se presenta a una profundidad promedio de 22 metros.

Horizonte H4.- Este horizonte geoelectrico se ha detectado sólo en el SEV1, tiene un valor de resistividad de 361 Ohmios-metro y un espesor de 30 metros, estaría constituida por material de origen aluvial, posiblemente de grano grueso, con menor presencia de humedad.

Horizonte H5.- Esta estructura geoelectrica también sólo detectado en el SEV1, presenta una resistividad de 21 Ohmios-metro y de espesor indefinido; constituida por materiales de origen aluvial que por sus características geofísicas se considera como una estructura acuífera.

Se ha elaborado un perfil geoelectrico en forma longitudinal al valle constituido por los SEVs 1 y 2; se correlacionan los horizontes determinados del cuadro 8 y se puede observar como está constituido el suelo de la localidad de Corire de acuerdo a sus características geoelectricas. Este perfil lo podemos ver en la figura 4.

Conclusiones.- De acuerdo a los resultados obtenidos, en la localidad de Corire presenta una pequeña estructura saturada de humedad proveniente de los terrenos de cultivo de la zona identificado como el Horizonte H1, luego tenemos una estructura que presenta menor contenido de humedad con un espesor promedio de 25 metros, identificado como horizonte H2; La zona está constituida por materiales aluviales con diferentes grado de granulometria y en algunos casos con presencia de materiales gruesos (posiblemente bolones), como es en el caso del horizonte H4, el acuífero se extiende por muchos metros no definido por el método SEV (Horizonte H5).

5.3.3 Estudio Geotécnico

5.3.3.1 Mecánica de Suelos

Para la realización del estudio de suelos en las localidades de Cosos, Huancarqui, Aplao, La Real, y Corire, se han efectuado pozos de exploración superficiales, comprendidos entre 1.00 m a 2.50 m de profundidad, así como se han empleado los perfiles y cortes existentes, con el objetivo de realizar el muestreo y descripción de las características físicas y mecánicas y de este modo se han zonificado las áreas de estudio.

* Muestreo

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

El muestreo se ha realizado por zonas y de acuerdo con las características estratigráficas, obteniéndose muestras, de cada una de las perforaciones realizadas y luego 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 limites liquido, definido por el contenido de agua por encima del cual el suelo se comporta como un liquido viscoso.

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

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

*** Peso específico**

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

*** Corte Directo**

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

*** Análisis Químico**

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

Con los resultados de todos los ensayos realizados, se ha podido caracterizar y categorizar en cuatro calidades de suelos, Suelos Tipo I, siendo estos 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 ultima de un suelo bajo una carga de cimentación depende principalmente de la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad permisible o de trabajo para diseño tomara en consideración la resistencia al corte y las características de deformación

La determinación del valor de la capacidad de carga del suelo, es el valor de resistencia a soportar la transmisión de las cargas de 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.

Tipos de Suelos

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

A) Localidad de Cosos

Suelos Tipo II

Caracterizado por suelos aluviales, compuesto por bloques con diámetros mayores a 0.80 m., cantos rodados, gravas arenosas de color gris claro, medianamente compactas, debido a que se halla dentro del cauce de la quebrada, el espesor debe variables entre 2.00 mts hasta profundidades muy superiores a cinco metros, correspondiendo a la parte baja de la localidad de Cosos, arenas limosas por su composición orgánica; pudiendo establecer valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm²

B) Localidad de Aplao

Suelos Tipo II

Caracterizado por suelos aluviales, con presencia de cantos rodados, gravas arenosas medianamente compactas con espesores variables entre 1.80 mts hasta más de cinco metros, correspondiendo a la parte baja de la localidad de Aplao, sobreyaciendo arenas limosas Se puede establecer valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm²

Suelos Tipo III

Caracterizado por suelos coluviales-proluviales provenientes de los deslizamientos de los cerros aledaños, por lo cual es susceptible de la posibilidad de asentamientos diferenciales.

La zona comprendida por el sector comprendido entre la plaza de armas y todo el sector alto de la localidad de Aplao, constituyendo un cono de relleno coluvio-proluvial, compuesto por arenas gravosas poco compactas, se puede establecer valores de capacidad portante menores a 2.00 kg/cm² (Fig. N° 16)

C) Localidad de Huancarqui

En el Distrito de Huancarqui entre las calles Loreto y 7 de Junio existe la presencia de material orgánico con espesores promedio de 20 cm en forma lenticular, abarcando hacia la zona sur comprendiendo el área entre la calle 30 de Agosto y la calle López y Nates.

Hacia el sector Oeste entre el canal de regadío, pasaje Miguel Grau, calle Loreto y calle Pizarro se ha observado la presencia lenticular de cenizas volcánicas.

Estas caracterizaciones de los suelos indican los efectos de mayores daños causados como consecuencia del último evento sísmico (23 de junio del 2001).

Como zona de expansión se puede proyectar la planicie conformada en el sector Norte y Sur de la localidad considerando de que en esta última en el sector sur se deberá tener en consideración la quebrada de inundación proveniente de la quebrada Sicera y Huacán.

En la parte central existe una colina correspondiente a la formación Sotillo sobre el que se encuentra ubicada en reservorio de agua el mismo que ha colapsado por efectos del fracturamiento en bloques de la zona, debido a la contracción del material fino presente en la zona y el talud escarpado que presenta la colina.

Suelos Tipo III

Caracterizado por suelos deluviales-aluviales, proveniente de la formación Moquegua superior e inferior (Sotillo), presentando bloques y guijarros, así como arenas gravosas, debido a que se halla dentro del cauce de una quebrada poco activada por inundaciones, sin embargo, es previsible la posibilidad de una eventual inundación, predominando superficialmente la presencia de materiales aluviales, por lo que se puede establecer los valores de capacidad portante no mayores a 2.00 kg/cm^2 (Fig. N° 17).

D) Localidad de La Real

Suelos Tipo II

Comprendiendo toda la parte baja del cono deluvial, constituido superficialmente por material sedimentario fino, arena limoso, espesores variables entre menos de un metro a poco más de dos cincuenta metros, bajo este estrato se halla el material proveniente de depósito aluvial constituido por cantos rodados, arenas gravosas medianamente compactas, por lo que sus valores de capacidad portante se puede considerar como de mayores a 2.00 kg/cm^2

Suelos Tipo III

Comprendiendo toda la parte correspondiente al cono deluvial, proveniente de los deslizamientos y avalanchas de las partes altas, compuestas por gravas angulosas causadas por el fracturamiento de las rocas constitutivas de las formaciones presentes en la zona, las cuales se hallan en estado poco compacto, con valores de capacidad portante menores a 2.00 kg/cm^2 . Debe adicionarse que en este sector existe ceniza volcánica en la parte superior (Fig. N° 18).

E) Localidad de Corire**Suelos Tipo III**

Por la disposición topográfica, la cual presenta una planicie casi uniforme, constituye una terraza con características muy homogénea, con material areno limoso superficialmente entre menos de un metro a dos metros aproximadamente de espesor, bajo la cual se halla un material aluvial producto del cauce variable del río Majes, presentando por su topografía y las condiciones de agricultura de la zona un nivel freático bastante superficial, por lo que se ha establecido los valores de capacidad portante menores a 2.00 kg/cm^2 (Fig. N° 19).

5.3.3.2 Conclusiones y Recomendaciones

El área de estudio comprende las localidades de Cosos, Aplao, Huancarqui, La Real y Corire, se han caracterizado básicamente en dos tipos de suelos, de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas. El primero constituido por un material aluvial caracterizado por bloques y guijarros, arenas gravosas, en el caso de Aplao y La Real, conformando un cono, con materiales poco compactos superficialmente, compuestos por gravas angulosas, provenientes de la desintegración y fracturamiento de la roca, mezcladas con arenas limosas de origen volcánico (cenizas).

En la localidad de Huancarqui se ha reconocido la presencia de materiales arenos limosos provenientes de la formación Moquegua inferior, es decir la formación Sotillo y la presencia de materiales aluviales provenientes del proceso erosivo de las variadas generaciones del cauce de inundación del río Majes, conformando una superficie mucho más uniforme y compacta.

En las localidades de Aplao y La Real, por presentar pendientes medianas, constituyen dos tipos bien marcados de suelos: los suelos tipo III, correspondientes a las partes altas de los asentamientos son de origen deluvial con características no muy uniformes y valores de capacidades portantes menores a 2.00 kg/cm^2 ; y los suelos correspondientes a la parte baja, constituidos por materiales sedimentarios y aluvionales medianamente compactos con valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm^2

En la localidad de Corire, se ha determinado básicamente un solo tipo de suelo, conformando una terraza más uniforme compuesta por material sedimentario fino, arenas limosas subyacente el material aluvial poco compacto, presentando un nivel freático variable de acuerdo a la estación, por lo que el valor de la capacidad portante se puede considerar como menor a 2.00 kg/cm^2 .

Es recomendable, para el caso de las construcciones con material noble, el tipo de cimentación mediante vigas de conexión, ya que las características de los suelos inducen a la presencia de altas deformaciones de los suelos, causando asentamientos diferenciales con los consiguientes efectos de daños estructurales.

Es importante por otro lado considerar una simetría en los diseños, con la finalidad de mantener un equilibrio entre los centros de gravedad y de rigidez de las estructuras, con lo que se minimiza los efectos de torsión en las estructuras.

Habiéndose establecido que los casos de daños por la antigüedad de las construcciones por un lado y por otro lado la precariedad de las construcciones, es recomendable un

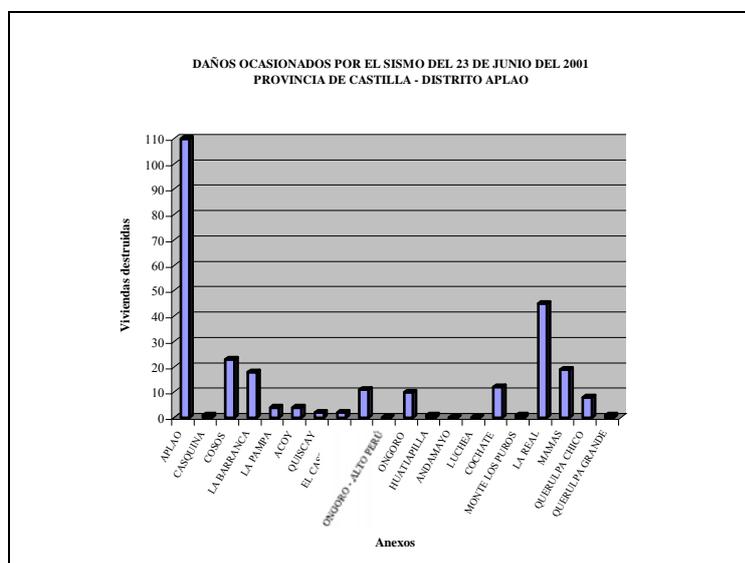
adecuado sistema de construcción, con un control y dirección técnica profesional correspondiente.

5.3.4 Evaluación de daños del sismo del 23 de junio del 2001

Los poblados de Aplao, Corire, Huancarqui, La Real y Cosos sufrieron daños moderados en las viviendas, fundamentalmente por la antigüedad y precariedad de las construcciones. Adicionalmente por efectos del sismo en algunos tramos de la carretera sufrieron deslizamientos y derrumbes que interrumpieron el tránsito normal. Fotos N° 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40.

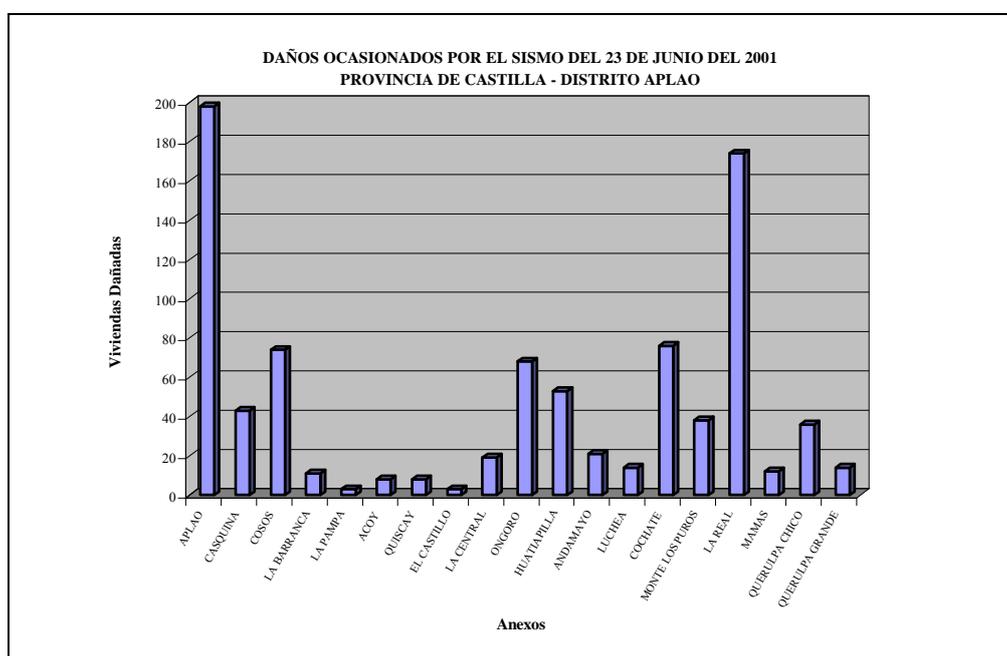
A continuación se presenta la estadística de los daños en el valle de Majes:

DISTRITO APLAO	VIVIENDAS DESTRUIDAS
APLAO	110
CASQUINA	1
COSOS	23
LA BARRANCA	18
LA PAMPA	4
ACOY	4
QUISCAY	2
EL CASTILLO	2
LA CENTRAL	11
ONGORO - ALTO PERÚ	0
ONGORO	10
HUATIAPILLA	1
ANDAMAYO	0
LUCHEA	0
COCHATE	12
MONTE LOS PUROS	1
LA REAL	45
MAMAS	19
QUERULPA CHICO	8
QUERULPA GRANDE	1



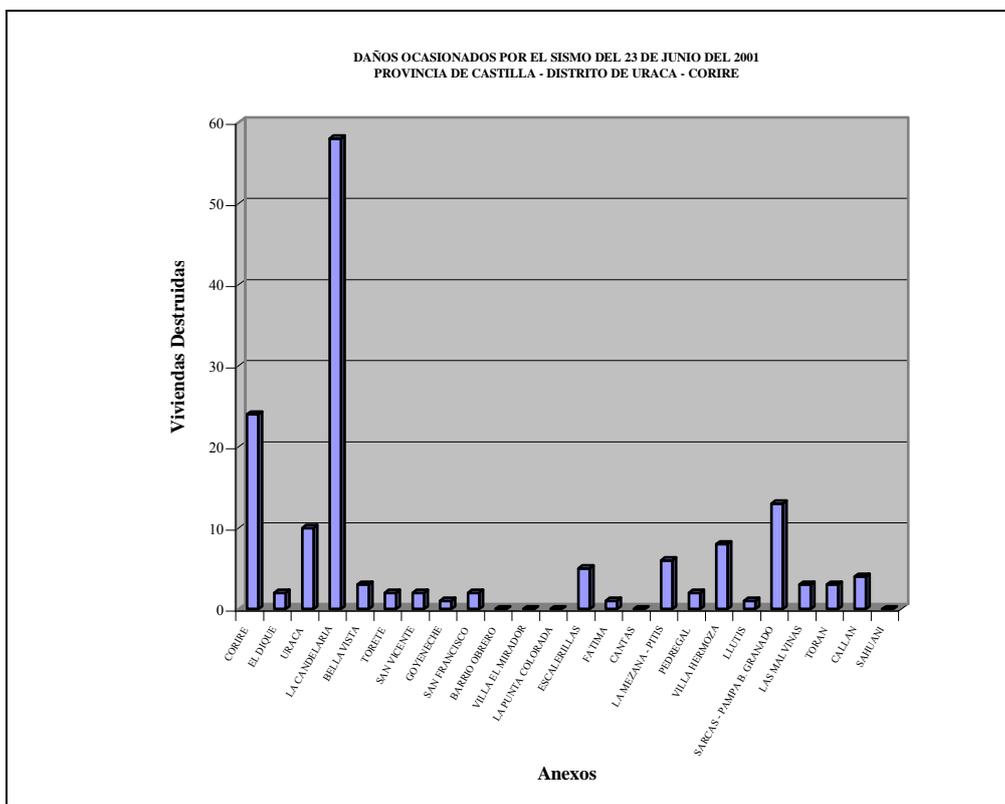
DISTRITO APLAO	VIVIENDAS DAÑADAS
APLAO	198
CASQUINA	43
COSOS	74
LA BARRANCA	11
LA PAMPA	3
ACOY	8
QUISCAY	8

EL CASTILLO	3
LA CENTRAL	19
ONGORO	68
HUATIAPILLA	53
ANDAMAYO	21
LUCHEA	14
COCHATE	76
MONTE LOS PUROS	38
LA REAL	174
MAMAS	12
QUERULPA CHICO	36
QUERULPA GRANDE	14



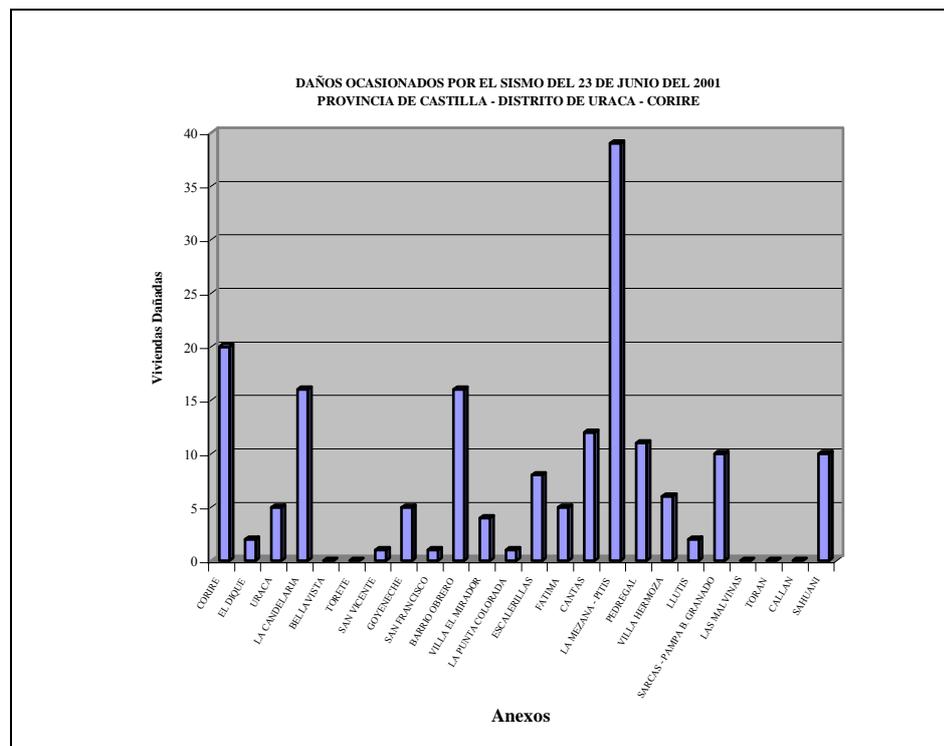
DISTRITO URACA - CORIRE	VIVIENDAS DESTRUIDAS
CORIRE	24
EL DIQUE	2
URACA	10
LA CANDELARIA	58
BELLAVISTA	3
TORETE	2
SAN VICENTE	2

GOYENECHÉ	1
SAN FRANCISCO	2
BARRIO OBRERO	0
VILLA EL MIRADOR	0
LA PUNTA COLORADA	0
ESCALERILLAS	5
FATIMA	1
CANTAS	0
LA MEZANA - PITIS	6
PEDREGAL	2
VILLA HERMOZA	8
LLUTIS	1
SARCAS - PAMPA B. GRANADO	13
LAS MALVINAS	3
TORAN	3
CALLAN	4
SAHUANI	0



DISTRITO URACA - CORIRE	VIVIENDAS DAÑADAS
CORIRE	20
EL DIQUE	2
URACA	5
LA CANDELARIA	16
BELLAVISTA	0
TORETE	0
SAN VICENTE	1

GOYENECHÉ	5
SAN FRANCISCO	1
BARRIO OBRERO	16
VILLA EL MIRADOR	4
LA PUNTA COLORADA	1
ESCALERILLAS	8
FATIMA	5
CANTAS	12
LA MEZANA - PITIS	39
PEDREGAL	11
VILLA HERMOZA	6
LLUTIS	2
SARCAS - PAMPA B. GRANADO	10
LAS MALVINAS	0
TORAN	0
CALLAN	0
SAHUANI	10



5.3.5 Mapa de Peligros del Valle de Majes

En el mapa de peligros N° 8, se consigna la evaluación en la cuenca del río Colca-Majes-Camaná, por inundación, activación de quebradas, tipos de suelos, deslizamientos y derrumbes, logrando determinar diversos sectores con distintos grados de peligrosidad.

Las zonas consideradas como peligrosas, son los sectores de Quiscay, Acoy, La Barranca, Cosos, Aplao, Caspini, El Reparó (Cochate) y La Real en la margen derecha del río y las riberas del río desde la Barranca hasta Huancarqui en la margen izquierda;

como altamente peligrosas se consideran la quebrada de Huancarqui. Las zonas como Querullpa Chico, El Rescate, El Dique, en la margen derecha del río y la quebrada de Sicera y Huacán en la margen izquierda. También están consideradas en esta zona los siguientes lugares: El Morro, La punta Colorada, y las riberas del río hasta Torán en la margen derecha. Como peligroso los sectores de La Mezana y la pista del ingreso al valle en la margen izquierdo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- El valle de Majes esta expuesto a la ocurrencia de fenómenos naturales locales como de características regionales.
- Los peligros por concepto de inundación se encuentra determinado en diferentes zonas a lo largo del valle, que afectarían tanto a terrenos de cultivos, viviendas, como los sectores Torán-Punta Colorada, El Dique, El Rescate, El Reparo, Caspini, Frente a la localidad de Aplao.

- Los peligros por deslizamientos y derrumbes se han determinado en los siguientes sectores: La carretera de ingreso al valle, La Mesana, El Morro, Sunimarca (El Dique), Querulpa Grande, Caspini, La Barranca, Quiscay.
- En la cuenca media y alta hay zonas susceptibles de deslizamientos como: la confluencia de río Ayo y el Colca, río Mamacocha y Colca, Lari y Maca.
- Los sectores expuestos a la activación de quebradas son: La quebrada Sicera y Huacán (El Pedregal), La quebrada del poblado de Huancarqui, quebrada Cosos, la quebrada de el Castillo, la quebrada de la Central, la quebrada de Ongoro, la quebrada Jarán y río Taparza.
- La amenaza de volcán Sabancaya en al área de estudio se relacionaría con la posibilidad de generación de flujos de lodo (Lahares), a través del río Majes.
- Las localidades de Cosos, Aplao, Huancarqui, La Real y Corire, se han caracterizado básicamente en dos tipos de suelos, de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas. El primero constituido por un material aluvial caracterizado por bloques y guijarros, arenas gravosas, en el caso de Aplao y La Real, conformando un cono, con materiales poco compactos superficialmente, compuestos por gravas angulosas, provenientes de la desintegración y fracturamiento de la roca, mezcladas con arenas limosas de origen volcánico (cenizas).
- En la localidad de Huancarqui se ha reconocido la presencia de materiales areno limosos provenientes de la formación Moquegua inferior y la presencia de materiales aluviales provenientes del proceso erosivo.
- En las localidades de Aplao y La Real constituyen dos tipos bien marcados de suelos: los suelos tipo III, correspondientes a las partes altas de los asentamientos son de origen deluvial con características no muy uniformes y valores de capacidades portantes menores a 2.00 kg/cm^2 ; y los suelos correspondientes a la parte baja, constituidos por materiales sedimentarios y aluvionales medianamente compactos con valores de capacidad portante mayores a 2.00 kg/cm^2 .
- En la localidad de Corire, se ha determinado material sedimentario fino, arenas limosas subyacente el material aluvial poco compacto, presentando un nivel freático variable de acuerdo a la estación, por lo que el valor de la capacidad portante se puede considerar como menor a 2.00 kg/cm^2 .
- Se recomienda en las construcciones el tipo de cimentación mediante vigas de conexión, para evitar los asentamientos diferenciales con los consiguientes efectos de daños estructurales.
- Es importante por otro lado considerar una simetría en los diseños, con la finalidad de mantener un equilibrio entre los centros de gravedad y de rigidez de las estructuras, con lo que se minimiza los efectos de torsión en las estructuras.

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 fault 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 PCSI. 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 Muyorco 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 Jeronimo 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 MAPAS DE UBICACION

- 1A. Plano de ubicación (Refracción Sísmica, Sondajes Eléctricos y Calicatas Aplao
- 1B. Mapa de ubicación de Refracción Sísmica de Huancarqui
- 1C. Plano de ubicación (Refracción Sísmica, Sondajes Eléctricos y Calicatas La Real
- 1D. Plano de ubicación (Refracción Sísmica, Sondajes Eléctricos y Calicatas Corire



Terrenos de Cultivo

Terrenos de Cultivo

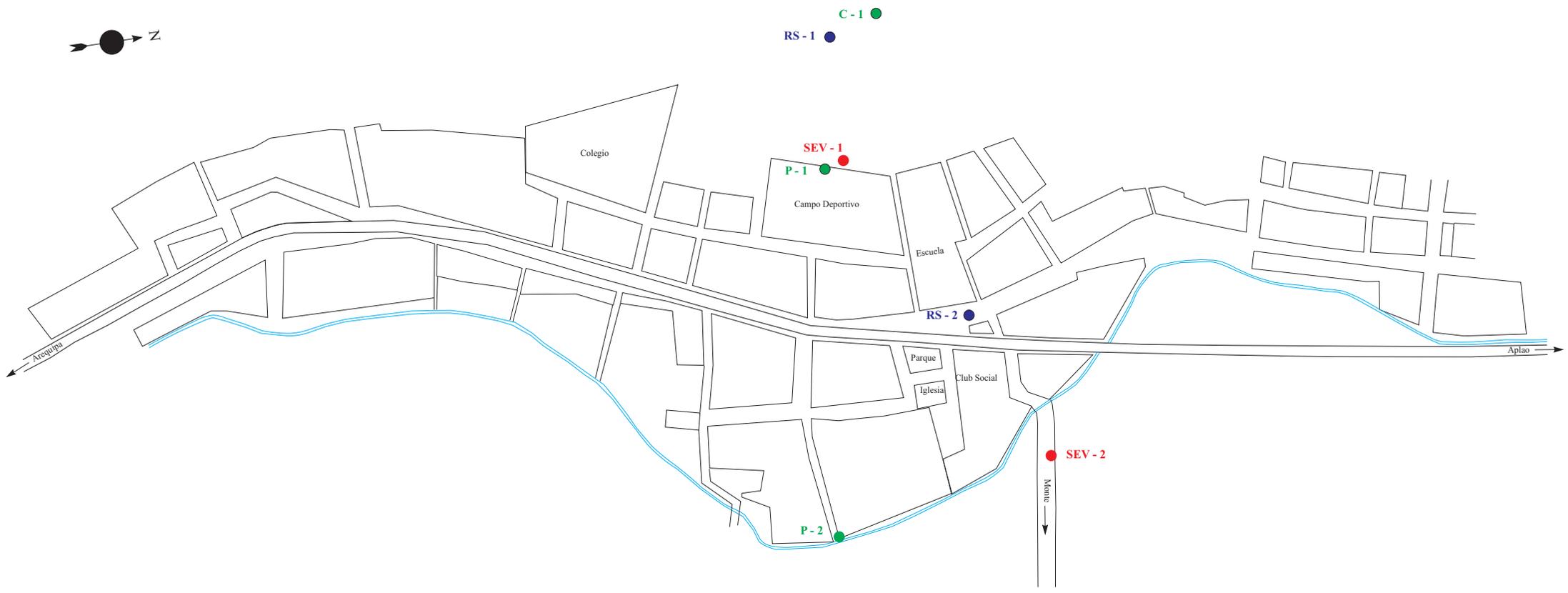
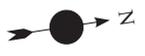
LEYENDA

- Refracción Sísmica
- Sondajes Electricos Verticales
- Calicatas y Perfiles



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

PLANO DE UBICACION:
 (REFRACCIÓN SISMICA, SONDAJES
 ELECTRICOS, CALICATAS Y PERFILES) - APLAO



LEYENDA

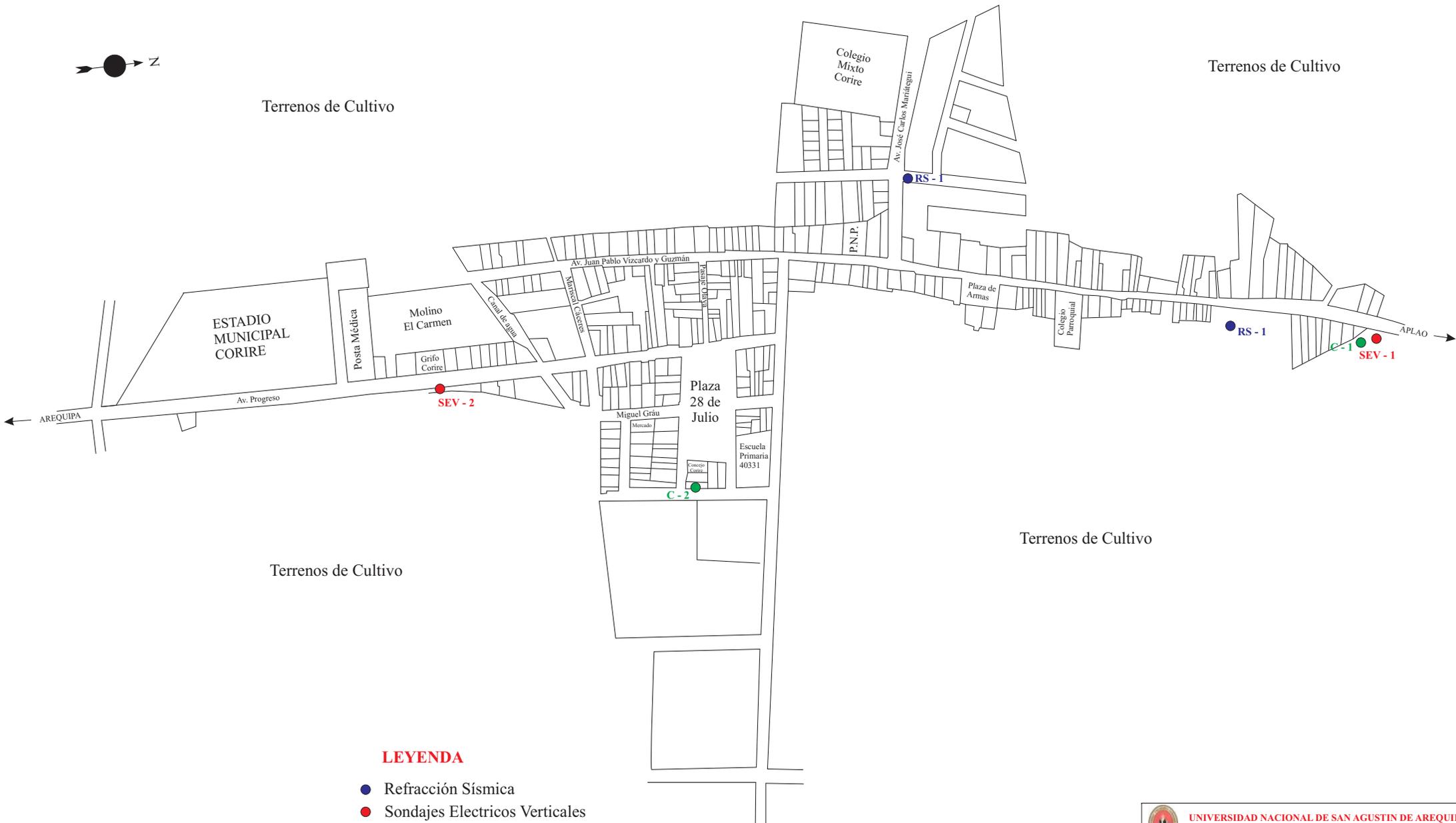
- Refracción Sísmica
- Sondajes Electricos Verticales
- Calicatas y Perfiles

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI
	PLANO DE UBICACION: (REFRACCIÓN SISMICA, SONDAJES ELECTRICOS Y CALICATAS) - LA REAL
Fecha: noviembre, 2001	Fig. Nº 1C



Terrenos de Cultivo

Terrenos de Cultivo



LEYENDA

- Refracción Sísmica
- Sondajes Electricos Verticales
- Calicatas



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

PLANO DE UBICACION:
(REFRACCIÓN SISMICA, SONDAJES
ELECTRICOS Y CALICATAS) - CORIRE

Fecha: noviembre, 2001

Fig. N° 1D

B. LISTA DE COLUMNAS SISMICAS

1. COLUMNA SISMICA APLAO
 - Calle 2
 - Calle 2

2. COLUMNA SISMICA APLAO
 - Próximo a planta de Leche Gloria
 - Terrenos de cultivo

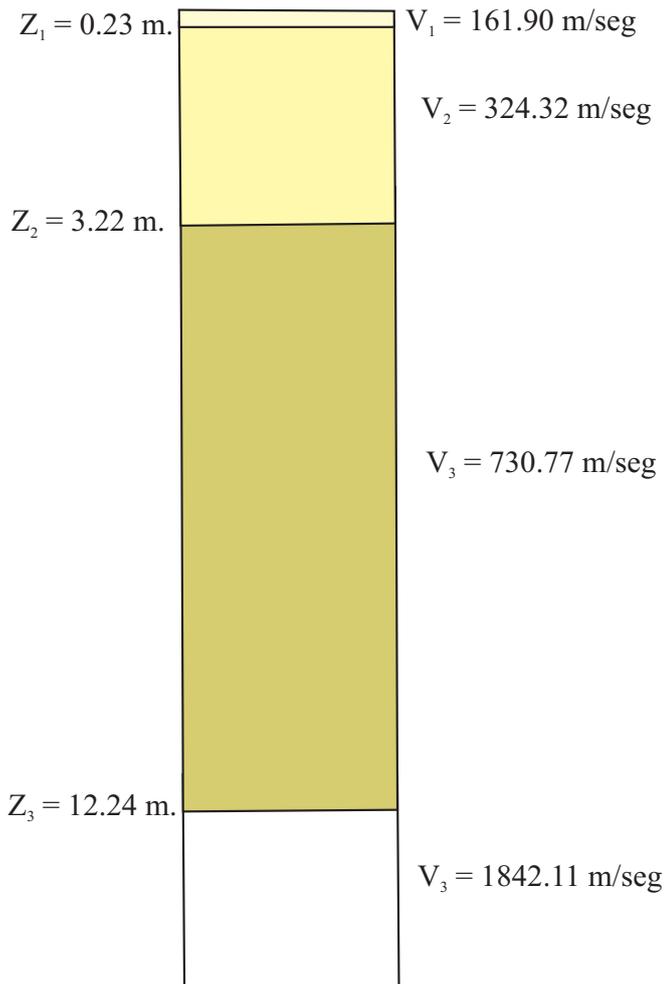
3. COLUMNA SÍSMICA APLAO
 - Frente a piscina municipal
 - Calle Progreso

4. COLUMNA SÍSMICA COSOS - HUANCARQUI
 - Parte frontal de Iglesia
 - Calle 30 de Agosto

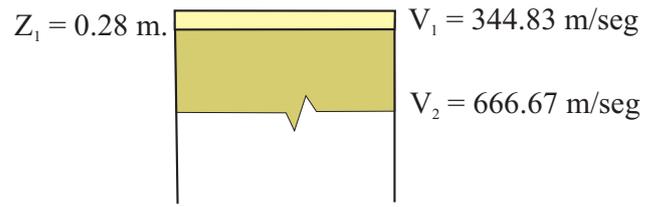
5. COLUMNA SÍSMICA ANEXO LA REAL
 - Parte superior
 - Camino a Urb. Santa Ana

6. COLUMNA SÍSMICA CORIRE
 - Av. Vizcardo y Guzmán – Campo Deportivo
 - Esq. José C. Mariategui – Pje. Quinta canales

**APLAO - RS 1
(Calle 2)**



**APLAO - RS 2
(Calle 2)**



Leyenda

- Material superficial inconsolidado
- Depósitos coluviales - proluviales no consolidados
- Depósitos coluviales - proluviales algo más compacto
- Parte intemperizada de la formación Yura

$Z_1 \dots =$ Profundidad

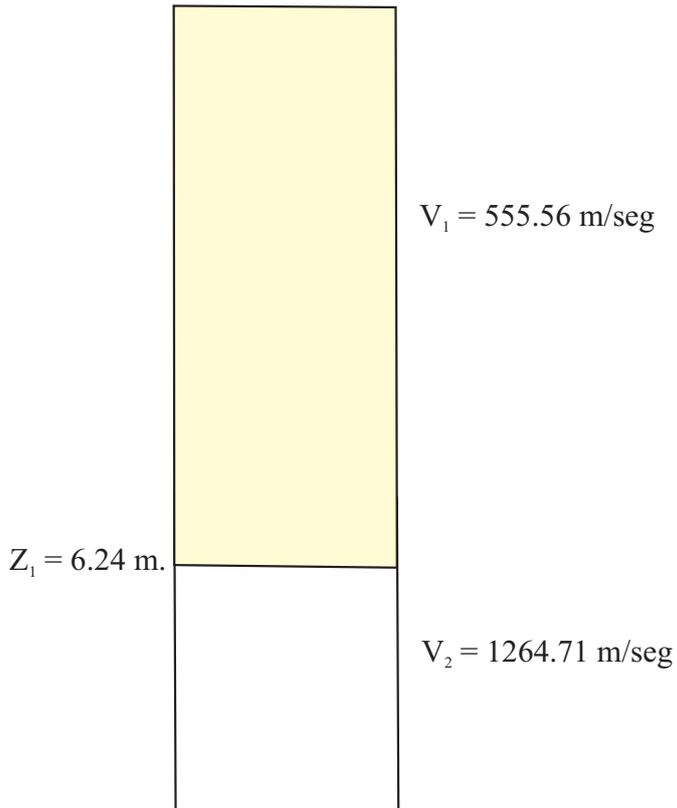
$V_1 \dots =$ Velocidad



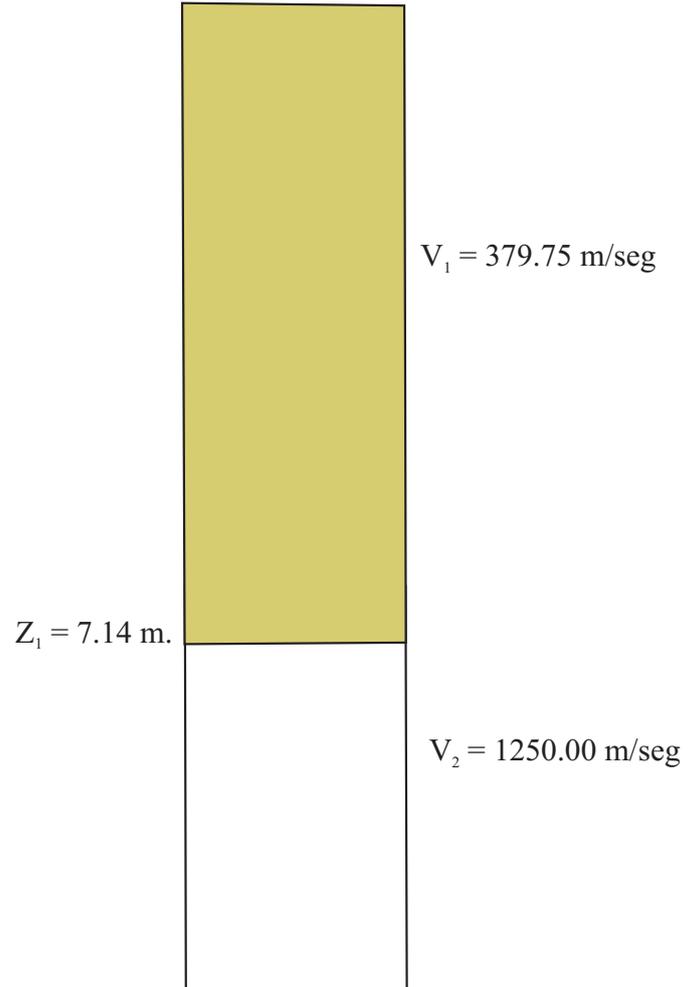
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI**

**COLUMNA SISMICA
APLAO**

**APLAO - RS 3
(Próx. Planta Leche Gloria)**



**APLAO - RS 4
(Terrenos de Cultivo a 200 m.
De Planta Leche Gloria)**



Leyenda

-  Materiales inconsolidados de origen proluvial
-  Suelo de cultivo
-  Suelo gravoso con cantos subangulosos en matriz areno-limoso

$Z_1 \dots =$ Profundidad

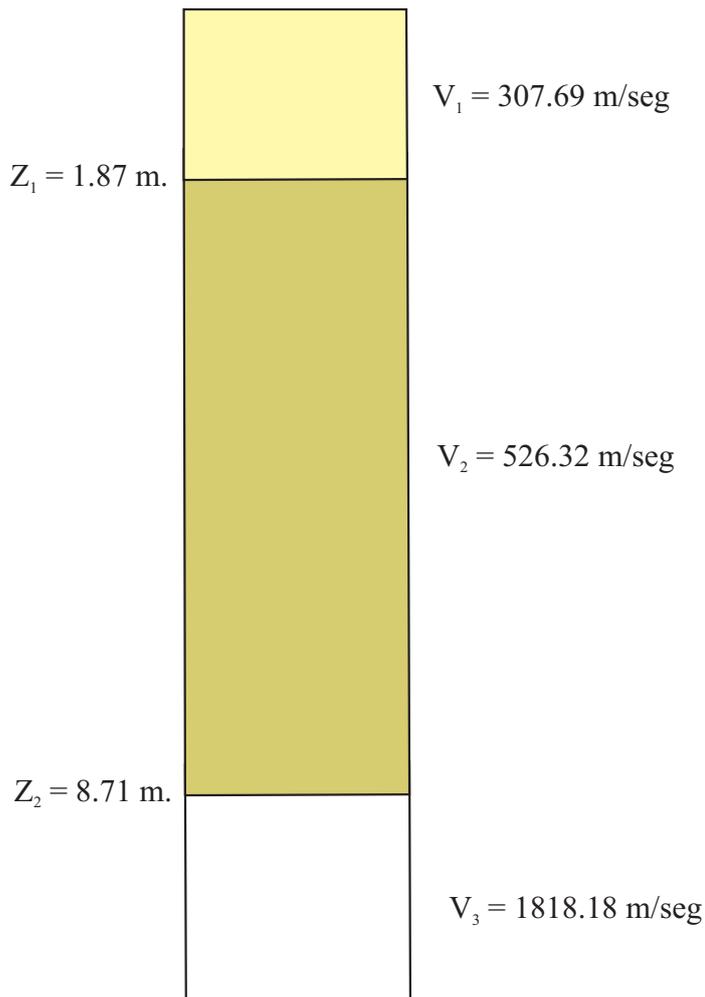
$V_1 \dots =$ Velocidad



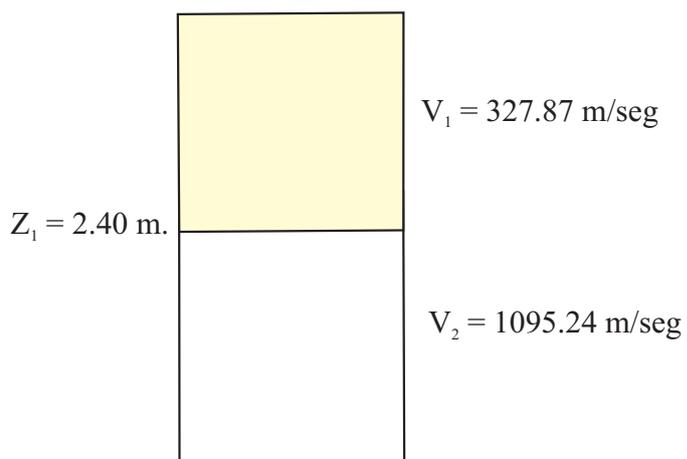
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI**

**COLUMNA SISMICA
APLAO**

**APLAO - RS 5
(Frente a Piscina Municipal)**



**APLAO - RS 6
(Calle Progreso)**



Leyenda

- Material areno-limoso
- Conglomerados semicompactos

$Z_1 \dots = \text{Profundidad}$
 $V_1 \dots = \text{Velocidad}$

Leyenda

- Materiales superficiales pobremente consolidados de origen aluvial
- Material ligeramente compacto constituido por gravas y arenas
- Sedimentos algo densos de origen aluvial

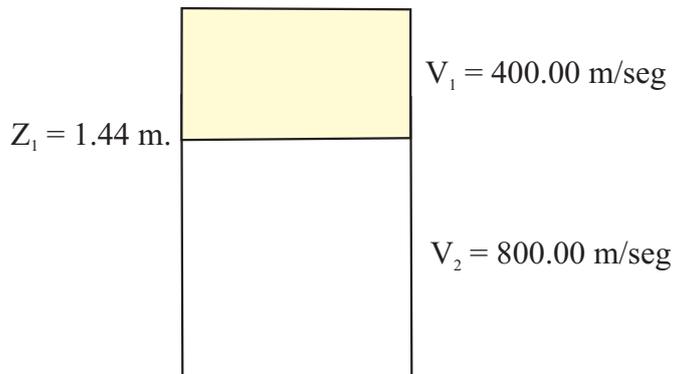
$Z_1 \dots = \text{Profundidad}$
 $V_1 \dots = \text{Velocidad}$



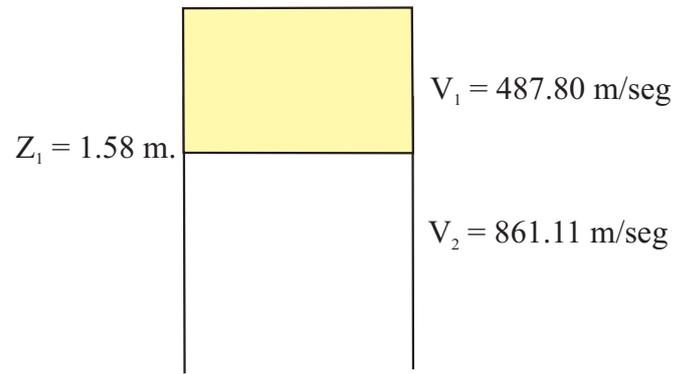
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

COLUMNA SISMICA
APLAO

**ANEXO COSOS - RS 7
(Parte frontal de Iglesia)**



**DISTRITO HUANCARQUI - RS 8
(Calle 30 de Agosto)**



Leyenda

-  Materiales proluviales y aluviales semicompactos
-  Gravas y arenas de origen proluvial - aluvial algo compacto

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

Leyenda

-  Suelos aluviales algo compactos
-  Mezcla de arenas, gravas y sedimentos de la formación Moquegua inferior y en algunos sectores se observa la presencia de cenizas

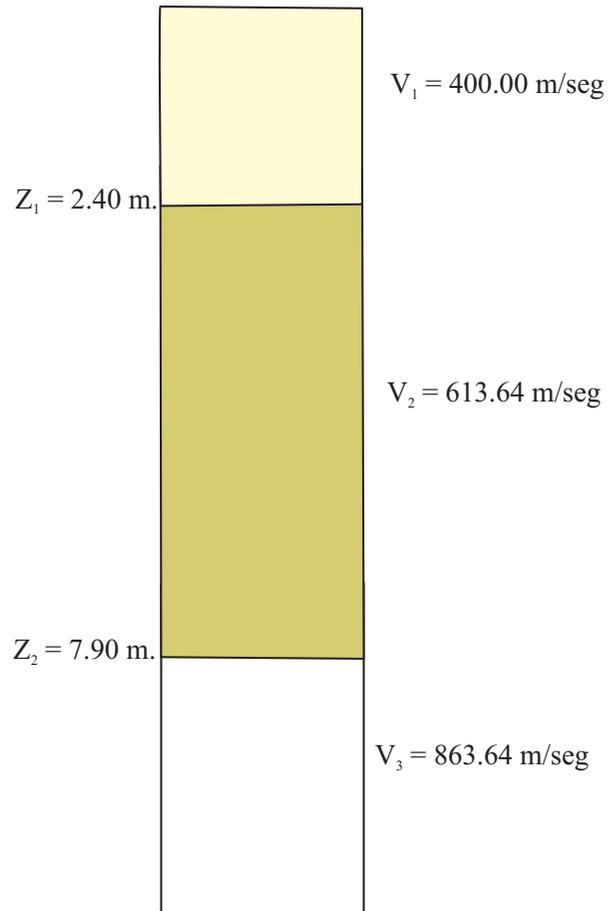
$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad



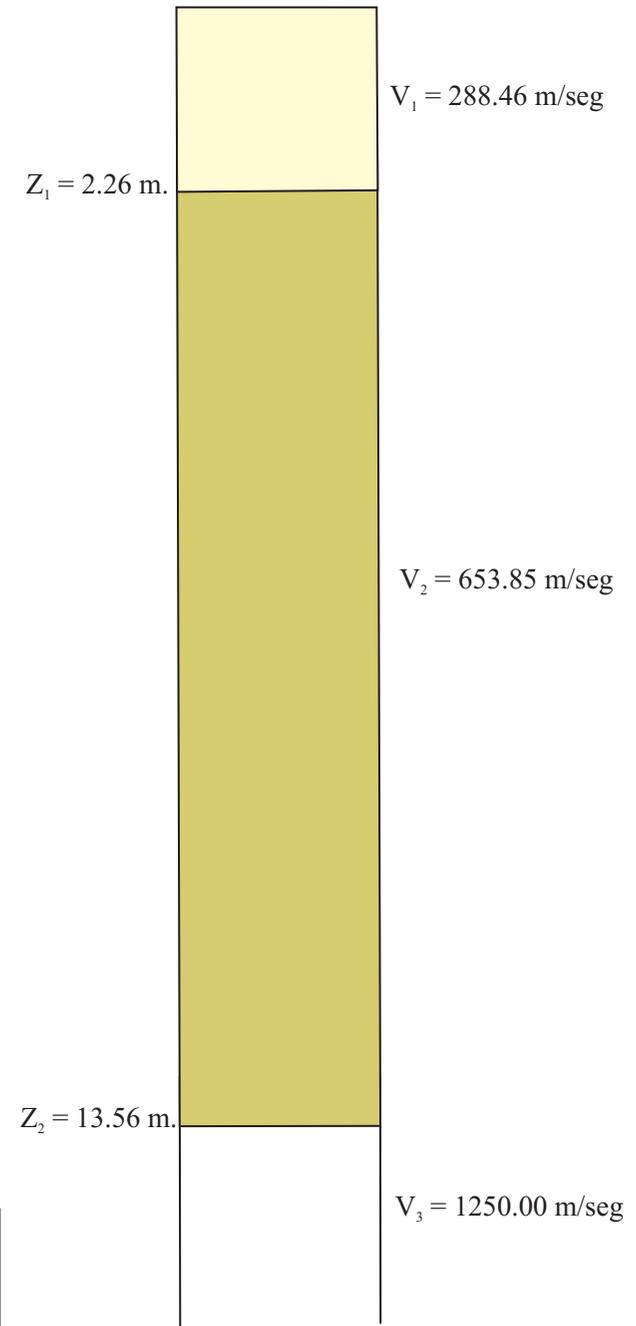
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
 INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
 CONVENIO UNSA INDECI**

**COLUMNA SISMICA
 COSOS - HUANCARQUI**

**ANEXO LA REAL - RS 9
(Parte Superior)**



**ANEXO LA REAL - RS 10
(Camino a Urb. Santa Ana)**



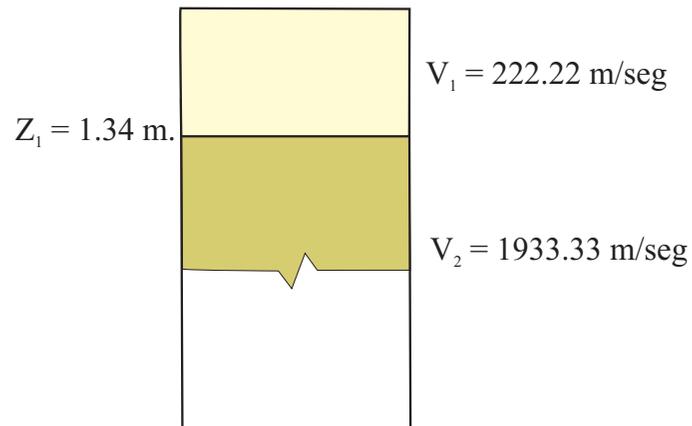
Leyenda

- Material deluvial
- Material deluvial algo más compacto
- Materiales más compactos

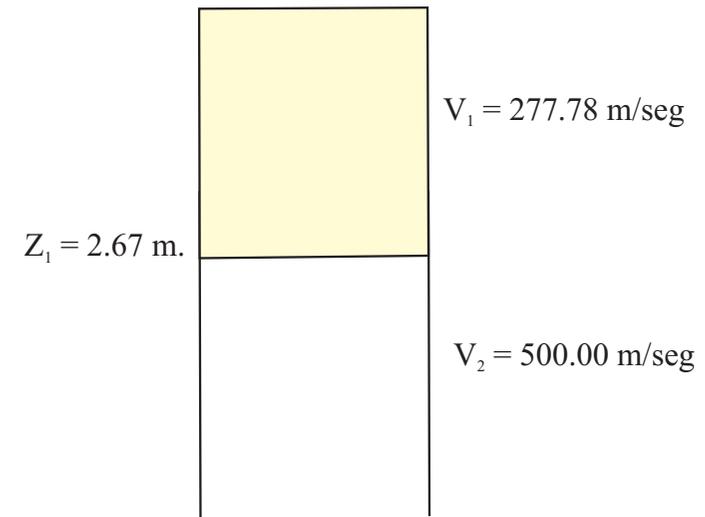
$Z_1 \dots =$ Profundidad
 $V_1 \dots =$ Velocidad

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA INSTITUTO GEOFISICO - UNSA CONVENIO UNSA INDECI</p>
<p>COLUMNA SISMICA ANEXO LA REAL</p>	

CORIRE - RS 11
(Av. Vizcardo y Guzmán - Campo Deportivo)



CORIRE - RS 12
(Esq. José C. Mariategui - Psje Quinta Canales)



Leyenda

-  Material areno limosos
-  Material aluvial compacto
-  Material areno limosos con presencia de agua

$Z_1 \dots = \text{Profundidad}$

$V_1 \dots = \text{Velocidad}$

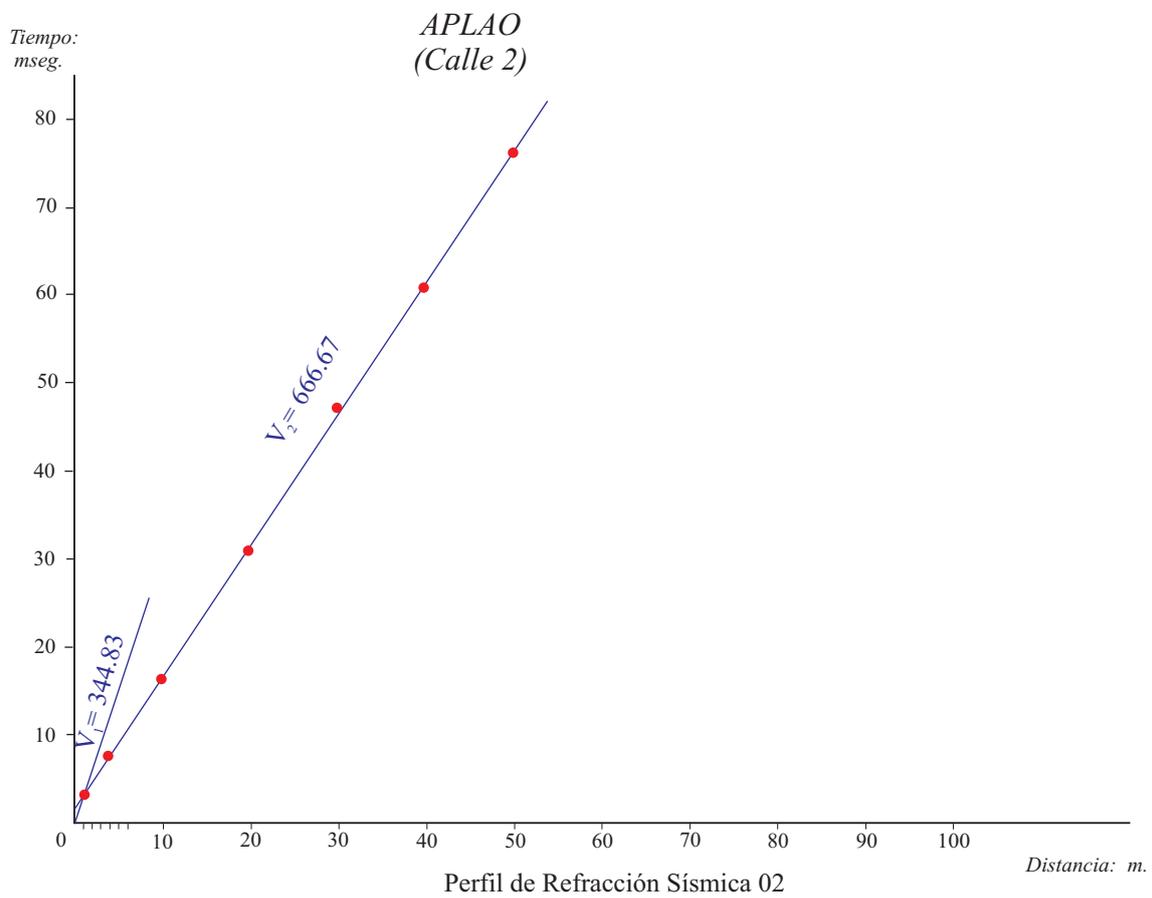
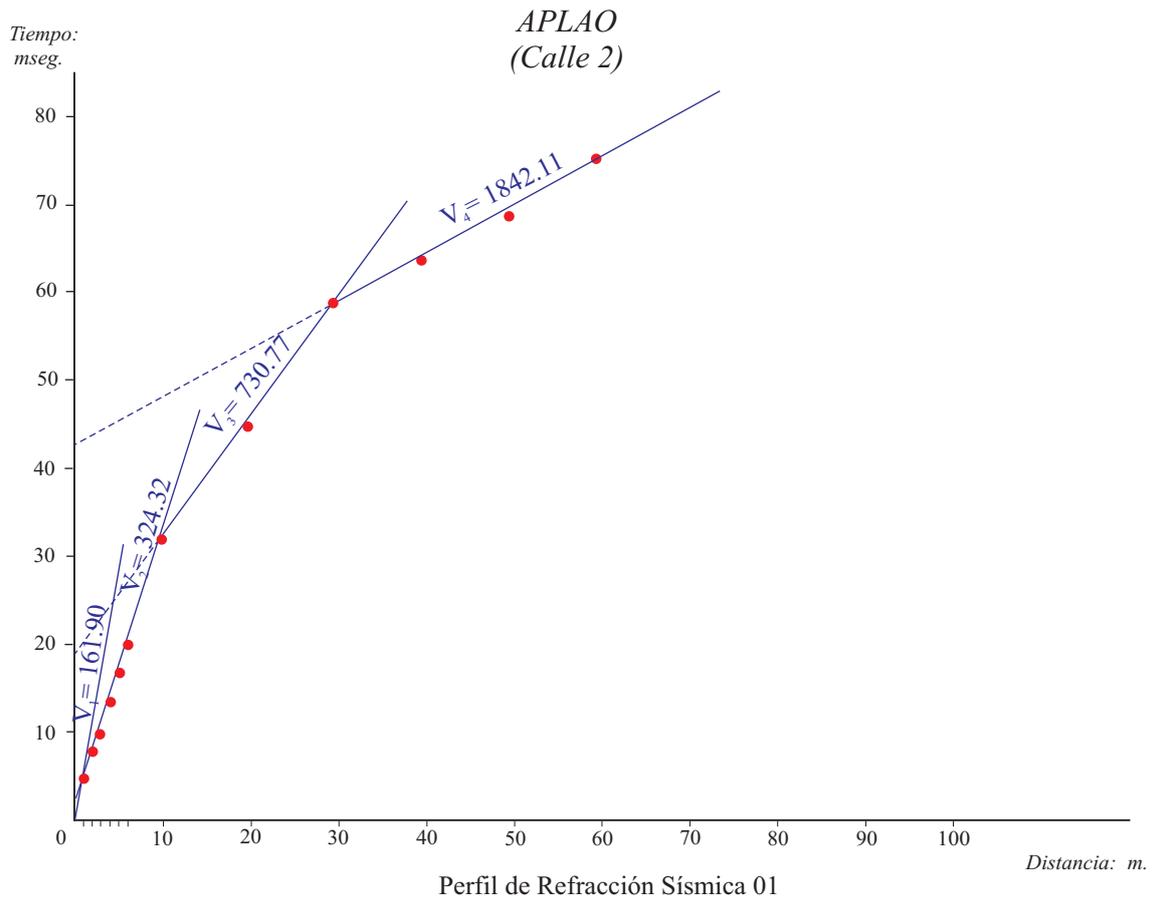


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

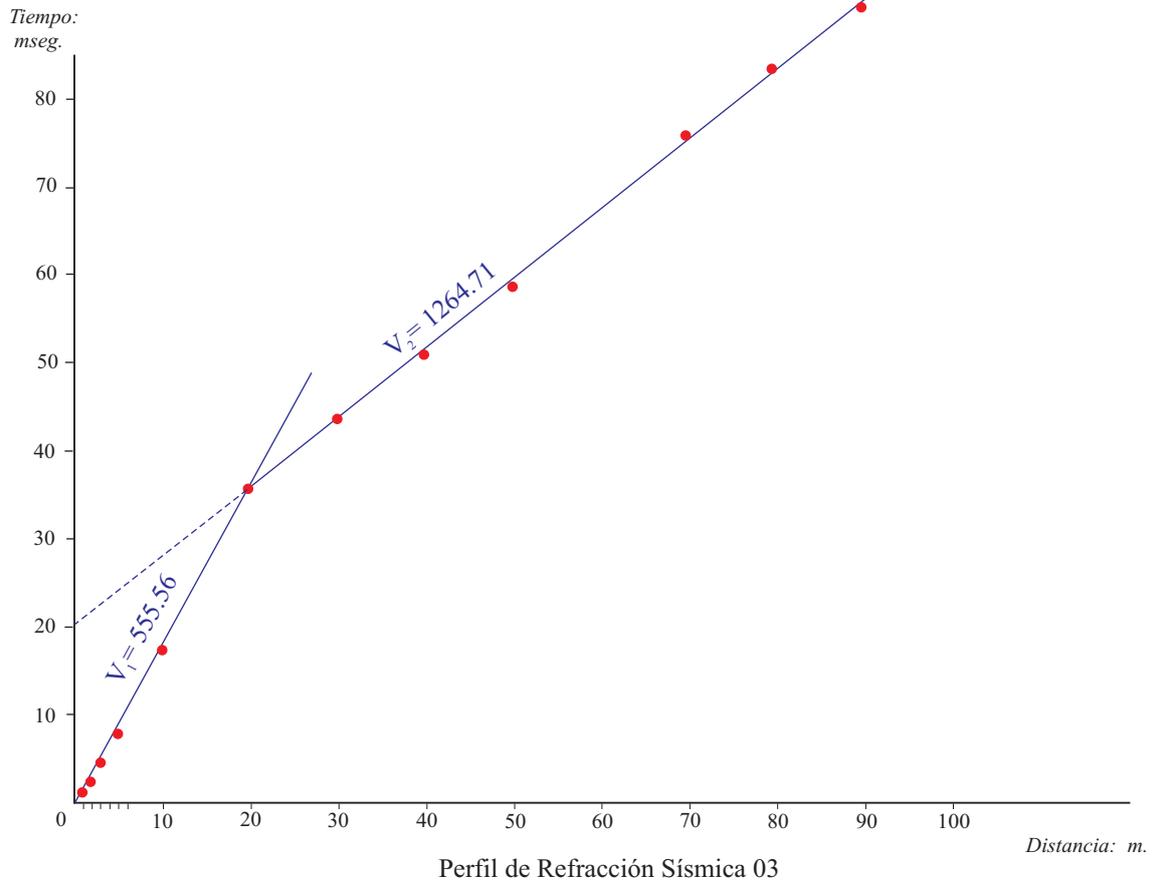
COLUMNA SISMICA
CORIRE

C. LISTA DE PERFILES SISMICOS

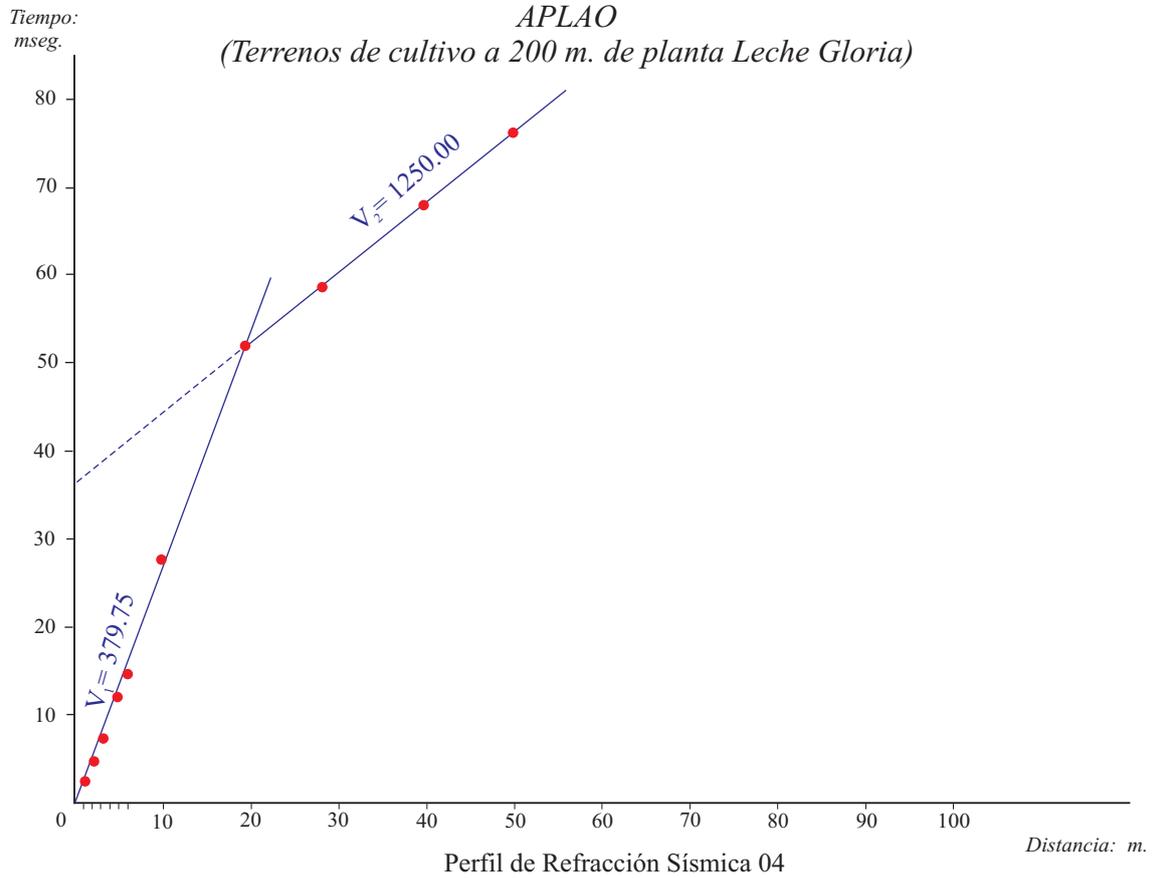
1. Perfil de Refracción Sísmica 01 Aplao - Calle 2
2. Perfil de Refracción Sísmica 02 Aplao - Calle 2
3. Perfil de Refracción Sísmica 03 Aplao - Próximo a planta de leche Gloria
4. Perfil de Refracción Sísmica 04 Aplao - terrenos de cultivo
5. Perfil de Refracción Sísmica 05 Aplao - Frente a piscina Municipal
6. Perfil de Refracción Sísmica 06 Aplao - Calle Progreso
7. Perfil de Refracción Sísmica 07 Cosos - Parte frontal de Iglesia
8. Perfil de Refracción Sísmica 08 Huancarqui - Calle 30 de Agosto
9. Perfil de Refracción Sísmica 09 La Real - parte superior
10. Perfil de Refracción Sísmica 10 La Real - parte superior
11. Perfil de Refracción Sísmica 11 Corire – campo deortivo
12. Perfil de Refracción Sísmica 12 Corire – Quinta Canales



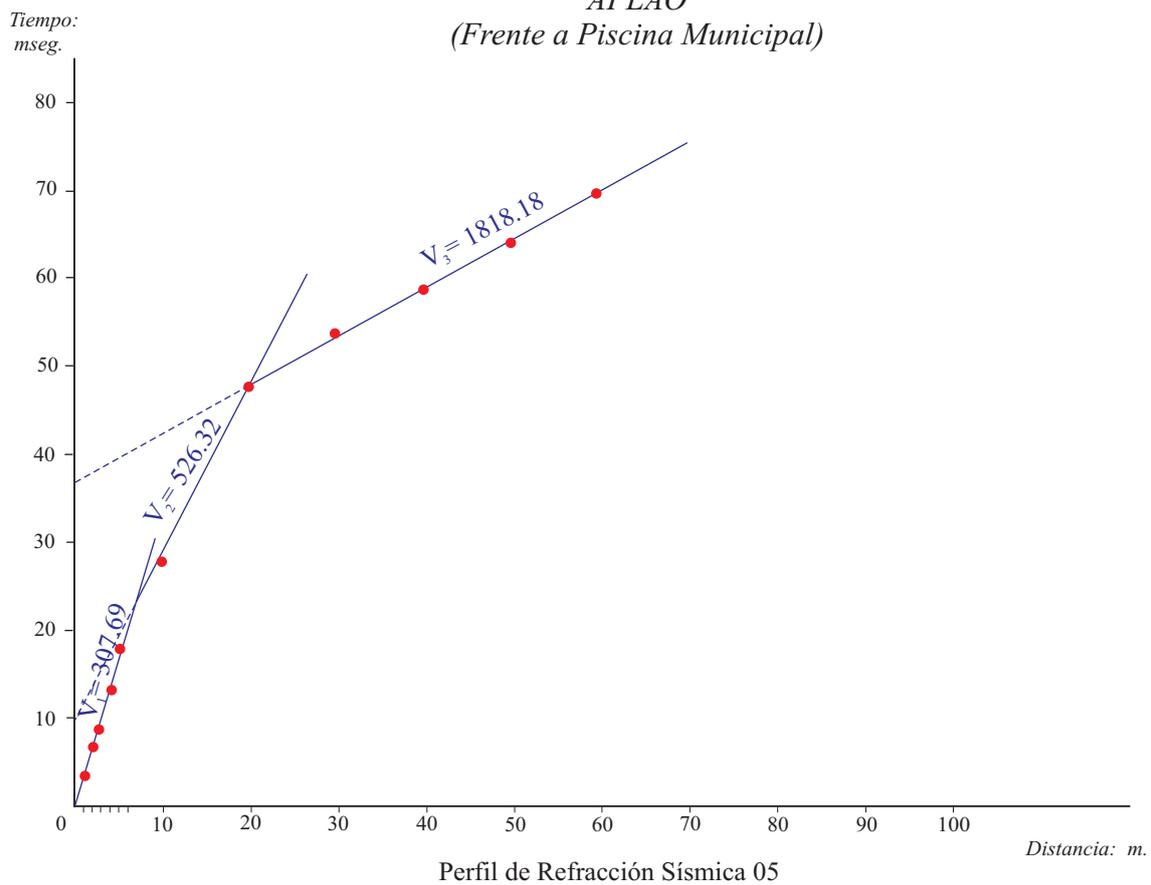
APLAO
(Próximo a Planta de Leche Gloria)



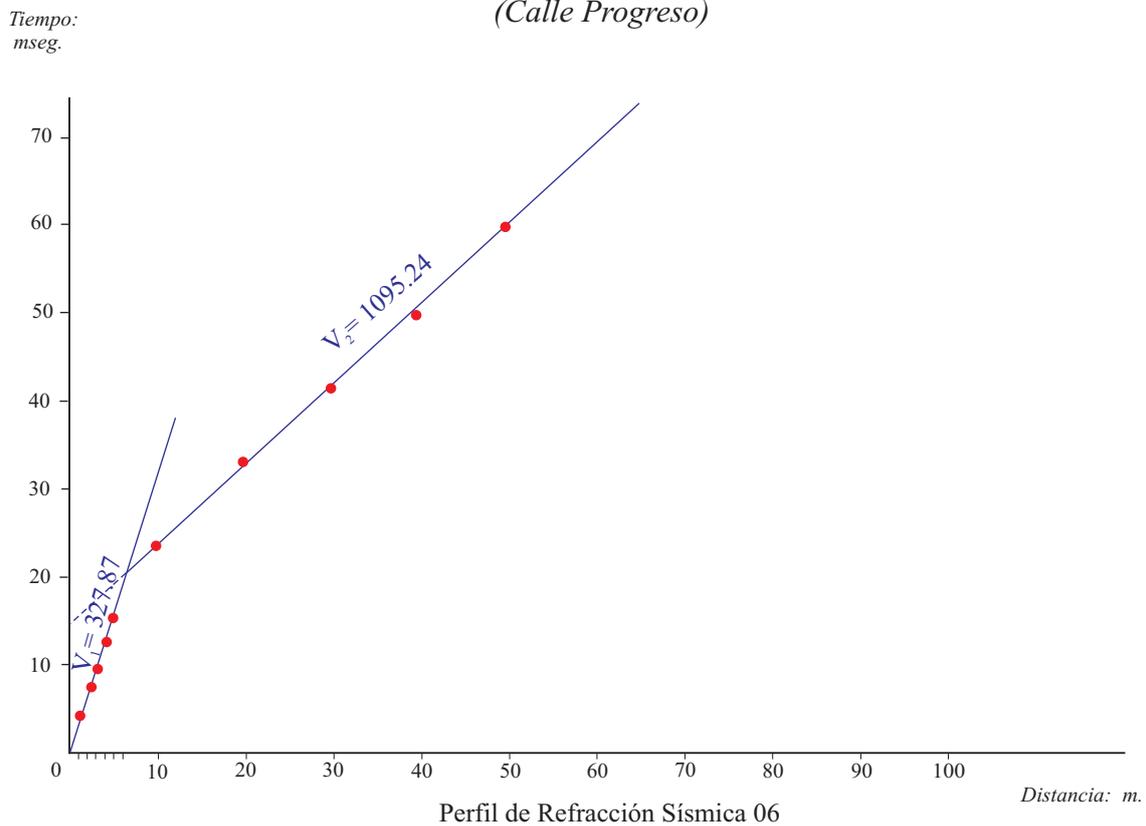
APLAO
(Terrenos de cultivo a 200 m. de planta Leche Gloria)



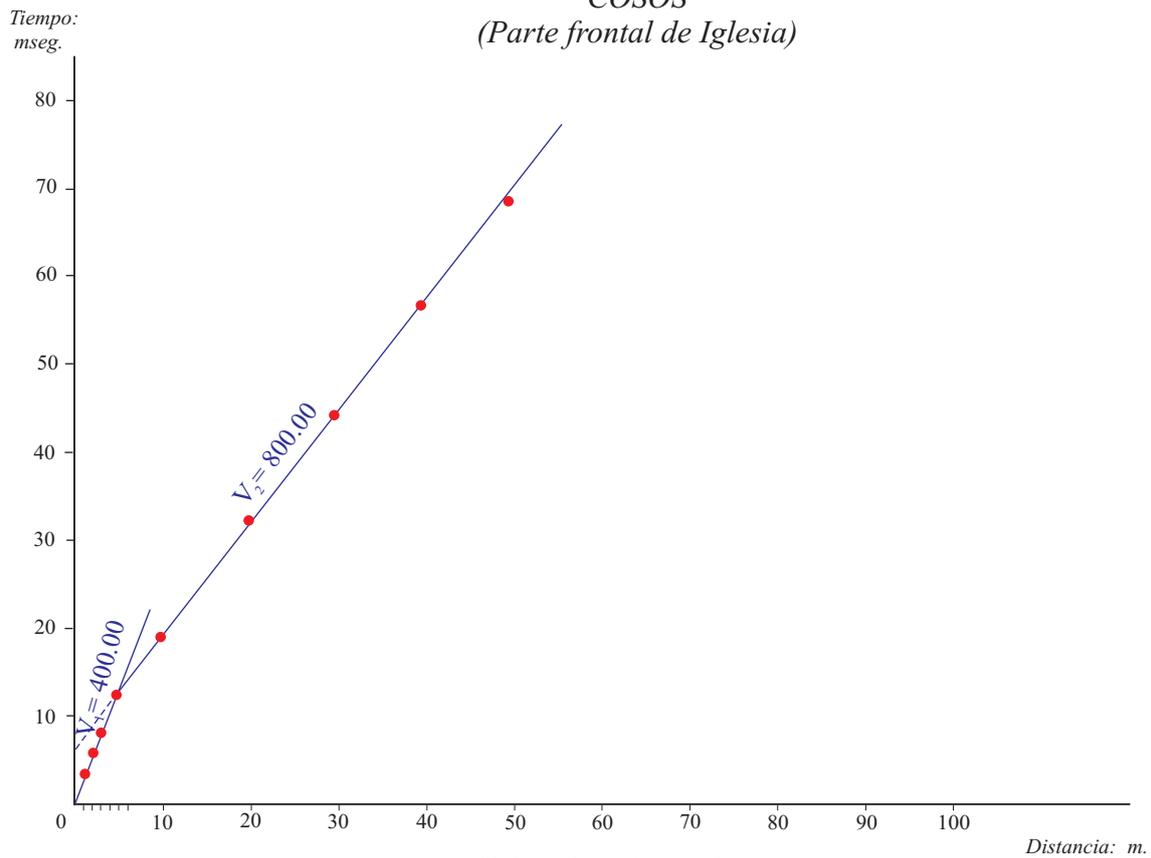
APLAO
(Frente a Piscina Municipal)



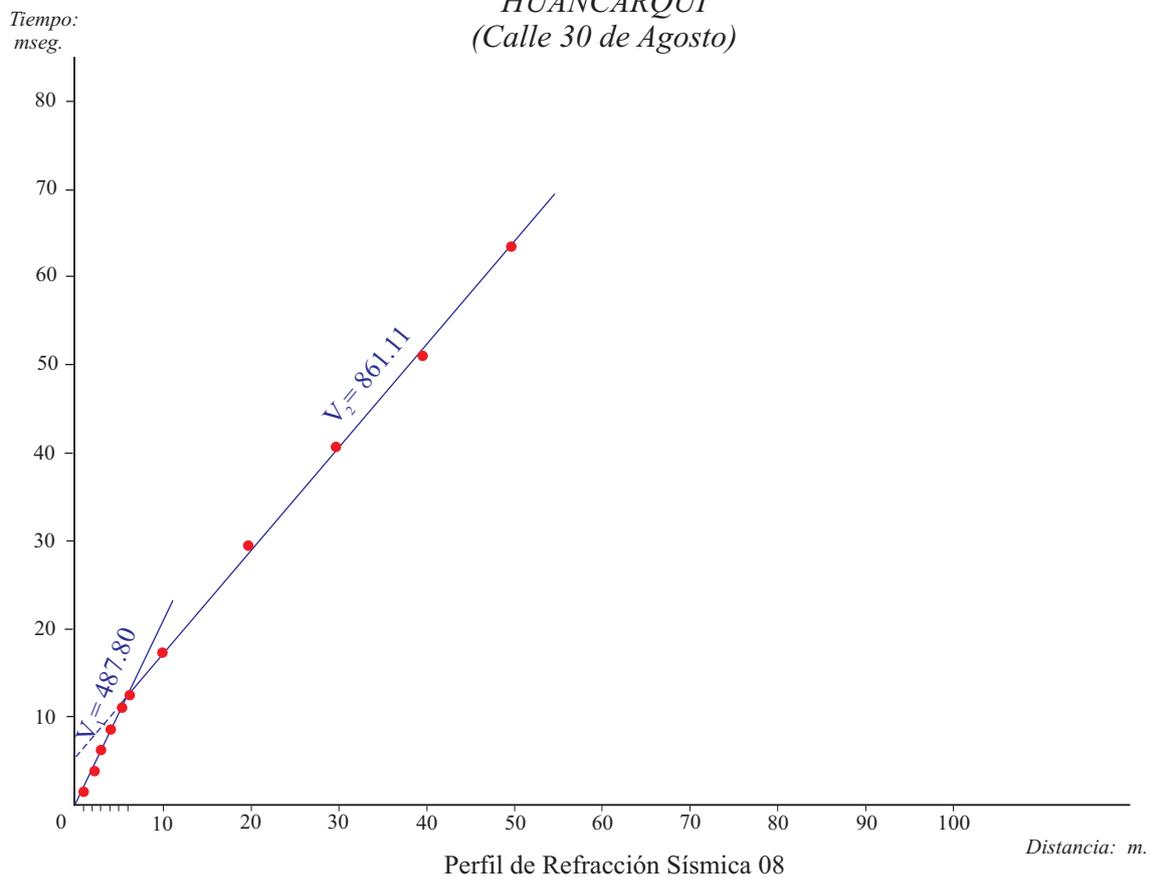
APLAO
(Calle Progreso)



COSOS
(Parte frontal de Iglesia)

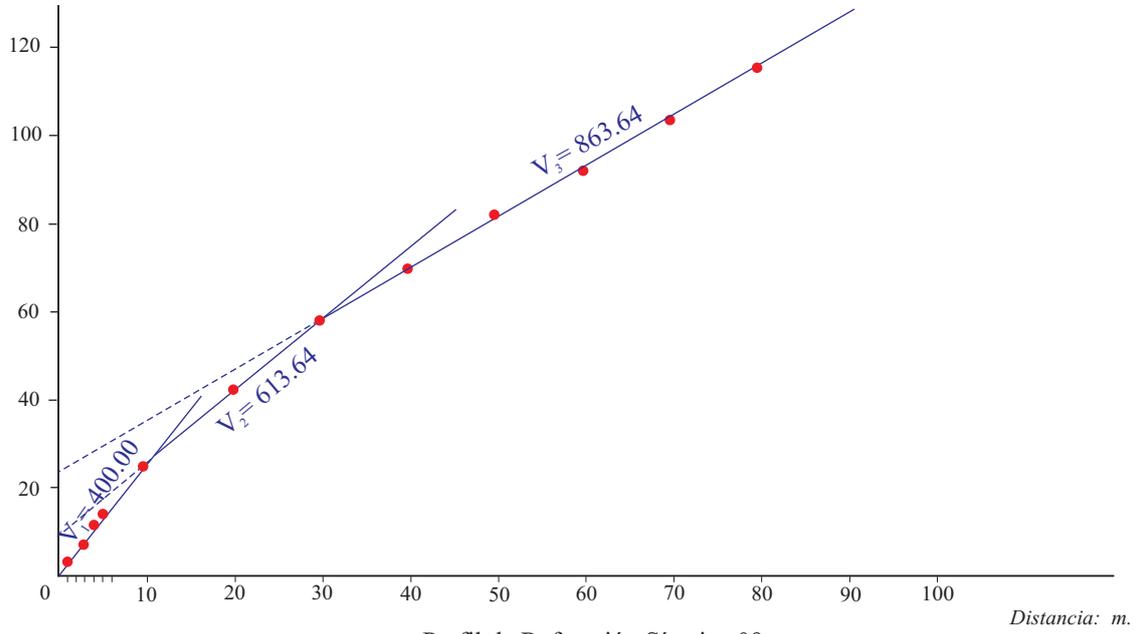


HUANCARQUI
(Calle 30 de Agosto)



LA REAL
(Parte superior)

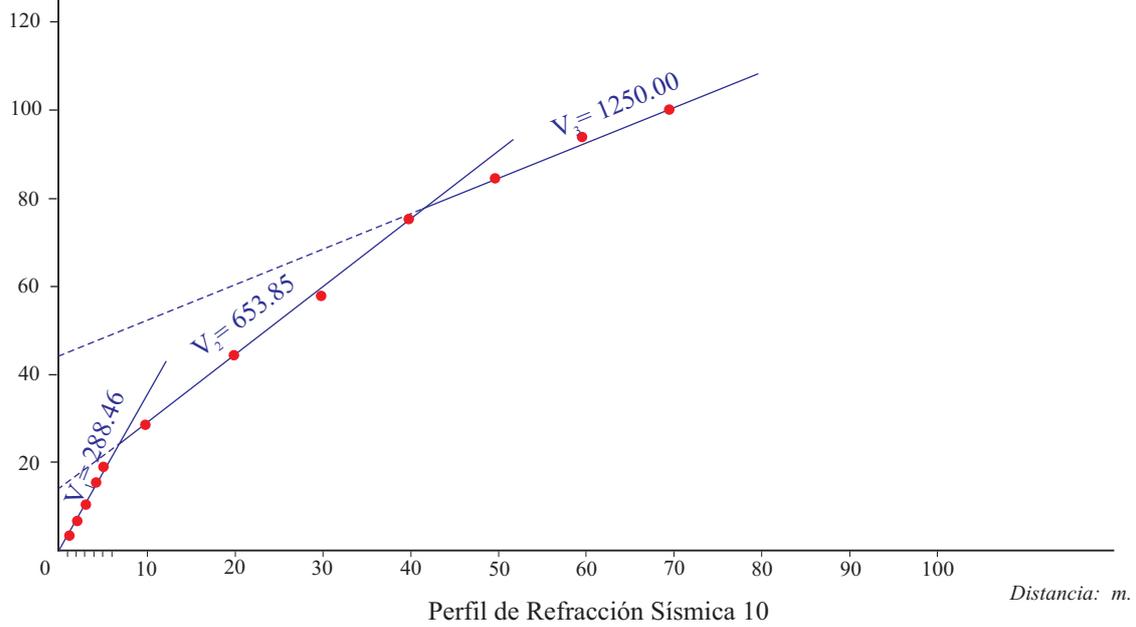
Tiempo:
mseg.



Perfil de Refracción Sísmica 09

LA REAL
(Camino a Urb. Santa Ana)

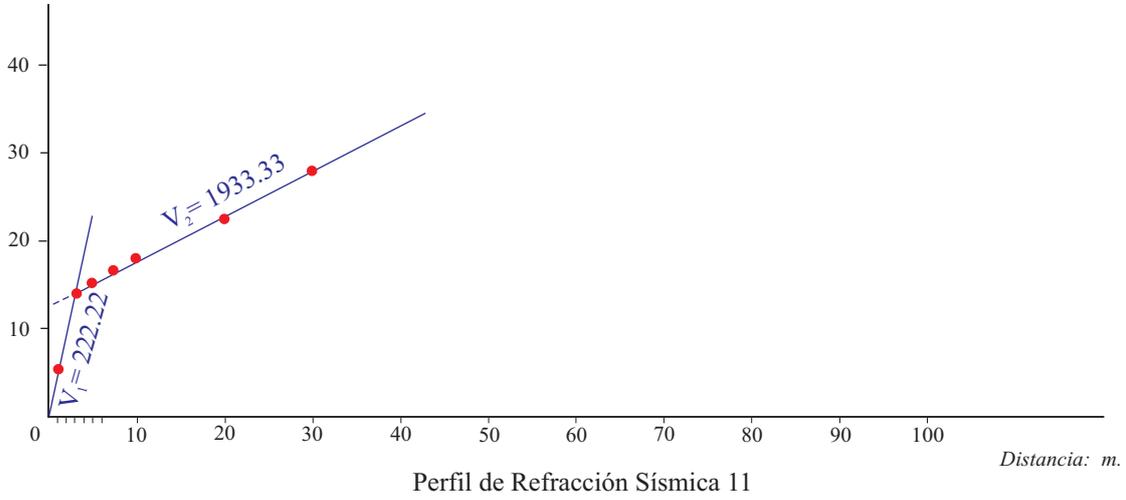
Tiempo:
mseg.



Perfil de Refracción Sísmica 10

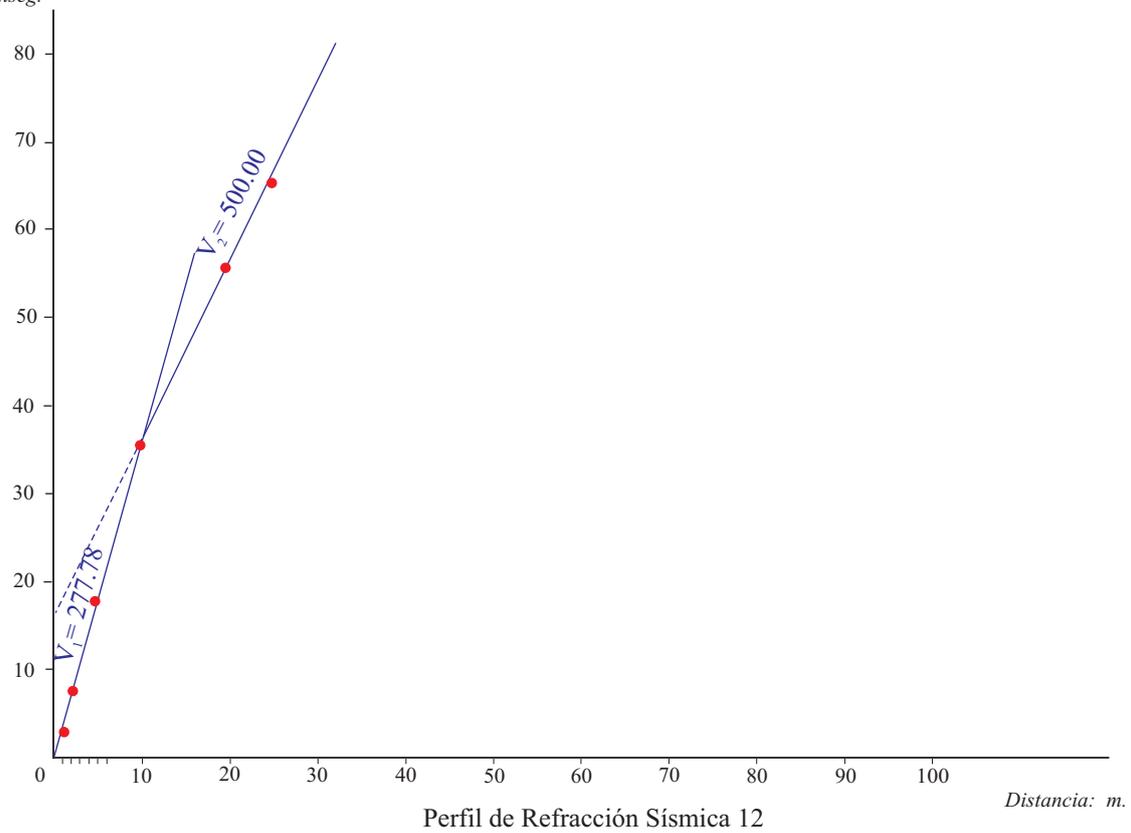
CORIRE
(Av. Vizcardo y Guzmán - Campo deportivo)

Tiempo:
mseg.



CORIRE
(Esq. José C. Mariategui - Psje. Quinta Canales)

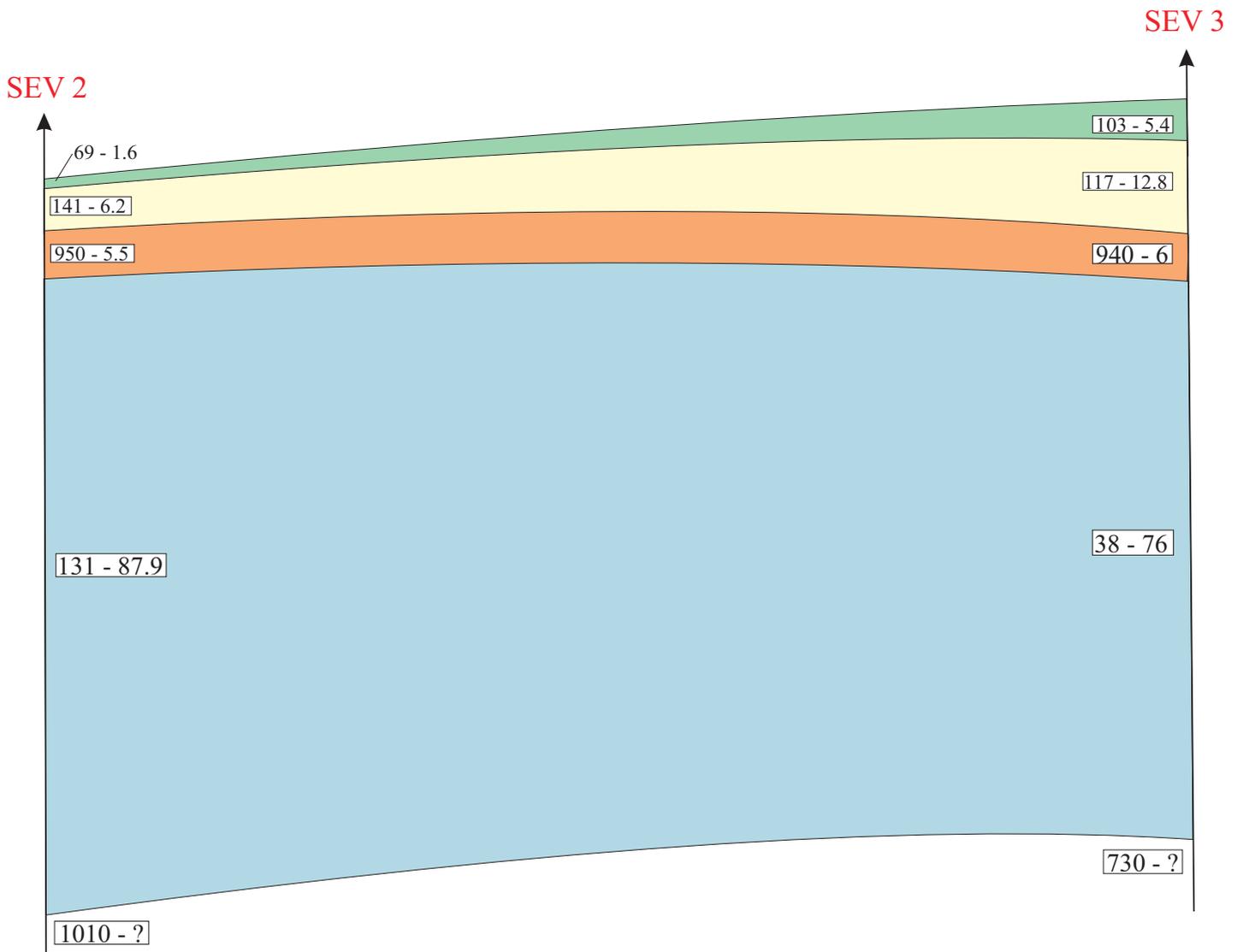
Tiempo:
mseg.



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

1. PERFIL GEOELECTRICO, PARTE BAJA DE APLAO
2. PERFIL GEOELECTRICO, PARTE ALTA DE APLAO
3. COLUMNA GEOELECTRICA, ANEXO LA REAL
4. PERFIL LONGITUDINAL DE CORIRE

PERFIL GEOELECTRICO PARTE BAJA DE APLAO



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (Terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvio - Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

38 - 76

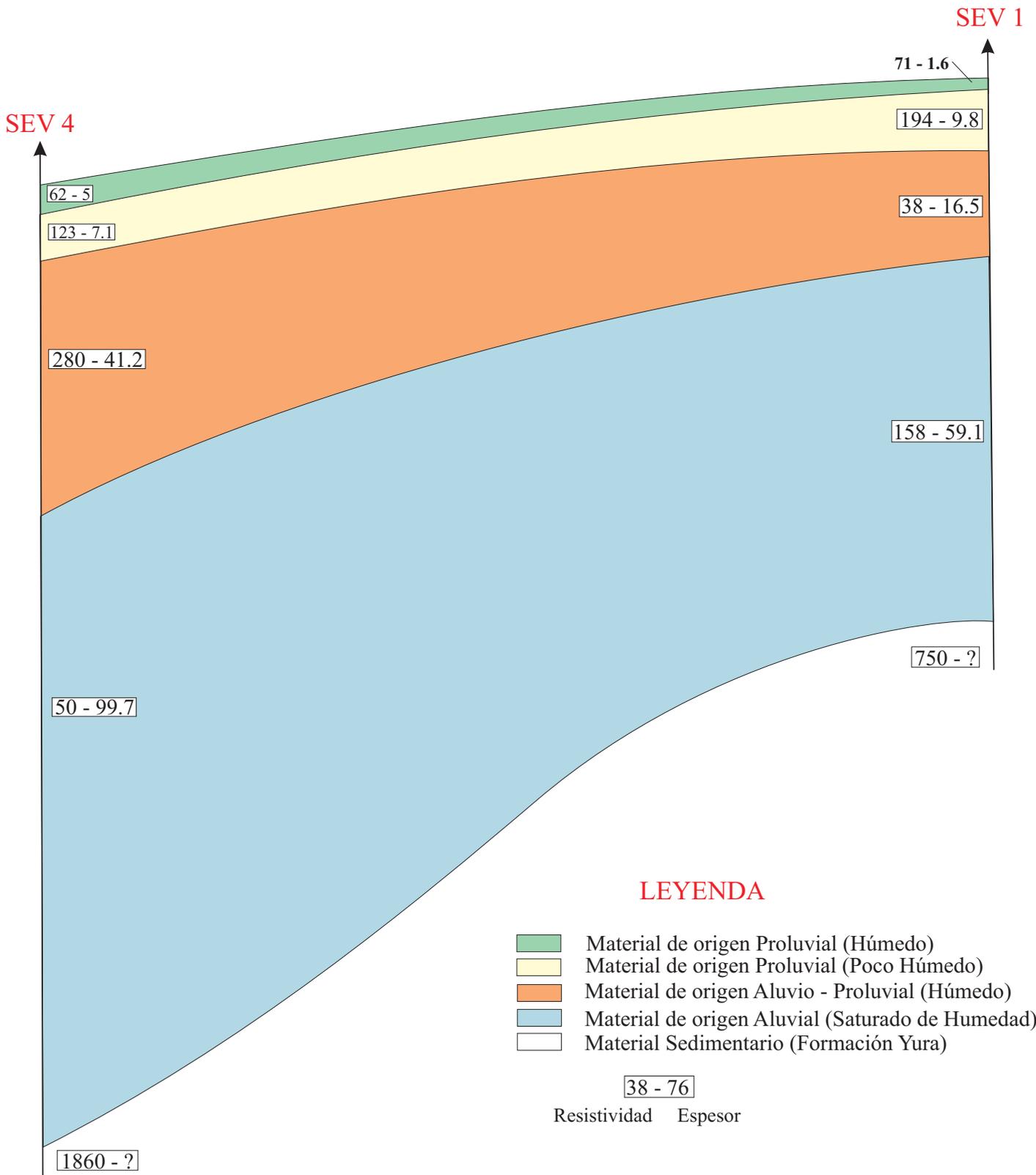
Resistividad Espesor



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

PERFIL GEOELECTRICO
 PARTE BAJA DE APLAO

PERFIL GEOELECTRICO PARTE ALTA DE APLAO



LEYENDA

- Material de origen Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Proluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvio - Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

38 - 76

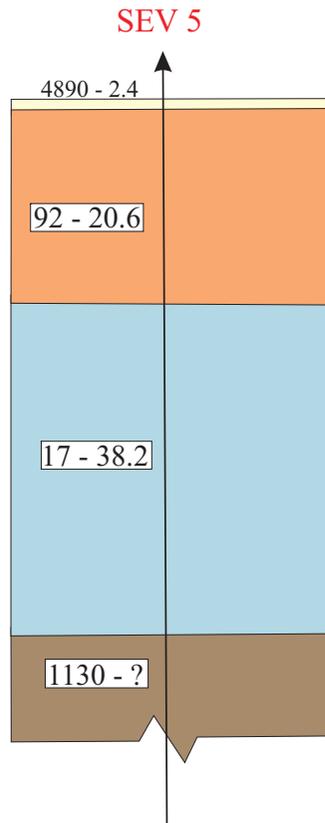
Resistividad Espesor



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

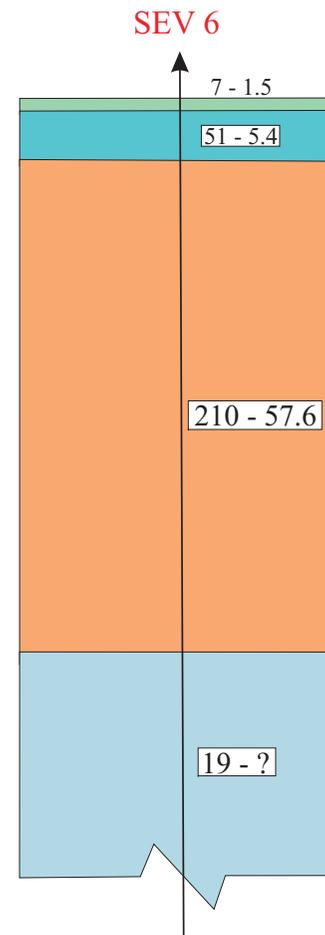
PERFIL GEOELECTRICO
 PARTE ALTA DE APLAO

COLUMNAS GEOELECTRICAS ANEXO LA REAL



LEYENDA

- Material de origen proluvial (carente de humedad)
- Material de origen Proluvial (compactado)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (húmedo)
- Material de origen Aluvial (compactado)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)

38 - 76

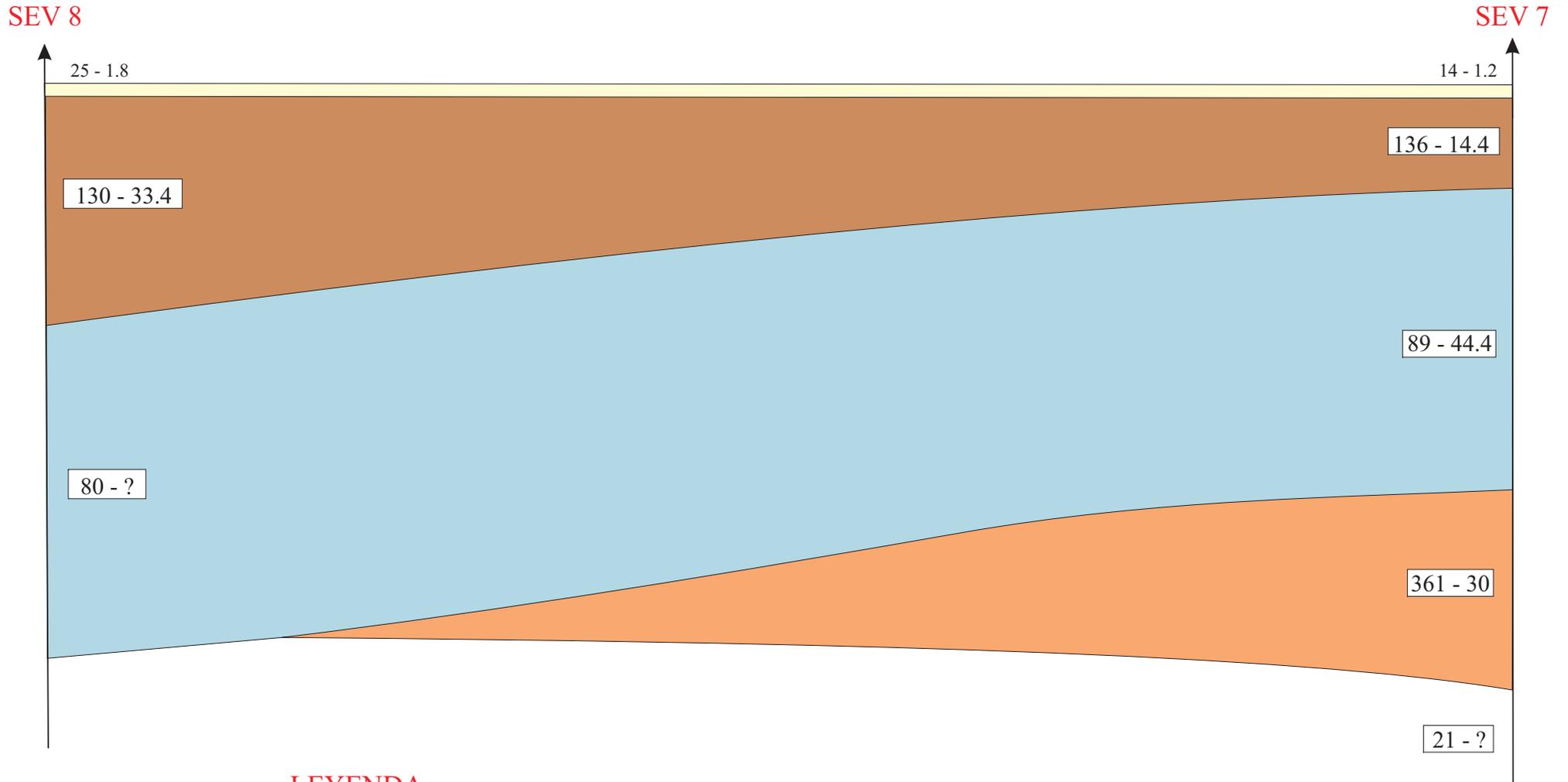
Resistividad Espesor



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

COLUMNAS GEOELECTRICAS
ANEXO LA REAL

PERFIL LONGITUDINAL DE CORIRE



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (Terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material de origen Aluvial (De grano Grueso)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)



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

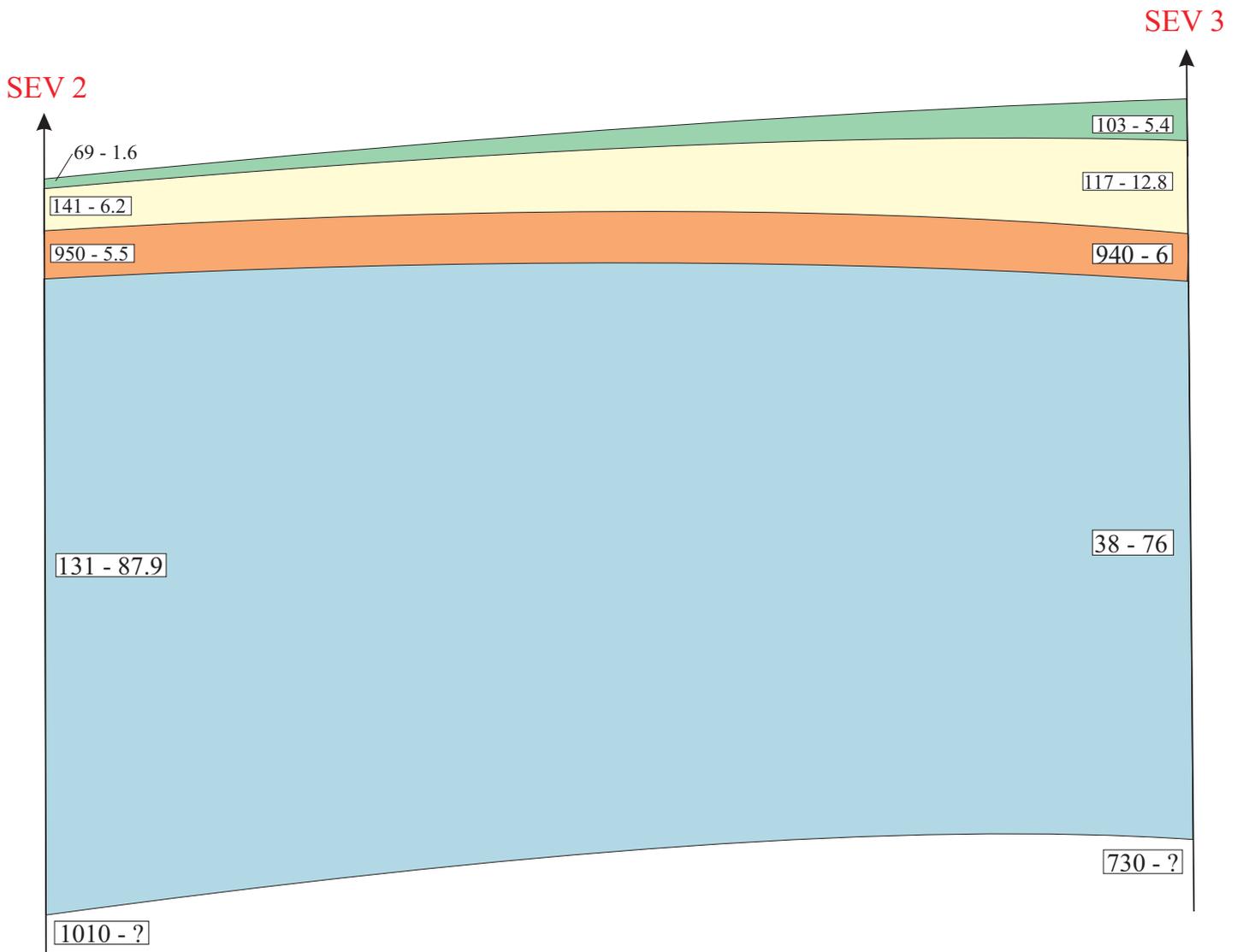
PERFIL LONGITUDINAL
 DE CORIRE

Fecha: noviembre, 2001

Fig. N° 4

**E. RESULTADO DE ANALISIS QUÍMICO,
CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS,
COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS,**

PERFIL GEOELECTRICO PARTE BAJA DE APLAO



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (Terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvio - Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

38 - 76

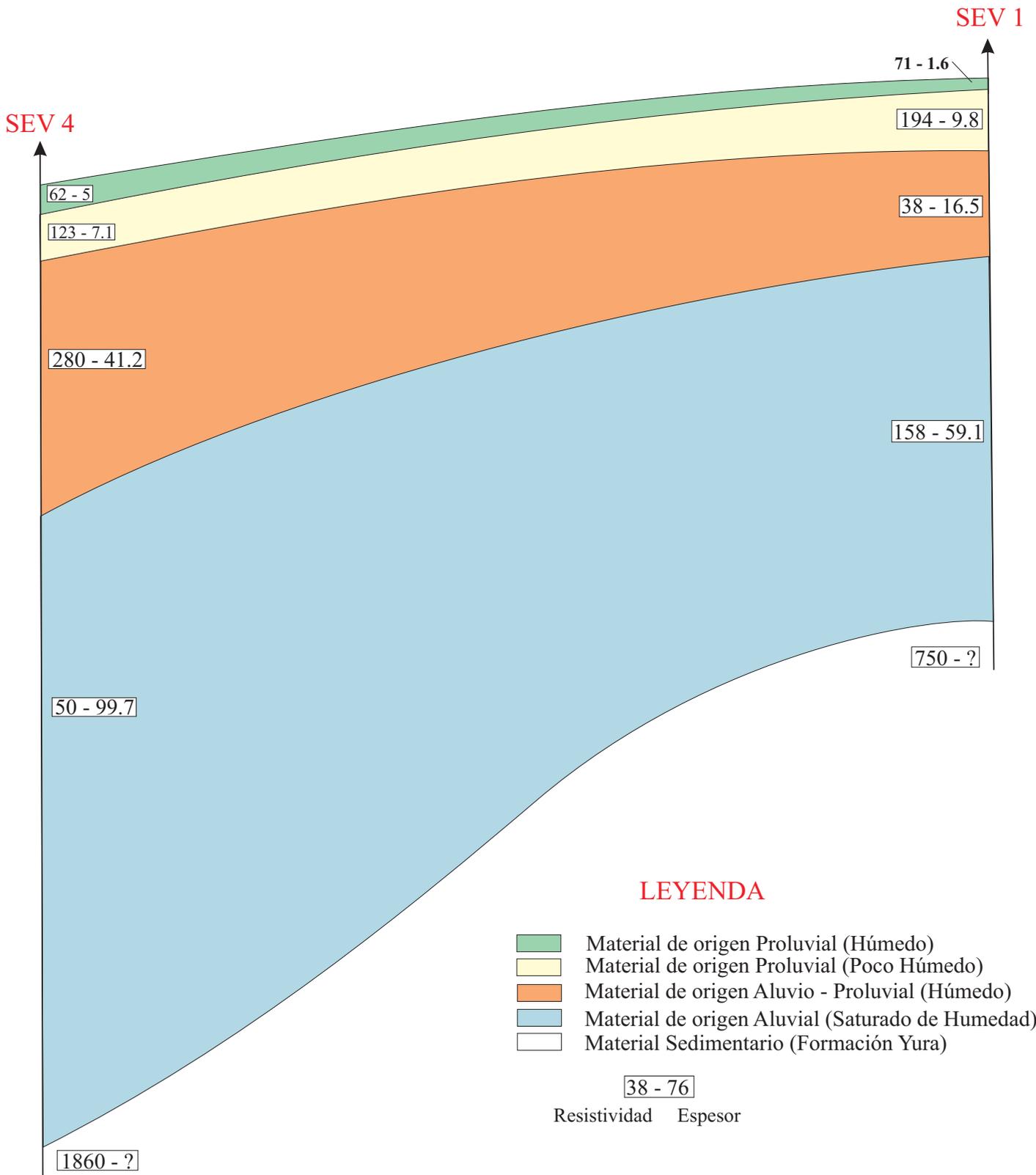
Resistividad Espesor



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

PERFIL GEOELECTRICO
 PARTE BAJA DE APLAO

PERFIL GEOELECTRICO PARTE ALTA DE APLAO



LEYENDA

- Material de origen Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Proluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvio - Proluvial (Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

38 - 76

Resistividad Espesor

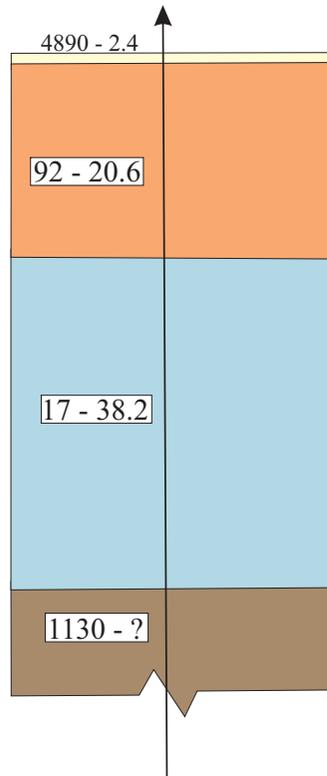


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA
INSTITUTO GEOFISICO - UNSA
CONVENIO UNSA INDECI

PERFIL GEOELECTRICO
 PARTE ALTA DE APLAO

COLUMNAS GEOELECTRICAS ANEXO LA REAL

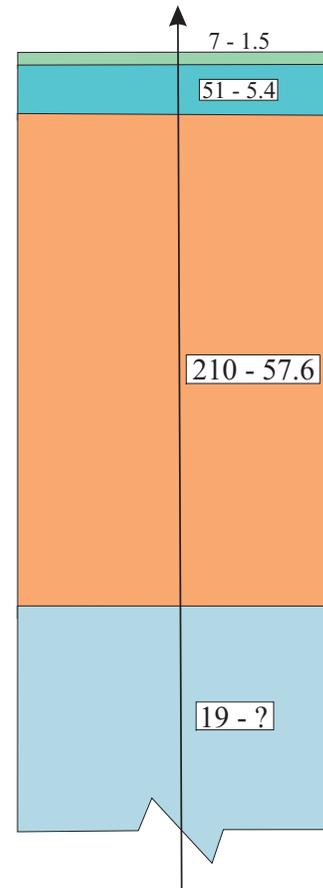
SEV 5



LEYENDA

- Material de origen proluvial (carente de humedad)
- Material de origen Proluvial (compactado)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)
- Material Sedimentario (Formación Yura)

SEV 6



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (húmedo)
- Material de origen Aluvial (compactado)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)

38 - 76

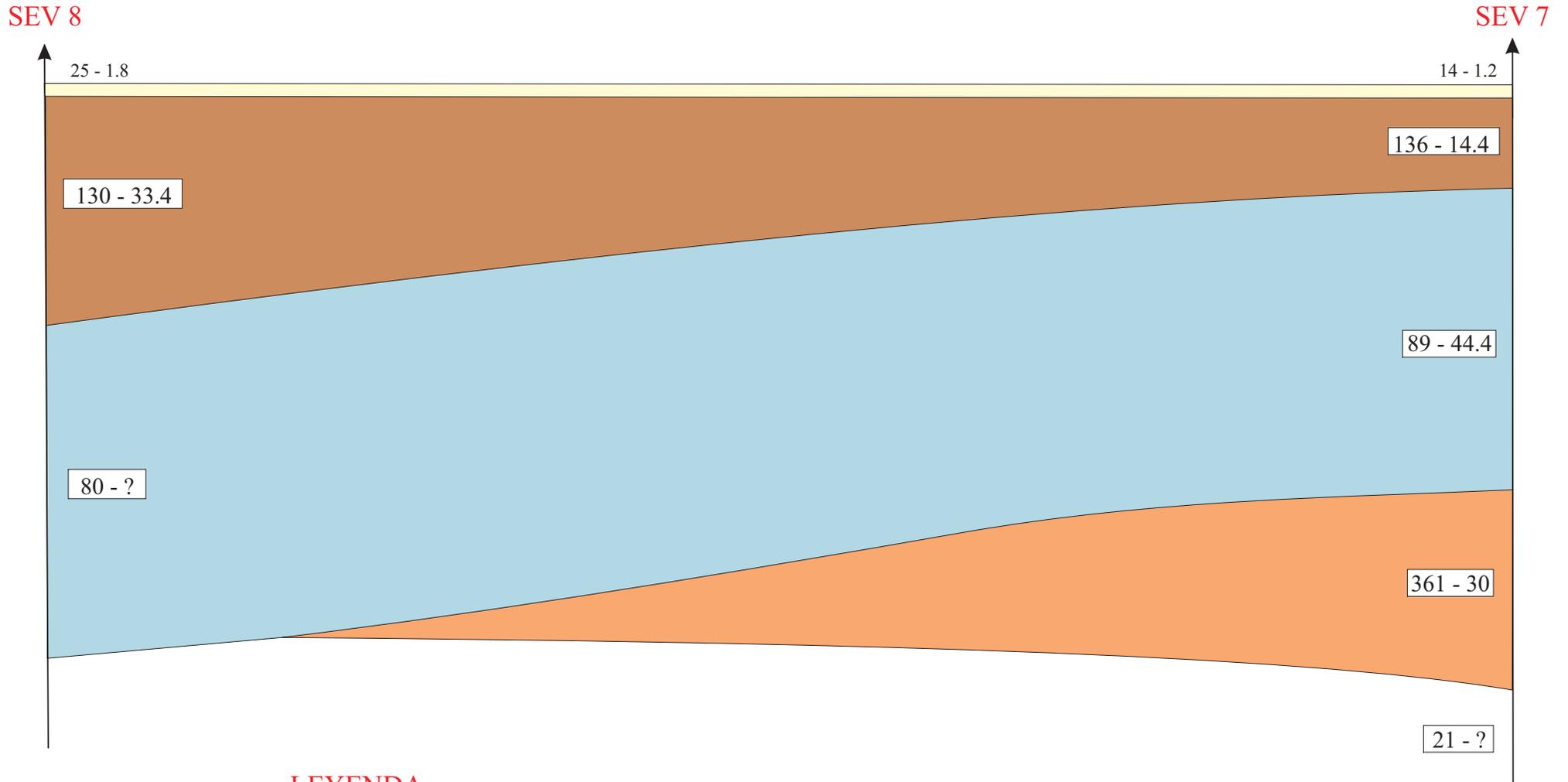
Resistividad Espesor



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

COLUMNAS GEOELECTRICAS
 ANEXO LA REAL

PERFIL LONGITUDINAL DE CORIRE



LEYENDA

- Material de origen Aluvial (Terrenos de cultivo)
- Material de origen Aluvial (Poco Húmedo)
- Material de origen Aluvial (Saturado de Humedad)
- Material de origen Aluvial (De grano Grueso)
- Material de origen Aluvial (saturado de humedad)



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

PERFIL LONGITUDINAL
 DE CORIRE

Fecha: noviembre, 2001

Fig. N° 4